

# Sistema de microscopía robotizada para diagnóstico y confirmación de diagnóstico a distancia

Robotic microscope system for remote diagnosis and remote confirmation of diagnostics

**Leonardo Yunda**  
leyunda@usc.edu.co

**Steve Rodriguez G.**  
steve\_rodriguez@ingenieros.com

**Luis Fernando Gómez**  
luifer.gomez@acm.org

**Oscar Jairo Maya**  
omxxx@hotmail.com

**Oscar Arnulfo Barrera**  
oricawi@hotmail.com

Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica y Telemedicina - T@lebio

Universidad Santiago de Cali, Colombia

## Resumen

El tratamiento de la malaria requiere del análisis de gota gruesa, un procedimiento de diagnóstico en laboratorio clínico que utiliza el microscopio para observar y caracterizar el tipo de parásito de malaria que afecta al paciente para formular los medicamentos específicos para combatirlo. La malaria está presente en el pacífico colombiano, una zona con baja infraestructura de salud, que debe recurrir a los servicios de telemedicina para apoyar los procedimientos de laboratorio clínico y obtener resultados oportunos y de calidad. El Laboratorio de Telemedicina e Ingeniería Biomédica de la USC implementó un sistema de microscopía robotizada por control remoto, que le permite al especialista o bacteriólogo presente en el centro de referencia, un laboratorio clínico en el área metropolitana, manipular a control remoto un microscopio ubicado en la entidad remitora, a kilómetros de distancia, apoyado en una aplicación Web que le permite controlar su movimiento y magnificación, y observar así, en tiempo real, la muestra de sangre del paciente.

## Palabras clave

Diagnostico de malaria; diagnostico remoto; microscopio robotizado; entorno .NET; robotización; telemedicina; tele-patología.

## Abstract

Abstract Diagnosis of malaria require a thick smear analysis by clinical laboratory procedures using a microscope to observe and characterize the type of malaria parasite that has the patient and thus be able to formulate specific drugs to combat this parasite. This disease occurs in the Colombian Pacific Coast a tropical. This area do not have the necessary health services for improved clinical laboratory study, so it is necessary to implement a telemedicine service that would support laboratory procedures clinician, improving service quality and timing of the results of clinical laboratory analysis. The USC Telemedicine and Biomedical Engineering Laboratory implemented a robotic microscopy system by remote control, which allows the specialist or bacteriologist found in the reference center (clinical laboratory, metropolitan area), by remote control to manipulate a microscope that located several miles away (entity remitters, Colombian Pacific area) from where he is, using a web application that allows you to control the movements in coordinates (x, y, z)

## Keywords

Malaria diagnosis; remote diagnostics; robotic microscope; .NET environment; robotic; telemedicine; tele-pathology

Fecha de recepción: octubre 27 de 2011

Fecha de Aceptación: noviembre 29 de 2011

## I. Introducción

Debido al bajo nivel económico del pacífico colombiano, se generan en él problemas de insalubridad causados principalmente por enfermedades tropicales como la malaria. Adicionalmente, la carencia de servicios básicos de salud y la lejanía de estas zonas y el difícil acceso a ellas hacen que los residentes no tengan un tratamiento adecuado y rápido para sus enfermedades, lo que produce una alta tasa de mortalidad en las poblaciones afectadas (Dos Santos, de Souza, Alves, & Ferreira, 2011).

Una de las prácticas más comunes para el análisis de enfermedades tropicales como la malaria es la detección del parásito que la causa, utilizando para ello un equipo biomédico como el microscopio. Por este motivo, en los avances de la medicina se exponen soluciones indispensables dirigidas a atacar este problema, como desarrollar una herramienta que permita visualizar y controlar de manera remota las muestras sobre el microscopio para el diagnóstico de este tipo de enfermedades.

Atendiendo esta problemática, se construyó un prototipo del sistema de microscopía a distancia, con el fin de disminuir los tiempos en detección y diagnóstico de enfermedades tropicales susceptibles de ser observadas en muestras de sangre. El sistema de microscopía robotizada a distancia puede ser manipulado de manera remota, lo que hace posible que en el sitio alejado únicamente sea necesario la presencia de una persona capacitada para colocar una muestra de sangre en el microscopio (preparada como es debido) y enviar un video de esa muestra por Internet, desde un computador conectado al microscopio hacia un computador receptor remoto ubicado en el sitio donde se encuentra el especialista capacitado para su análisis y diagnóstico.

## II. Método

### A. Secuencia para el desarrollo

Para desarrollar el sistema de microscopía se opta por el método científico, empírico-experimental, que permite a los desarrolladores crear y rediseñar las partes funcionales y paso a paso llegar al producto final esperado.

En la observación realizada en dicho método se opta por segmentar el sistema de microscopía en dos piezas fundamentales, trabajadas de forma independiente y que

al final se ensamblan e integran, para dar como resultado el sistema de microscopía para control remoto planteado que satisfaga las necesidades mencionadas. El trabajo realizado toma como referencia trabajos previos en la misma dirección realizados por Versweyeld (2001), Ostrovsky (2005) y Russell (2005).

Los componentes que contiene el sistema de microscopía desarrollado son: Software, Firmware, Hardware y Mecánica. Para su desarrollo el sistema se ha dividido en dos piezas fundamentales: la primera es el Software, y la otra son el Hardware y la mecánica. El firmware es un caso especial, pues se convierte en el puente de intercomunicación entre las piezas fundamentales y el software contenido en la PC. Esto se debe a que el firmware es la única parte que contiene lógica programable (contiene software) y se entiende directamente con los circuitos electrónicos (pertenece así al hardware); de este modo es capaz de relacionar la aplicación contenida en una computadora con el contenido electrónico adicionado al microscopio.

La Figura 1 presenta el sistema básico de microscopía a distancia, planteado para iniciar su desarrollo. En él se observan las partes mecánicas, el hardware y el software. Todas las modificaciones y alteraciones sobre el microscopio, así como los desarrollos anexos a este, se realizaron teniendo en cuenta unos requerimientos mínimos, que básicamente indican que el microscopio comercial debe ser adaptado sin generar alteraciones sobre las operaciones manuales.

### B. Hardware y Mecánica

Contiene todas las adaptaciones realizadas al microscopio

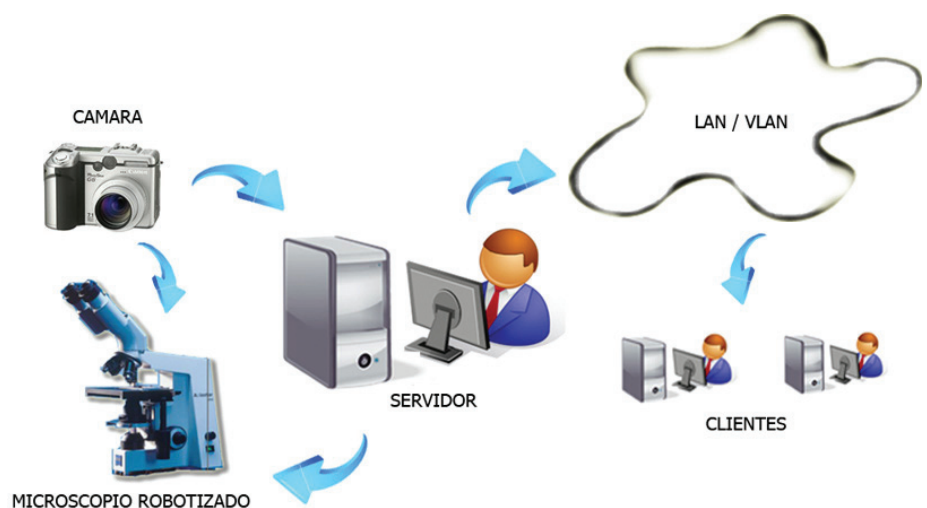


Figura 1. Sistema básico de microscopía a distancia

comercial de marca Carl Zeiss, entre las que se caracterizan los circuitos electrónicos para control de motores, y la mecánica de interconexión entre motores y la platina del microscopio.

1. Circuitos electrónicos

Para iniciar con el diseño electrónico es importante conocer en los motores seleccionados para realizar los diseños a partir de ellos.

**Motores.** Los motores ideales para controlar el movimiento de la platina se definen según las necesidades del sistema: alta resolución y precisión de movimiento (aproximadamente 100 micras); alto torque (aproximadamente 6 Oz-In); libertad de giro, que permita una rotación mayor a 3600° mayor a 10 vueltas; el menor tamaño posible. Con base en estas condiciones los motores paso a paso unipolares son los idóneos (Automation Direct, 2007).

La baja disponibilidad de motores en la región hizo necesario adquirir motores unipolares que se aproximaran a los ideales. Como consecuencia de esto el torque necesario no cumplía con el mínimo establecido para mover la platina, por lo cual fue necesario adaptar un sistema de engranajes que satisficieran este torque (Zabalza, 2008).

Las caracterización de los motores usados en el sistema de microscopia a distancia para los ejes X, Y y Z se presentan en la Tabla 1.

Con los motores caracterizados para cada uno de los grados de libertad se inicia el diseño del circuito electrónico para control de motores realizado con base a métodos de control separados aplicados en dos microcontroladores (ATMEL 89S52), seleccionados principalmente por su costo y la fácil adquisición de estos chips en la región.

**Microcontrolador.** El microcontrolador 89S52 es el corazón del control de los motores, contiene el firmware y está interconectado a las demás partes electrónicas. Controla así la selección del motor, la dirección y los grados de giro.

**Control de potencia para motores.** Este control se realiza con el circuito integrado ULN2803. En esta etapa este circuito está en el intermedio entre el motor y el microcontrolador, y hace las veces de circuito de acople y protección para el control del microcontrolador hacia el motor.

El motor es directamente alimentado con 12 V DC y el control de pasos lo realiza el microcontrolador con voltajes de nivel bajo (cero lógico), lo que hace que la corriente fluya desde las bobinas del motor hacia el circuito integrado, con lo que se obtiene el mayor torque posible del motor.

**Selector.** Como muestra la Figura 2, la platina deslizante requiere tres grados de libertad, por lo que se precisan tres motores para cada movimiento. Por esta razón fue indispensable un circuito selector que desde el microcontrolador permitiera habilitar o deshabilitar los motores.

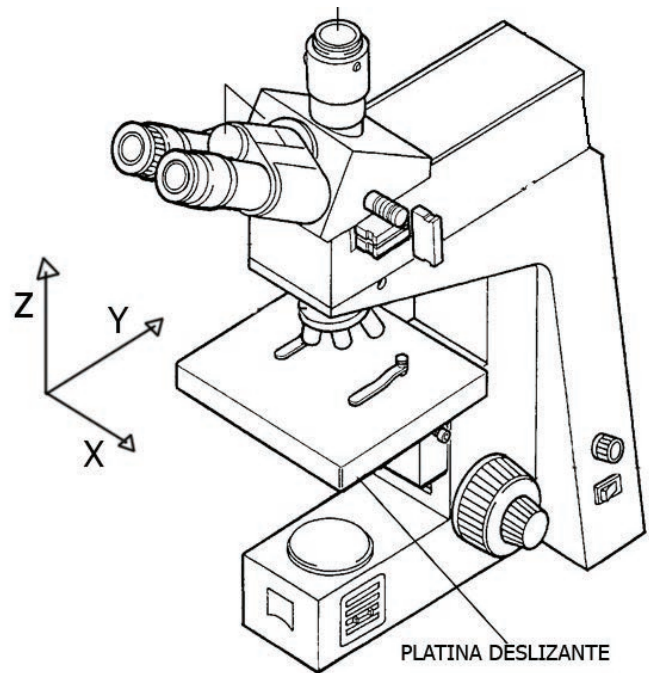


Figura 2. Grados de libertad de la platina

	Para el eje X. motor unipolar	Para el eje Y. motor unipolar	Para el eje Z. motor unipolar
Número de pasos	20	20	40
Resistencia de bobina	25 Ω	30 Ω	30 Ω
Torque sostenido	54x10 <sup>-4</sup> Nm	54x10 <sup>-4</sup> Nm	70x10 <sup>-4</sup> Nm
Ángulo de paso	18°	18°	9°
Altura	2cm	2.5cm	3cm
Diámetro	2cm	2.5cm	3cm
Peso	70gr	78gr	90gr

Tabla 1. Caracterización de los motores para los ejes X, Y y Z.

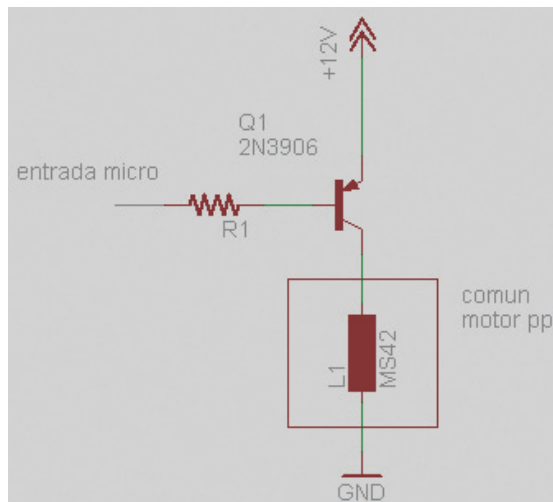


Figura 3. Conexión del selector de motores

Un circuito para la selección de motores como el que presenta la Figura 3, que muestra cómo se coloca, entre el común de cada motor y el voltaje de la interfaz de potencia, un transistor en configuración de interruptor, usando uno para cada motor.

### Conexión del selector de motores

- Para el cálculo adecuado de polarización del transistor se describen a continuación los siguientes datos: Corriente de carga, dada por la resistencia medida en uno de los devanados del motor unipolar P-P ( $25\Omega$ ) y el voltaje de carga que se va a conmutar (12V), como muestra la Ecuación 1

$$\frac{12V}{25\Omega} = 0.48A \text{ m p}$$

- Resistencia con carga directa al transistor (Boylestad & Nashelsky, 2008).

$$R1 = 2HfeR_L = 2(100)(25) = 5000\Omega$$

- La potencia que puede tener la bobina que esté en fase y polarizada en ese momento del paso tiene una resistencia de  $25\Omega$  y  $300\text{ mA}$  de corriente. Para obtener un buen torque su potencia entonces es:

$$P = (300\text{ma})^2 \cdot 25\Omega = 2.25W$$

- Corriente de colector en el transistor
- $$I_c = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje de la carga}} = \frac{2.25W}{5V} = 0.45A$$
- Corriente de base, para saturación del transistor 2N3906,  $B=200$ .

$$I_b = I_c / \beta \quad I_b = 2.5 / 200 \quad I_b = 0.00225A$$

- Resistencia de base
- $$R_b = (V - 0.7) / I_b$$
- $$R_b = 4.2V / 0.00225$$
- $$R_b = 1866$$
- $$R_b = 2k\Omega \text{ aprox}$$

**Sensores.** La implementación de sensores sólo se realiza para impedir el movimiento de los motores cuando éstos han llegado a su límite (sensores de fin de carrera). Los sensores utilizados son biestado y su activación indica que el motor ha llegado al límite en esa dirección.

**Interfaz de Comunicación  $\mu\text{C-PC}$ .** La interfaz de comunicación del microcontrolador con el PC se implementó con un convertor típico comercial para realizar la conversión del estándar RS232 a USB. Gracias a este convertor el microcontrolador establece la comunicación con el PC, el cual emula el comportamiento de un puerto serial dentro de él para establecer una comunicación vía cable serial con el microcontrolador que establece conexiones utilizando este tipo de estándar.

**Tarjeta final del circuito.** Los diseños electrónicos están unidos en una sola tarjeta, diseñada de modo ergonómico para ser introducida en el microscopio. La Figura 4 muestra la tarjeta final con todos los componentes electrónicos montados, lista para ser introducida en el microscopio.

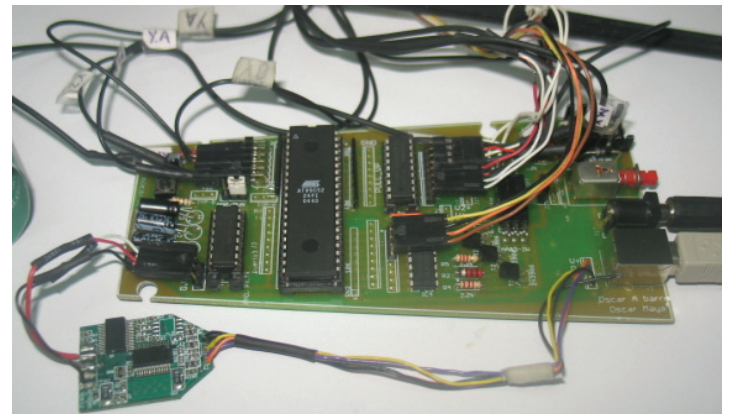


Figura 4. Tarjeta electrónica final

## 2. Parte Mecánica

La Figura 5 muestra los grados de libertad de la platina específicamente sobre los ejes x, y, z, que en consecuencia de los motores elegidos fue necesario implementar un sistema de engranajes para cada uno de estos ejes, aumentando así el torque y la resolución de los motores.

**Movimiento Eje X.** La Figura 6 muestra el sistema de engranajes que trae el microscopio para su movimiento manual en los sentidos enmarcados como X y Y.

**Movimiento Eje Y.** Para motorizar el eje Y se requirió una lámina de acrílico dentada junto a un piñón dentado para transmitir la torsión del eje de un motor de 2 cm de diámetro. El engranaje usado fue un convertor horizontal a vertical con

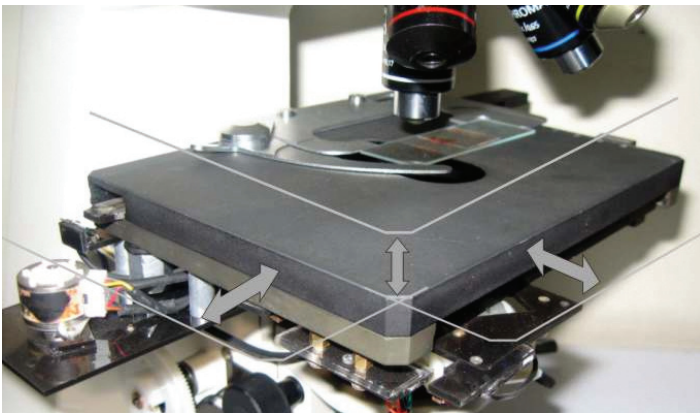


Figura 5. Grados de libertad de los ejes X, Y y Z

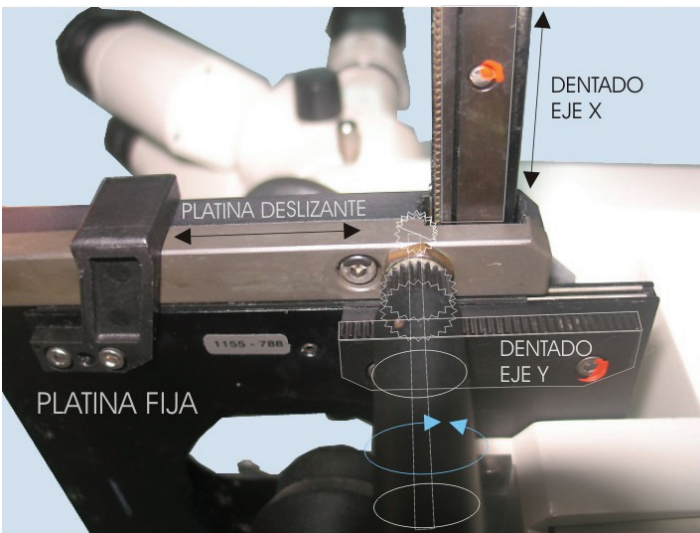


Figura 6. Mecánica del movimiento manual X, Y

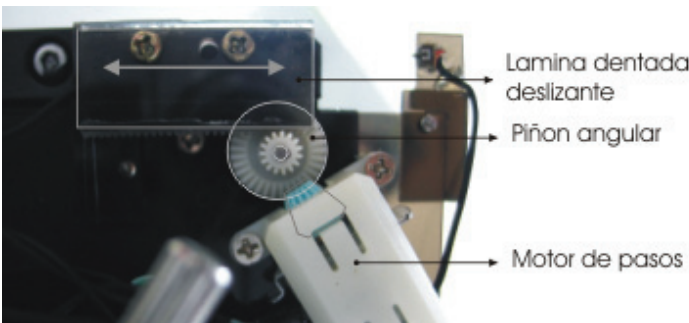


Figura 7. Mecánica motorizada Eje Y

un dentado angular conocido como engranaje cónico con ángulo entre ejes de 90°, como se muestra en la Figura 7, donde el eje del motor está con giro de 60 grados con respecto al deslizamiento del eje Y.

**Movimiento Eje Z.** El movimiento en este eje fue implementado mediante el control de enfoque de la cámara que captura las muestras, ya que luego de una discusión se concluyó que básicamente el eje Z controla los niveles de magnificación

del microscopio y son implementados manualmente. Mediante el control de la cámara por software se permitió obtener niveles de magnificación de 5X, 10X y 100X correspondientes a las cantidades de acercamiento o desplazamientos en el eje

### 3. Software y Firmware

Contiene las dos aplicaciones (software) propias del sistema de microscopía, las cuales se comunican por medio del Internet y permiten el control del microscopio y la obtención de video en tiempo real. El firmware contenido en el microcontrolador es encargado de seleccionar motores, dirección y pasos a dar, y se comunica hacia la aplicación local, permitiendo así realizar el control.

Para lograr la comunicación a través de Internet se utiliza el método de comunicación cliente-servidor, P-P vía sockets (VLAN), creando dos aplicaciones realizadas en el ambiente de programación .NET de Microsoft (Shapiro, 2003; Reid, 2004; Groussard, 2006) en donde se considera a la aplicación servidor como el programa que está instalado en el PC local conectado con el microscopio robotizado, y el cliente es la aplicación remota, que puede ser ejecutada en cualquier versión de Windows a través del Web Browser, y que a través del Internet se conecta al servidor, lo cual permite controlar el microscopio y ver la imagen en tiempo real.

**Servidor.** Encargado del control de microscopio, y se comunica directamente con el firmware del microcontrolador mediante UART del puerto RS232; envía tramas de control en bits. En la Figura 8 se muestra un esquema básico general del control desde el servidor.

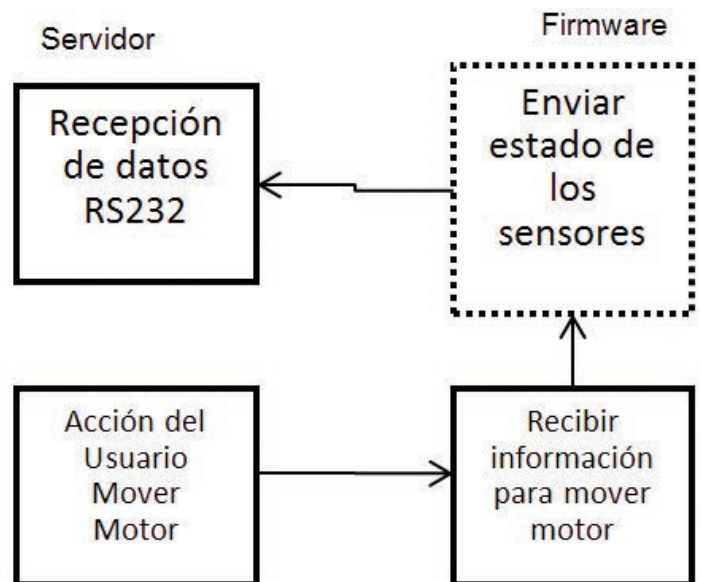


Figura 8. Secuencia básica de comunicación Software - Firmware

**Ciente.** Aplicación remota que controla el microscopio conectado al servidor. El control para el movimiento de motores siempre se realiza en el servidor. El cliente lo único que hace es esperar la confirmación del movimiento desde el servidor y convertir lo que llega desde el cliente en un evento del usuario de manera local. Es importante decir que cuando hay una aplicación cliente conectada al servidor, todas las operación de éste se deshabilitan y permiten únicamente el control remoto.

El video es recibido en tiempo real mediante flujos (*streams*), se serializa cada una de las tramas (*frames*) y se envían al cliente, el cual se realiza un procedimiento inverso y muestra el *frame*. La imagen que se captura y almacena en el cliente es uno de los *frames* que se guarda en el disco duro.

Como el videostream es un proceso de envío de frames equivalente aproximado para 40 Fps (Tramas por segundo) de tamaño variante, es necesario acortar las demás tramas para prevenir errores o malinterpretación de alguna de ellas. Además, el videostream, no posee ningún identificador; así, si la trama no posee ninguno de los identificadores anteriores debe ser reconstruida a un frame (deserializada). Este procedimiento de no identificar la trama de video es consecuencia del método de streaming, el cual impide la colocación de un identificador o algún carácter especial en dicha trama, la alteración de la trama luego del proceso de serilización produciría fallas o hasta el impedimento del proceso de deserializarla (impide la reconstrucción del frame).

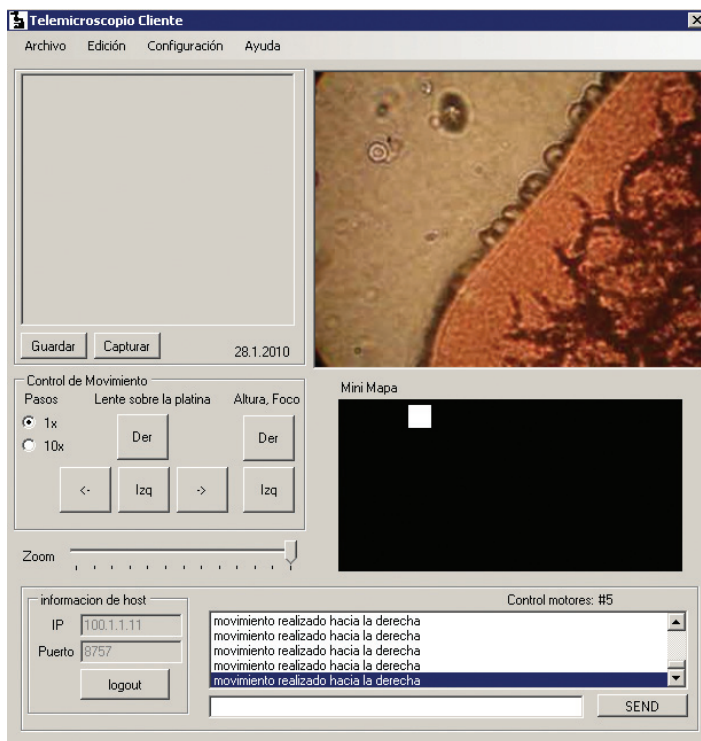


Figura 9. Aplicación Telemicroscopio (cliente)

Para la obtención del video se utilizó una cámara fotográfica Canon Power Shot G6, que brinda unas excelentes prestaciones, entre las que se encuentran posibilidad de control mediante software, 8 megapíxeles de resolución, enfoque controlado por software, SDK (Software Development Kit), que permite incorporar librerías en C# a las aplicaciones desarrolladas para el control de la cámara.

### III. Resultados

Las Figuras 9 y 10 muestran la aplicación en funcionamiento. La primera desde el lado del cliente, y la segunda en modo local.

En la Figura 10 se destacan los componentes utilizados en hardware (el microscopio y la cámara digital) y el sistema microcontrolado de motores que establece una conexión física mediante cable serial a un equipo portátil que hace las veces de servidor ante la redes de comunicación y permite gestionar la información que hace posible tanto visualizar la imagen en tiempo real como el control remoto del sistema.

Como adición a las capacidades básicas del microscopio, el proyecto permite el control remoto del microscopio, lo que hace posible la realización de diagnósticos médicos de forma remota, con un efecto positivo importante en la reducción del tiempo para la detección de enfermedades y la observación de muestras en un ambiente controlado.

La aplicación más importante que involucra la robotización del microscopio localmente es la que permite observar un cuadro específico de la muestra, que es retirada del microscopio

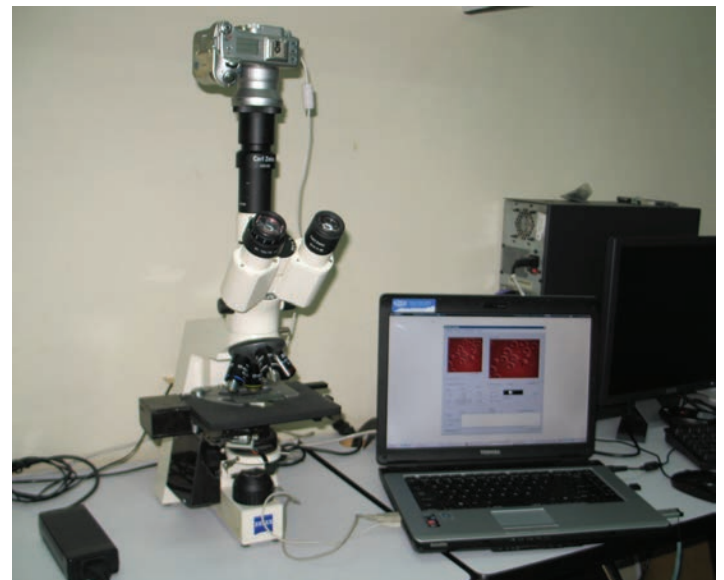


Figura 10. Sistema de microscopía robotizado a distancia, modo funcional manera local

para ser almacenada en un ambiente controlado a la espera de cambios, y al cabo de unas semanas o meses la muestra es nuevamente colocada en el microscopio, que tiene la capacidad de mostrar el mismo cuadro visualizado y permite ver los cambios ocurridos sobre la muestra de forma estática.

Otra característica importante relacionada con la visualización en tiempo real es que permite situar el microscopio con una muestra en un ambiente controlado y observar en tiempo real los cambios que suceden sobre esta muestra; permite el microscopio que se navegue por la muestra mediante el control de la platina. Es importante mencionar que el usuario que lo controla se encuentra en un lugar seguro, en un cuarto adyacente o al otro lado del mundo.

#### IV. Conclusiones

El desarrollo de aplicaciones de software que comprometen equipos y dispositivos biomédicos, apoyadas en un entorno web, que se constituyen en sistemas de información en salud de la región, es una de las tendencias tecnológicas más importantes de la actualidad. Esta tendencia tiene como propósito mejorar la calidad de vida de la población que tiene mayores problemas de acceso a los recursos y servicios en salud debido a lo apartadas que se encuentran de las instituciones de salud que cuentan con las especialidades de salud más necesarias. Una buena prestación del servicio de salud a los usuarios que disminuya el tiempo de espera para los exámenes diagnósticos y permita generar consultas en lugares remotos e inaccesibles logrará cumplir con los objetivos en salud del Estado, como la prestación de un buen servicio de salud para todos los ciudadanos.

Para la aplicación nacional de la telemedicina el sistema de microscopía robotizada para la visualización y captura remota es el único sistema que además de implementar electrónica en un equipo médico avanzado (microscopio) permite controlar

su movilidad de modo remoto, vía Internet, y hace posible ver en video las muestra sobre la platina que se envían en streaming hacia el cliente en tiempo real.

#### Referencias

- Automation Direct. (2007). *Sistema de motores, paso a paso* (2da ed). Recuperado de <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestep-manualsp/surestepmanualsp.pdf>
- Boylestad, R, & Nashelsky, L (2008). *Electrónica, Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos* [6ta ed.]. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Dos Santos, A., de Souza, C., Alves, H., & Ferreira, S (2011). *Telessaúde. Um instrumento de suporte assistencial e educação permanente*. Belo Horizonte, Brazil: UMFG
- Groussard, T, (2006). *Visual Basic 2005 (VB.net)*. Saint herblain, France: ENI.
- Ostrovsky, G. (2005). Robotic Microscope. Medgadget, *Internet Journal of Emerging Medical Technologies*. Recuperado de [http://medgadget.com/archives/2005/03/robotic\\_microsc.html](http://medgadget.com/archives/2005/03/robotic_microsc.html)
- Reid, F. (2004). *Network programming in .NET: with C# and Visual Basic .NET*. Amsterdam, Holanda: Elsevier Digital Press.
- Russell, S. (2005). *Robotic microscope: A tinker's breakthrough*. Recuperado de [http://articles.sfgate.com/2005-03-28/news/17364582\\_1\\_brain-cells-microscope-tracking](http://articles.sfgate.com/2005-03-28/news/17364582_1_brain-cells-microscope-tracking)
- Shapiro, J. (2003). *Visual Basic .NET: Manual de referencia, nivel intermedio – avanzado*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- Versweyveld, L. (2001, Mayo). Tele-robotic microscope enables streaming video over the Internet for medical applications. *Virtual Medical Worlds*. Recuperado de <http://www.hoise.com/vmw/01/articles/vmw/LV-VM-06-01-6.html>
- Zabalza, I. (2008). *Mecánica II*. Recuperado de [http://www.imem.unavarra.es/isidro/mecanica\\_II/Libro-mecanicaII.pdf](http://www.imem.unavarra.es/isidro/mecanica_II/Libro-mecanicaII.pdf)

## Currículums

**Leonardo Yunda.** Estudiante PhD en Ingeniería Telemática de la Universidad de Vigo – España, MsC en Ingeniería Telemática – Universidad de Vigo, Máster en Ingeniería – Universidad del Valle, Especialista en Administración de Tecnologías-Universidad del Valle, Ingeniero Electrónico de la Universidad del Valle. Actualmente es Decano de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Santiago de Cali y Director del Grupo de Investigación en Telemedicina e Ingeniería Biomédica – T@lebio de la USC. [www.leonardoyunda.com](http://www.leonardoyunda.com)

**Steve Rodriguez Guerrero.** Estudiante de la Maestría en Ingeniería con énfasis en Electrónica de la Universidad del Valle, Ingeniero Electrónico de la Universidad Santiago de Cali (Abril 2008), actualmente es Docente de la Universidad Santiago de Cali y pertenece al Grupo de Investigación en Telemedicina e Ingeniería Biomédica – T@lebio de la USC.

**Luis Fernando Gomez Ortega.** Estudiante de la Maestría en Ingeniería con énfasis en Sistemas y Computación de la Universidad del Valle, recibió el título de Ingeniero de Sistemas de la Universidad Santiago de Cali. Actualmente es Docente de la Universidad Santiago de Cali y hace parte del Grupo de Investigación en Telemedicina e Ingeniería Biomédica – T@lebio de la USC.

**Oscar Jairo Maya.** Ingeniero de Sistemas y candidato a Magister en Ingeniería. Investigador del Grupo de Investigación en Telemedicina e Ingeniería Biomédica – T@lebio. Estudiante Maestría en Computación (Universidad del Valle).

**Oscar Arnulfo Barrera.** Ingeniero Electrónico, investigador del Grupo de Investigación en Telemedicina e Ingeniería Biomédica – T@lebio.