

Operative recovery of a mobile C-arm fluoroscopy system

Ricardo A. Villegas Aguilera*, Ángel L. Villegas Noguera

Centro de Procesamiento de Imágenes, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.
Final Av. Universidad, Bárbula, Edo. Carabobo, Venezuela, C.P. 2005

ravillegas@uc.edu.ve, villegas_angel@yahoo.com

Abstract

This work presents a functional recovery of a portable fluoroscope, which was inoperative due to damages in the video memory unit. The implemented hardware/software solution includes replacing the video memory module, implementing a controller card to activate the image acquisition process, splitting the video signal toward two displays through a graphical expansion module, and developing a software application for capturing, processing and storing the images. This solution made it possible to recover the device's operability while keeping the required functionality of its input and output peripherals, extending its storage capability, improving the software features and interface, and reducing replacement costs.

Keywords: clinical engineering, fluoroscopy, microcontrollers, software development.

Recuperación operativa de un sistema móvil de arco en C para fluoroscopia

Resumen

Este artículo presenta la rehabilitación de un equipo portátil para fluoroscopia, el cual se encontraba inoperante por avería de la unidad de memoria de video. Se propuso una solución combinada de *hardware* y *software* que incluye el reemplazo del módulo de memoria de video por un PC con tarjeta para captura de video y disco duro de mayor capacidad, la bifurcación de la señal de video hacia dos monitores mediante un módulo de expansión gráfica, el diseño e implementación de una tarjeta controladora para activar la adquisición de las imágenes con el pulsador o los pedales del equipo, y el desarrollo de un programa de interfaz con el usuario para capturar, procesar y almacenar las imágenes. La solución planteada permitió recuperar la operatividad del equipo y mantener la funcionalidad requerida de sus dispositivos de entrada/salida, ampliar su capacidad de almacenamiento, mejorar las prestaciones e interfaz del *software* y economizar costos por reemplazo.

Palabras clave: ingeniería clínica, fluoroscopia, microcontroladores, desarrollo de *software*.

Introducción

La evolución de las tecnologías empleadas en las modalidades de adquisición de imágenes médicas ha traído como consecuencia un incremento en la calidad de la información contenida en las imágenes, por lo que su uso ha tenido un gran impacto en las áreas diagnóstica e interven-

cionista o terapéutica de la medicina, así como también en la investigación y educación médica. En este contexto, las imágenes médicas han sido adoptadas como recursos de apoyo en especialidades tales como cardiología, traumatología, cirugía ortopédica y neurocirugía, aportando como ventajas la disminución de invasión e incomodidad en los pacientes, mayor precisión y rapidez

en las evaluaciones y diagnósticos, aparición de procedimientos más adecuados y efectivos para el tratamiento de patologías, y mejor entendimiento en el estudio de la anatomía humana.

Debido al conjunto de ventajas anteriormente mencionado y a la necesidad de adecuarse a los avances tecnológicos de la medicina moderna, gran cantidad de centros de salud en Venezuela han incorporado el uso de dispositivos de adquisición de imágenes, lo que ha traído como consecuencia mayor diversidad y calidad en los servicios que prestan. Este proceso ha sido gradual y acorde con la evolución de la tecnología, comenzando a principios del siglo XX con la llegada al país de los primeros equipos de Rayos X, integrándose posteriormente otras modalidades tales como la tomografía axial computarizada y la resonancia magnética, a mediados de los años 70s y 80s, respectivamente [1]. La fluoroscopia se integró a partir de los 70s, permitiendo obtener información en tiempo real de estructuras anatómicas, fluidos internos y dispositivos colocados en el paciente, mediante imágenes observadas dinámicamente en forma de video o impresas en secuencias de radiografías. En la actualidad, existen en el país centros autónomos de diagnóstico e instituciones clínicas y hospitalarias que disponen de departamentos asociados de radiología e imagenología, clasificados como centros generales de diagnóstico imagenológico de complejidad tecnológica básica o avanzada, dependiendo de sus prestaciones y de la dotación de equipos para el diagnóstico o tratamiento asistido por imágenes que posean [2].

Las características de diseño y funcionamiento de los equipos de adquisición de imágenes médicas plantean la necesidad de seguir normativas y protocolos elaborados para garantizar el uso adecuado y óptimo de los aparatos mediante políticas y planes de revisión y mantenimiento [3]. Sin embargo, a pesar de estas medidas regulatorias o preventivas, los equipos están sometidos a un proceso normal de desgaste por uso, mientras que algunos de sus componentes son susceptibles de sufrir averías, por lo que es común que en los centros de salud se encuentren dispositivos parcial o totalmente inoperantes por daños u obsolescencia. Si bien algunos equipos que se encuentran en estas condiciones podrían ser reparados, en muchos casos son desechados o desincorpora-

dos, implicando costos adicionales que podrían ahorrarse si los equipos son rehabilitados en vez de ser reemplazados por otros.

En consecuencia, actividades tales como la automatización, actualización y recuperación de los dispositivos de adquisición de imágenes se han convertido en soluciones alternativas viables para evitar la pérdida operativa de los mismos, así como para minimizar los costos de inversión en mantenimiento y adquisición de equipos nuevos o usados. Con esta motivación, se presenta en este artículo el caso de estudio para la rehabilitación de un arco en C para fluoroscopia, como un aporte en el escenario de recuperación operativa de equipos de imagenología médica.

Metodología

Descripción del sistema

El dispositivo de estudio es un sistema móvil de rayos X Philips BV25 familia N/HR con arco en C, intensificador de imagen y sistema de TV, fabricado en 1990 [4]. Dicho sistema, diseñado para adquisición de imágenes por fluoroscopia y radiografía en salas de emergencia y quirófanos, fue exitosa y ampliamente usado desde mediados de los años 70s hasta finales de los 90s y llegó a establecer un estándar industrial en su época. El equipo posee una base móvil donde residen el panel de control y el arco en C, junto con la unidad de generación de rayos X, el colimador, el intensificador de imágenes y el sistema de TV, así como también los pedales y el pulsador manual que permiten activar la adquisición de imágenes.

El otro componente del sistema es un carro móvil que aloja la memoria digital de video *Scopofix* modelo MDPM de doble capacidad con su respectiva unidad de control, y dos monitores de 20" donde se despliegan las imágenes. El *Scopofix* controla el enrutamiento de la señal de video compuesto proveniente del sistema de TV hacia la memoria de video y los monitores, permitiendo almacenar en forma temporal uno o dos cuadros de video en su memoria RAM de 16 *Kbytes*, o de 28 a 34 cuadros en forma permanente en un disco duro de 30 *Mbytes* de capacidad con tecnología *Winchester*.

El equipo tiene la capacidad de adquirir imágenes fluoroscópicas bajo tres modalidades diferentes: modo continuo, modo de pulso y dis-

disco duro SATA de 80 Gbytes; este cambio fue obligatorio motivado a que el disco dañado estaba obsoleto y por lo tanto, no era compatible con la tecnología actual ni se encontraba disponible en el mercado.

El direccionamiento de la señal de televisión hacia los monitores se resolvió equipando el computador con una tarjeta para captura de video *Hauppauge WinTV-Express 44981* y un módulo de expansión gráfico *Matrox DualHead2Go Digital Edition*, capaz de proporcionar una resolución máxima de despliegue de 1920x1200 por cada monitor. Según se muestra en el diagrama de conexión de la Figura 3, la señal analógica de video compuesto proveniente del sistema XTV5

es recibida por la tarjeta de captura mediante un conector RCA y canalizada hacia la memoria del computador. Esta señal de video, en conjunto con la salida generada por el *software*, es enviada posteriormente a una tarjeta gráfica con bus de conexión PCI e ingresa a través de un conector VGA al módulo de expansión gráfica, el cual realiza la separación final de la señal hacia ambos monitores a través de un par de salidas DVI.

Subsistema de sincronización de señales

El sistema *Scopofix* MDPM sustituido consta de tres tarjetas electrónicas que cumplen funciones específicas: WHA1 direcciona las señales de video, WHA2 solicita la activación del generador

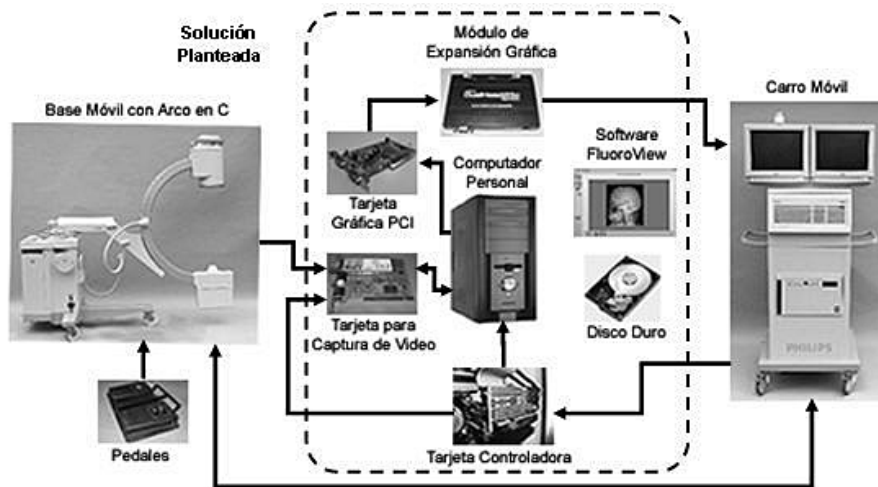


Figura 2. Esquema de la solución híbrida planteada para la rehabilitación del fluoroscopio

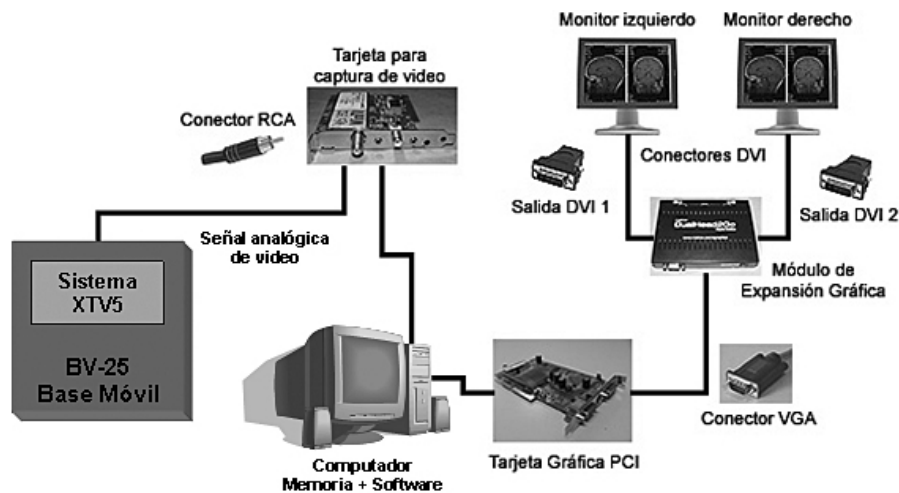


Figura 3. Diagrama de conexión de los componentes de video.

de rayos X y trabaja como controlador de las otras tarjetas que integran al sistema, y WHA3 maneja todos los aspectos relacionados con el almacenamiento de las imágenes. Al activar el pulsador o el pedal se genera en la base móvil del sistema la señal CMXRST, utilizada para activar el generador de rayos X y producir las imágenes de video, siendo recibida luego por la tarjeta de control WHA2 y reenviada con el nombre RECCM hacia la tarjeta de adaptación de memoria WHA3; esta señal puede ser obtenida en dos puntos de WHA2 según se indica en la Figura 4, y su estado fue utilizado como indicador de la presencia/ausencia de video en la unidad de fluoroscopia.

Para la captura de la señal RECCM se construyó una pequeña tarjeta de sincronización basada en un microcontrolador PIC18F2550, el cual contiene una interfaz de comunicación directa por puerto USB compatible con las especificaciones de velocidad baja y completa (USB 1.1) [5], posibilitando la comunicación ente el computador y el microcontrolador sin requerir ningún *hardware* adicional. La tarjeta se conectó directamente al

equipo, sustituyendo el cableado de unión entre las placas WHA2 y WHA3, permitiendo monitorear constantemente los cambios de estado de la señal RECCM y enviar rápidamente esa información al computador mediante el mecanismo de interrupciones del microcontrolador, garantizando así un tiempo conocido y predecible de respuesta⁵. Las Figuras 5 y 6 muestran el algoritmo ejecutado por el *firmware* residente en el microcontrolador y el diagrama esquemático de la tarjeta de sincronización, respectivamente.

La tarjeta de sincronización no requiere el uso de controladores adicionales para su conexión, debido a que fue implementada bajo los parámetros establecidos en la especificación para dispositivos de interfaz humana (HID) [6]. Para facilitar su integración posterior con el *software* para manejo y visualización de imágenes, se desarrolló un control en lenguaje C# que se encarga del manejo a bajo nivel del estado general de la tarjeta y ofrece al programador las propiedades, métodos y eventos necesarios para acceder a esta desde la aplicación.

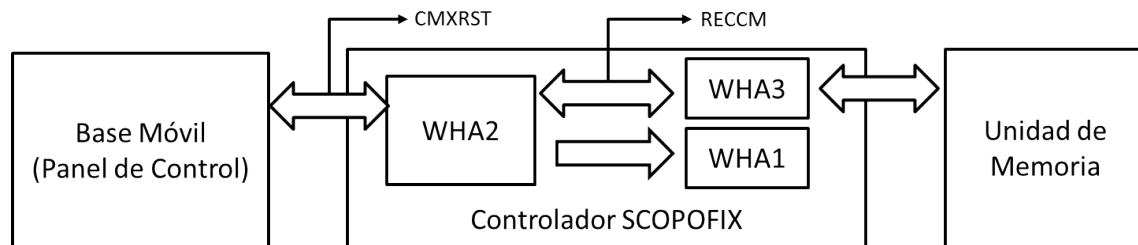


Figura 4. Identificación de las señales de control de activación del video.

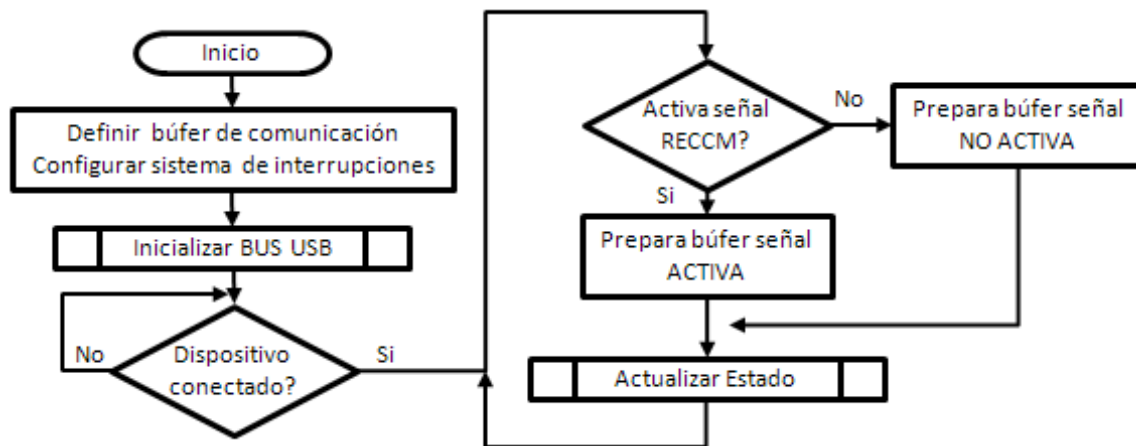


Figura 5. Algoritmo de funcionamiento del *firmware* de la tarjeta de sincronización.

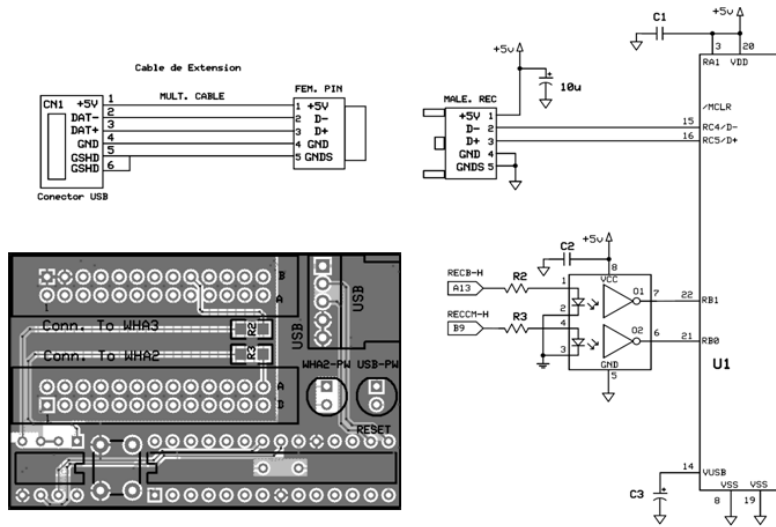


Figura 6. Diagrama esquemático de la tarjeta de sincronización y diseño de la placa.

Software FluoroView para control e interfaz con el usuario

La integración de la funcionalidad de los componentes de *hardware* y la gestión de la adquisición, almacenamiento y visualización de las imágenes, se lleva a cabo mediante el *software* FluoroView, cuyo diseño basado en objetos y eventos, estuvo orientado a preservar o mejorar las prestaciones del sistema original. Este programa permite procesar las señales enviadas por la tarjeta controladora para generar eventos de captura de video, almacenar las imágenes en disco y distribuir la presentación de las mismas en los monitores, a través de una interfaz sencilla y amigable con el usuario.

Las consideraciones de diseño de FluoroView se enfocaron en aspectos tales como el tiempo de aprendizaje y adaptación del usuario a la transición entre interfaces (anterior y nueva), simplicidad y facilidad de uso, posibilidad de recuperación de errores a través de operaciones deshacer/rehacer de nivel simple, diseño visual claro y balanceado de los componentes de interfaz gráfica y estructura organizativa asociada al manejo de estudios imagenológicos [7]. El *software* fue desarrollado en un esquema iterativo a partir de secuencias de interacción y prototipos, utilizando el lenguaje C#, la API *DirectShow* y bibliotecas adicionales para implementar la interfaz gráfica y el manejo de comunicación mediante puerto USB, según la arquitectura mostrada en la Figura 7.

Las acciones de usuario se relacionan con eventos invocados para aplicar procesamiento digital simple a las imágenes o para administrar el almacenamiento de las imágenes en disco, para su posterior análisis y visualización. La Figura 8 muestra la apariencia y elementos de las ventanas de la interfaz gráfica de FluoroView que se despliegan en los monitores del sistema.

Resultados y discusión

La actualización del sistema tuvo un tiempo de desarrollo de 90 días y se realizó en dos fases. La primera consistió en el diseño, elaboración del prototipo e implementación de la tarjeta controladora y la posterior verificación de su funcionamiento *in situ* con el arco en C, comprobándose que los pedales y el pulsador generaban adecuadamente las señales de activación de eventos de inicio de video y captura de imágenes en sincronización con el fluoroscopio. También se realizó en esta etapa el diseño y desarrollo del *software* FluoroView.

La segunda fase contempló la interconexión de todos los componentes de *hardware* al computador, incluyendo el módulo de expansión gráfica y la tarjeta controladora, y la instalación del *software*, según se observa en la Figura 9. Posteriormente se verificó el funcionamiento integral del sistema realizando pruebas que simulaban la adquisición de imágenes fluoroscópicas en condiciones similares a un estudio imagenológico ordina-

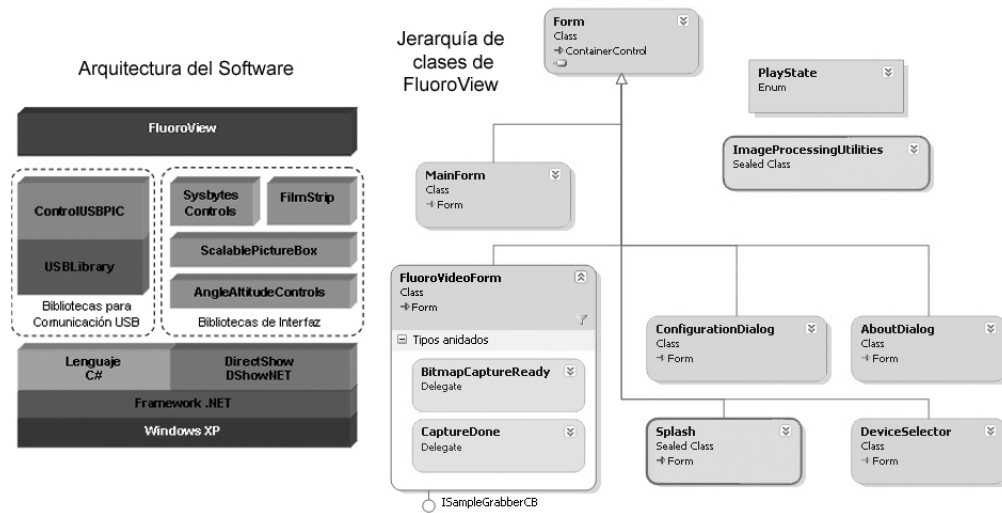


Figura 7. Diagramas de arquitectura y jerarquía de clases del software Fluorview.

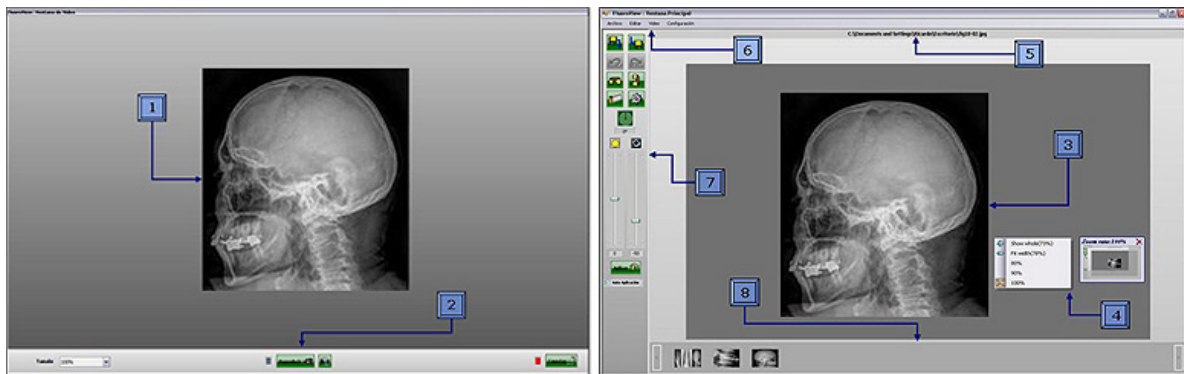


Figura 8. Ventanas de la interfaz gráfica del software mostrando sus elementos principales (Izq.) Monitor izquierdo – Ventana de video: área de video y barra de herramientas, (Der.) Monitor derecho – Ventana principal: área de imágenes, menú contextual y mapa de zoom, barra de título, menú principal, barra de herramientas y galería de imágenes capturadas.

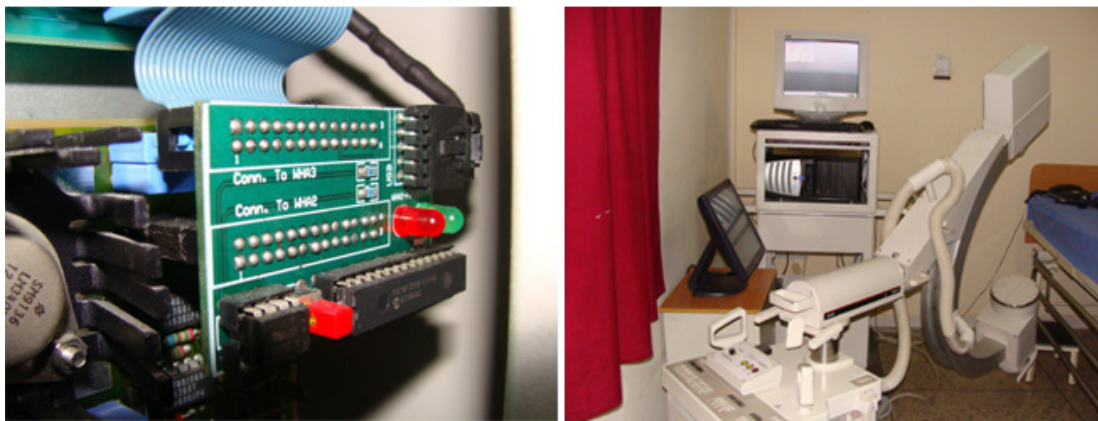


Figura 9. Fotografías de la solución implementada: (Izq.) Tarjeta controladora, (Der.) Sistema BV-25 actualizado.

rio. A tales efectos, se crearon carpetas asociadas con estudios y pacientes ficticios en la unidad de almacenamiento, y se procedió a adquirir secuencias de imágenes, sobre las que se aplicaron algunas operaciones de procesamiento, previamente a su almacenamiento en las carpetas respectivas. Se pudo comprobar que el sistema quedó operativo y exhibió un comportamiento funcionalmente correcto como respuesta a la interacción realizada por el usuario, produciendo además los resultados esperados en relación con la captura, procesamiento y almacenamiento de las imágenes para cada uno de los estudios simulados.

Cabe destacar que durante las actividades y las pruebas de verificación descritas en ambas fases se tomaron las precauciones necesarias para cumplir los lineamientos básicos de seguridad requeridos en el manejo de radiaciones ionizantes [3]. La comparación presentada en la Tabla 1 entre las prestaciones originales del sistema y las ofrecidas posteriormente a su rehabilitación, demuestra que se logró preservar adecuadamente la funcionalidad de los dispositivos de entrada (pedal/pulsador) para iniciar y controlar el proceso

de adquisición de imágenes, garantizar el almacenamiento de las mismas y mantener la compatibilidad con el uso de dos monitores para la presentación de la información. Adicionalmente, se obtuvieron mejoras significativas en relación con la capacidad de almacenamiento y velocidad de acceso al disco duro, se agregó la posibilidad de utilizar monitores de mejor resolución y se implementó un *software* con una interfaz gráfica centrada en la simplicidad y facilidad de uso por parte del usuario. En ese último aspecto, el *software* fue validado por un usuario entrenado en el manejo de equipos radiológicos quien otorgó una impresión favorable del programa, destacando la preservación del procedimiento radiológico.

Conclusiones

Se presentó la implementación para la recuperación operativa de un dispositivo portátil para fluoroscopia que presentaba componentes averiados y tecnología obsoleta. La solución planteada incorpora elementos de *hardware*, que sustituyen y complementan a los componentes averiados, y un nuevo *software* que preserva y expande la

Tabla 1
Comparación entre las prestaciones del sistema antes y después de su recuperación

Equipo	Componentes de <i>hardware</i> involucrados	Capacidad de almacenamiento de imágenes (aprox.)	Funcionalidad considerada	Inversión (aprox.)
Sistema BV-25 original	Scopofix MDPM con disco duro de 30 Mb	Entre 28 y 34 imágenes 1024×1024 <i>pixeles</i> 16 <i>bits/pixel</i>	Última imagen capturada (<i>LIH - Last Image Hold</i>) Intercambio de imágenes (<i>FIX</i>) Almacenar imagen (<i>STORE</i>) Ajuste de brillo y contraste	Entre \$15000 y \$20000 (completo) Cercano a \$3000 (<i>Scopofix</i>)
Sistema BV-25 modificado (<i>Hw+Sw</i>)	Computador <i>Pentium</i> 2.0 GHz Disco duro 80 Gb Tarjeta gráfica PCI ATI <i>Radeon</i> 128 Mb Tarjeta para captura de video <i>Hauppauge WinTV-Express</i> Módulo de expansión gráfico <i>Matrox DualHead2Go</i> Tarjeta de sincronización	Más de 50000 imágenes 1024×1024 <i>pixeles</i> 16 <i>bits/pixel</i>	Última imagen capturada (<i>LIH - Last Image Hold</i>) Intercambio de imágenes (<i>FIX</i>) Almacenar imagen (<i>STORE</i>) Ajuste de brillo y contraste Inversión de colores, reflexión y rotación de imágenes Aplicación de ajustes predefinidos sobre nuevas imágenes Administración de almacenamiento	Menor de \$2500

funcionalidad integral del sistema. Los beneficios aportados por la propuesta también se reflejan en el incremento de más de 2000 órdenes de magnitud en la capacidad de almacenamiento de imágenes y una aceleración significativa en el acceso a disco duro con respecto a la capacidad original del dispositivo, además de representar un ahorro sustancial en costos adicionales por adquisición de nuevos equipos.

Actualmente el sistema de fluoroscopia se encuentra completamente operativo, con capacidad para atender una demanda promedio de 10 pacientes/semana, y forma parte de la infraestructura de imagenología de un centro de salud con complejidad tecnológica básica, lo cual demuestra que la actualización y rehabilitación de equipos de imagenología médica mediante abordajes diferentes al simple reemplazo o reparación de componentes, constituye una alternativa viable y efectiva para los centros de salud con recursos económicos restringidos y limitaciones de acceso a la tecnología de vanguardia.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Ing. Andrés Lomelli y al personal de la clínica "Madre María" ubicada en San Carlos, Edo. Cojedes, por la colaboración brindada durante el desarrollo de este trabajo en sus instalaciones.

Referencias bibliográficas

1. Itriago León S., Itriago Borjas S. y Godigna V.: "Historia de la imagenología - Partes I, II y III". Avances en Imagenología. Gac Méd Caracas, Vol.112, No. 3, (2004), 212-217.
2. Norma COVENIN: "Clasificación general de los servicios de radiodiagnóstico". Norma venezolana: Protección contra las radiaciones Ionizantes provenientes de fuentes Externas usadas en medicina, Parte 1: Radiodiagnóstico médico y odontológico. FONDONORMA, COVENIN 218-1:2000, Anexo A (2000), 12-13.
3. Norma COVENIN: "Programa de garantía de calidad", Norma venezolana: Protección contra las radiaciones Ionizantes provenientes de fuentes Externas usadas en medicina, Parte 1: Radiodiagnóstico médico y odontológico. FONDONORMA, COVENIN 218-1:2000, Anexo B (2000), 14-22.
4. Philips Technical Service: "Service Manual-System: Mobile Surgical X-ray System BV25 Family-N/HR". BV25 FAM-N/HR Information, Vol. 1, Philips Medical Systems, 1986.
5. Dogan I.: "Advanced PIC Microcontrollers Projects in C: from USB to RTOS with the PIC18F series", Newnes, Elsevier, Oxford (2008), 409-474.
6. USB Implementers' Forum: "Device Class Definition for Human Interface Devices (HID)", Version 1.11, 2001.
7. Foley J., van Dam A., Feiner S. y Hughes J.: "Computer Graphics Principles and Practice", 2nd Edition, Addison-Wesley, Massachusetts (1996), 347-469.

Recibido el 14 de Octubre de 2013

En forma revisada el 13 de Octubre de 2014