



Sistemas de telediagnóstico: Maletín médico de ingeniería aplicada

M en C Manuel Villalpando,
Ramiro Velázquez Guerrero,
Pedro Ángel Gutiérrez Mier.

E-mail: mvillalpando@iaplicada.com

Artículo recibido: 9/mayo/2001
Artículo aceptado: 5/agosto/2001

RESUMEN:

Hoy día el avance de la tecnología permite el desarrollo de soluciones del software aplicado a la medicina lo que facilita el aumento en número de personas, indistintamente de su posición geográfica, para ser asistidas en sus problemas de salud. Este artículo está dedicado a describir el desarrollo de un «maletín médico» para ser usado como un sistema de telemedicina. Este equipo es un juego de módulos de instrumental médico que usan la computadora como una herramienta, ofreciendo no sólo las características básicas de la instrumentación médica sino también, la capacidad de análisis y la transmisión remota de información fisiológica para realizar las tareas del telediagnóstico. Uno de sus ventajas principales es que ofrece alta calidad en sus resultados en el diagnóstico en cardiología y telediagnóstico incluyendo el bajo costo. Se describe en general el hardware y el software. En la conclusión, se presentan las características del sistema y los resultados obtenidos y, una discusión.

Palabras clave:

Electrocardiografía, Holter, Telemedicina, Diseño de software y hardware, Proceso digital de señales.

ABSTRACT

Nowadays the advancement of technology permits the development of software solutions applied to medicine that facilitate reaching an increasing number of persons indistinctly of their geographic position in order to attend their health problems. This paper is devoted to the development of a medical briefcase conceived to be used as a telemedicine system. This equipment is a set of medical instrumentation modules that use the computer as a tool, offering not only the basic characteristics of traditional medical instrumentation but also the capability of analysis and remote transmission of physiological information in order to perform telediagnosis tasks. One of its main advantages is that it offers high quality results in cardiology diagnosis and telediagnosis at low cost. General hardware and software design aspects are described. In conclusion, the system's performance and the results obtained are presented and discussed.

Key words:

Electrocardiograph, Holter, Telemedicine, Software and hardware design, Digital signal processing.

ANTECEDENTES

El brindar servicios de salud de calidad a la sociedad representa uno de los mayores retos en México. Los problemas demográficos aunados a la situación económica del país provocan que los servicios de atención a la salud en ocasiones sean insuficientes tanto en cantidad como en calidad. En efecto, la disponibilidad de especialistas y de equipo médico no alcanza a cubrir la demanda de la población. Si bien es cierto que rara es la ciudad que no cuenta con al menos un centro médico también es cierto que normalmente es insuficiente y que en las comunidades rurales la escasez de servicios obliga a la población a viajar a las grandes ciudades.

Gracias a los avances de la tecnología es posible concebir soluciones informáticas en medicina con el propósito de brindar una atención oportuna al paciente. Este desarrollo permite atender los problemas de salud de un mayor número de personas independientemente de su ubicación geográfica.

Según el reporte de 2000 de la Organización Mundial de la Salud (WHO), los padecimientos cardiacos causan 17 millones de muertes en el mundo cada año. Este censo estima que las enfermedades del corazón son la causa principal de muerte en Latinoamérica con cerca de 1 millón por año y 7.2 millones de personas padeciendo enfermedades relacionadas de seria consideración. Dadas estas estadísticas, es evidente la importancia de brindar servicios de salud de calidad particularmente en el área de Cardiología.

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

A. Objetivo

El Maletín Médico (MM) es un conjunto de módulos de instrumentación médica que, haciendo uso de la computadora, ofrece no sólo las características básicas de la instrumentación médica tradicional, sino además la facilidad de analizar y enviar remotamente la información fisiológica adquirida del paciente con fines de llevar a cabo tareas de telediagnóstico.

Los módulos principales que forman parte del MM son los siguientes:

- PCG: Electrocardiógrafo para uso en reposo con interfase a computadora.

- Holter-PCG: ECG para uso ambulatorio (Holter) o en reposo con interfase a computadora.
- Estetoscopio digital*
- Termómetro digital*
- Oxímetro digital*
- Baumanómetro digital*

* Con interfase a computadora

El presente artículo refleja el desarrollo de los módulos PCG y Holter-PCG.

B. Análisis del contexto

El principal campo de aplicación inicialmente será en las labores de telediagnóstico que se realizarán entre varias clínicas, que se pretende fundar en el estado de Guerrero en Agosto de 2001 y un hospital del Distrito Federal que cuenta con un número importante de especialistas en Cardiología.

Para llevar a cabo este apoyo remoto, se requiere de un sistema que permita el intercambio de información entre varias localidades, mismo que se podrá realizar mediante el uso de Internet, instrumentación médica con interfase a computadoras y una base de datos que contenga la historia clínica de los pacientes, misma que es esencial para un diagnóstico completo y confiable.

C. Justificación

El tener médicos especialistas en las instituciones que brindan servicios de salud es algo relativamente costoso, por lo que no todas las clínicas y hospitales los tienen o no cuentan con la diversidad suficiente como para brindar una atención íntegra a los pacientes. Los módulos PCG y Holter-PCG permitirán brindar una solución de bajo costo a este problema, dado que el telediagnóstico permitirá ofrecer apoyo y consultas de forma remota, a una fracción del costo de tener los especialistas de manera presencial.

Además los módulos que forman parte del Maletín Médico serán de bajo costo, aun comparados con instrumentos médicos que no poseen las características de facilidad de conexión a una computadora ni la de transmisión remota de información.

D. Beneficiario

Los módulos PCG y Holter-PCG, beneficiarán principalmente a los siguientes sectores:

- Las comunidades que carecen de servicios de especialistas en sus centros de salud.
- Los médicos especialistas y generales que desean consultar y diagnosticar a distancia.
- Particulares que, por restricciones de salud o de otra índole, requieren de servicio médico haciendo uso de un esquema de telediagnóstico.

En la figura 1 se ilustra claramente la manera en que funciona nuestro sistema de telediagnóstico.

E. Requisitos del sistema

Uno de los requerimientos principales del proyecto consiste en que el sistema desarrollado cumpla ante todo con una excelente precisión de medición con el fin de lograr diagnósticos concisos y confiables. A través de un diseño concebido a partir de componentes fácilmente disponibles comercialmente, es posible lograr un prototipo económico atractivo para el mercado.

La estrategia propuesta es desarrollar un equipo basado en un sistema de adquisición que recopila los datos del paciente y hace uso de una computadora personal para el procesamiento de la información y su transmisión remota.

El software deberá ejecutarse en cualquier computadora compatible con PC o Mac (corriendo un emulador de Windows, como lo es Virtual PC), almacenar las lecturas de los estudios del paciente y permitir su transmisión a través de Internet.

Entre otras características, el sistema de información deberá notificar a los especialistas de los estudios pendientes para diagnóstico y los ya realizados así como poseer mecanismos de seguridad para garantizar la confidencialidad de la información almacenada.

F. Características técnicas

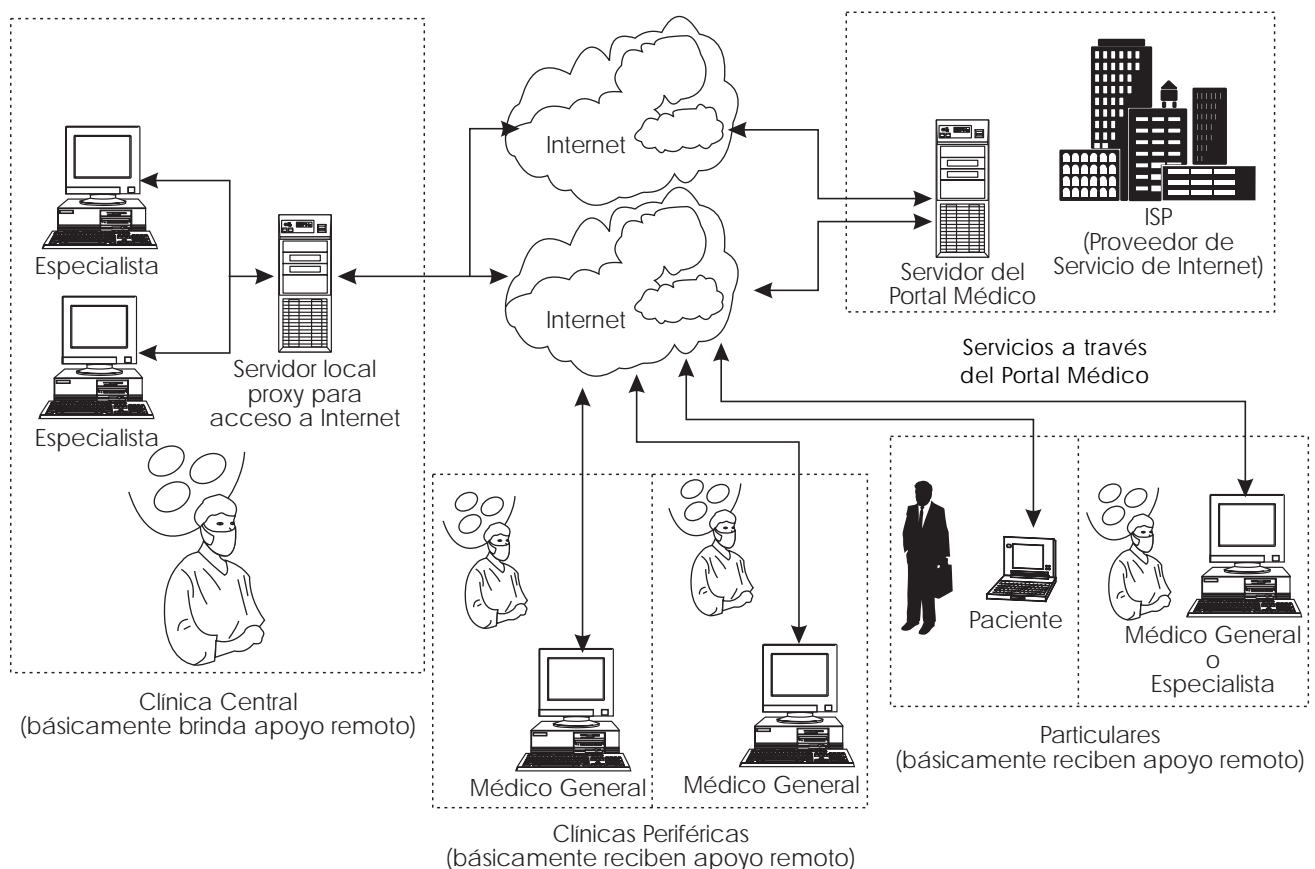


Figura 1. Interacción de médicos especialistas, médicos generales y particulares bajo el esquema de Telediagnóstico via Internet.

HARDWARE

PCG:

El módulo electrónico o hardware consiste de una tarjeta de adquisición de datos que amplifica, acondiciona, convierte y transmite a la computadora los biopotenciales provenientes del paciente. La figura 2 muestra un diagrama a bloques de las etapas de Hardware.

A continuación se realiza una descripción de cada una de las etapas del sistema.

Etapas de alta impedancia. Es necesario contar con una etapa de alta impedancia para no atenuar el nivel de los biopotenciales obtenidos del paciente.

Preamplificación. Primera amplificación de los biopotenciales. Típicamente la ganancia de esta primer etapa de amplificación es baja en comparación a la de amplificación. Esto se hace con el fin de no amplificar de manera significativa cualquier nivel de offset (nivel de CD) proveniente de los electrodos.

Amplificación. En esta etapa se lleva a cabo la mayor parte de la amplificación de los biopotenciales. Se encuentra acoplada con la etapa de preamplificación a través de capacitores que eliminan cualquier nivel de offset proveniente de los electrodos.

Ajuste de nivel. El biopotencial previamente amplificado se acondiciona para estar en un rango de voltaje positivo, adecuado para la conversión analógico-digital realizada por un convertidor unipolar.

Filtrado. En esta etapa se minimiza el ruido muscular y cualquier interferencia de la línea de 120VAC. Estas dos fuentes de ruido tienen componentes frecuenciales semejantes, por lo que el filtrado llevado a cabo por el sistema consiste en un filtro ranura centrado en estas frecuencias indeseables.

Conversión analógica-digital. Se utiliza un convertidor de 8 bits de resolución. Este tipo de convertidor ofrece una resolución adecuada, además de estar caracterizado por su amplia disponibilidad comercial.

Microcontrolador. El microcontrolador controla la transmisión de información entre el ADC, el convertidor con interfase serial y la computadora.

Optoaislamiento. Esta etapa del diseño es importante por cuestiones de seguridad del paciente. Ofrece aislamiento eléctrico entre la etapa alimentada por la fuente flotante, misma que se encuentra en contacto con el paciente, y la etapa energizada por el convertidor de voltaje de CA-CD, mismo que se encuentra conectado a la toma de corriente.

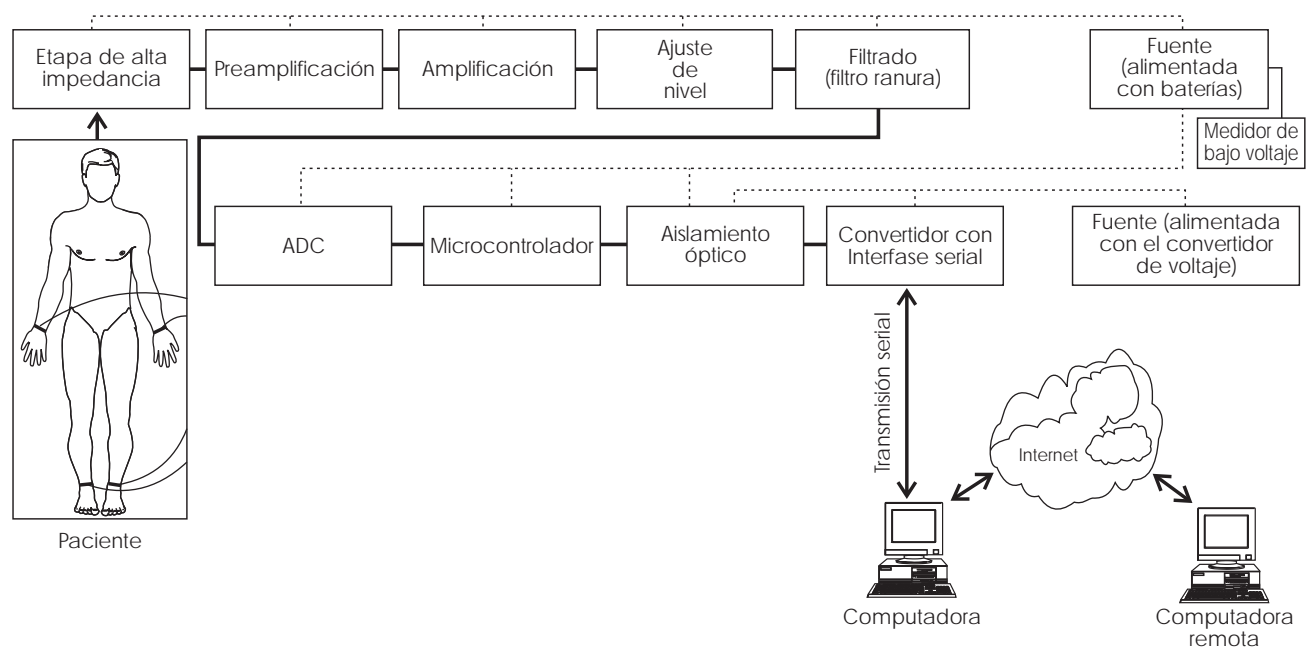


Figura 2. Diagrama a bloques del sistema PCG.

Convertidor con interfase serial. Este circuito funciona como una interfase entre niveles de voltaje TTL y RS232, con el fin de transmitir información entre el electrocardiógrafo y la computadora.

Fuente de alimentación. El diseño cuenta con dos fuentes de alimentación, la primera corre a cargo de dos pilas de 9V y cuenta con dos reguladores de +5 y -5V; la otra fuente se alimenta de un convertidor de CA-CD conectado a la toma de corriente de 120 VAC. Las etapas que alimenta cada una de las fuentes se muestran claramente en la figura 2.

Medidor de bajo voltaje. El sistema cuenta con un indicador de bajo voltaje de las baterías, de tal manera que, cuando el voltaje de alimentación del sistema se vea disminuido a un umbral inferior predefinido, se indicará la condición de batería baja encendiendo un LED (diodo emisor de luz).

HOLTER-PCG:

El Hardware del Holter-PCG es muy similar al diseño del PCG, sólo que el Holter-PCG no cuenta con las etapas de filtrado analógico y ajuste de nivel. Se pudo prescindir del filtro analógico mediante la implantación en la computadora de filtros digitales. Para la eliminación de la etapa de ajuste de nivel, se utilizó un convertidor analógico-digital bipolar (con resolución de 10 bits), por lo que la señal a ser convertida podría tener voltajes positivos y negativos. Otra etapa distinta respecto al PCG es que el Holter-PCG requiere de un medio de almacenamiento para la grabación de electrocardiogramas durante 24 horas en modo de operación Holter (electrocardiógrafo ambulatorio). Dicha información posteriormente se puede transferir a la computadora. La figura 3 muestra un diagrama a bloques del sistema Holter-PCG.

SOFTWARE

PCG y HOLTER-PCG:

Por su parte el programa permite procesar la información adquirida del paciente. A través de varios menús, es posible efectuar un análisis de los biopotenciales cardiacos provenientes del paciente. Las funciones principales que permite realizar el programa son las siguientes:

- Ajuste de amplificación y velocidad de graficación: Posibilidad de ajustar la amplificación (en mm/mV) y velocidad de graficación (mm/s) de las señales de acuerdo a los estándares de cardiología.
- Flexibilidad de visores:
 - 3 x 4 más trazo
 - 1 x 4
 - 2 x 6
 - Biopotenciales. Permite la visualización directa de los biopotenciales adquiridos del paciente (LA, RA, V1, V2, V3, V4, V5 y V6), sin realizar cálculos matemáticos de derivaciones; además permite cambiar las etiquetas de las señales, para el uso de electrodos localizados en otros puntos del cuerpo (por ejemplo, electrodos intracavitarios).
- Opciones de graficación. Permite graficar en modo normal o utilizando DirectX, mismo que tiende a uniformizar el desempeño del programa bajo distintas características de Hardware de las computadoras.
- Datos del paciente: Permite agregar datos importantes como lo son nombre, edad, altura, peso, sexo, presión arterial, habitación, No. de control, médico encargado, diagnóstico, notas, etc. Dicha información se graba junto con el electrocardiograma obtenido del paciente.
- Herramientas de medición: El programa cuenta con herramientas de medición de amplitud, frecuencia, periodo y palpitations por minuto de las señales; además es posible comparar dos señales simultáneamente y amplificar la escala de las mismas.
- Uso simultáneo (tiempo real) de información: Mediante TCP/IP es posible conectarse con otra terminal e intercambiar información, por ejemplo, un médico especialista podrá ver un archivo que tiene abierto un médico general que se encuentra en una localidad remota, auxiliándolo en el proceso de diagnóstico de sus pacientes mediante los comentarios que intercambien a través de una ventana de texto interactivo.

La figura 4 muestra una ventana típica del programa mostrando el visor de 3 x 4 con trazo.

FILTRO DIGITAL:

Con el fin de eliminar completamente el ruido muscular y la interferencia inducida por la línea de 120 VAC se diseñó un filtro digital de 12° orden tipo Chebyshev I.

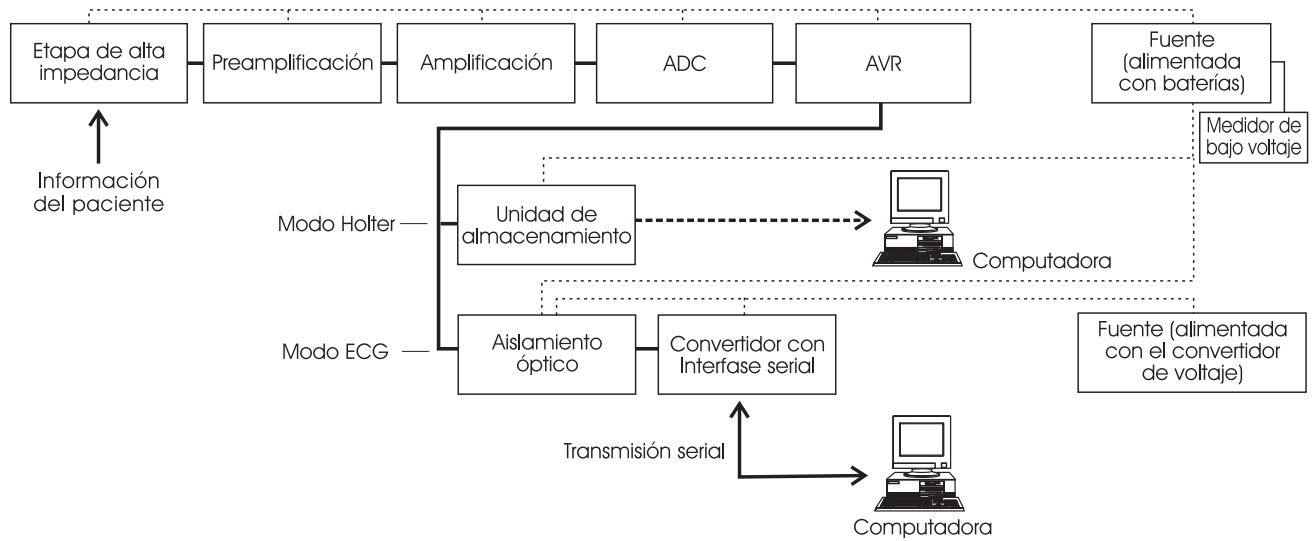


Figura 3. Diagrama a bloques del sistema Holter-PCG.

En la figura 5 se muestra el diagrama a bloques del sistema de filtrado digital:

- Donde:
- $X(z)$: Entrada digital
- $Y(z)$: Salida digital
- a y b: Coeficientes
- z: Variable discreta

La figura 6 muestra la manera en que se visualiza la Derivación II grabada de un paciente a través de distintos grados de filtrado, tanto analógico como digital.

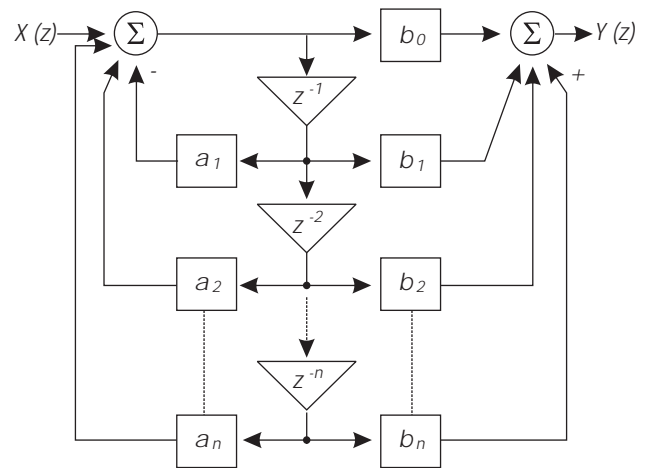


Figura 5. Diagrama a bloques del sistema de filtrado digital.



Figura 4. Ventana 3 x 4 con trazo (Software PCG v1.0). Nota: El programa fue desarrollado en Visual Basic bajo plataforma Windows 98.

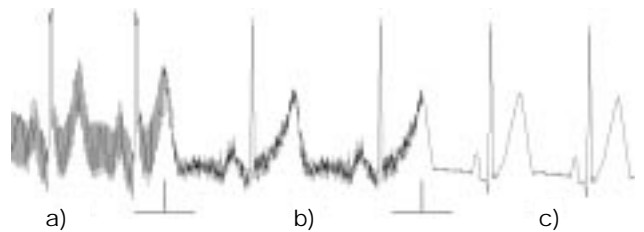


Figura 6. Derivación II: a) sin filtro analógico o digital, b) con filtro analógico, c) con filtro digital y analógico (PCG) o filtro digital solamente (Holter-PCG).

CONCLUSIONES

El presente proyecto abarcará un mercado importante de la industria de la salud, el cual consta de hospitales, clínicas y consultorios en general que tengan la necesidad de realizar servicios de telemedicina con el fin de abaratar costos de operación y ofrecer un mejor servicio.

Se han desarrollado productos que permitirán llevar a cabo tareas de telediagnóstico, al combinar equipo de cómputo, bioinstrumentación e Internet, superando de esta manera las características de instrumentos médicos convencionales. Con esto se abren las puertas hacia la posibilidad de contribuir de manera importante al bienestar de la sociedad.

ACERCA DE LOS AUTORES

El M.C. Manuel Villalpando Villalpando es Ingeniero en Electrónica y Sistemas Digitales por la Universidad Bonaterra con una maestría en Ing. Biomédica de la Universidad de California en EU (UC Davis). El área de énfasis en sus estudios de posgrado fue en sistemas, control (tradicional y difuso) y robótica aplicado principalmente a la medicina. Actualmente, encabeza el departa-

mento de Ing. Biomédica y Electrónica en Ingeniería Aplicada y cuenta con una amplia experiencia en el desarrollo de proyectos, siendo entre los más relevantes la optimización de sistemas de control para robots cirujanos y el desarrollo de robots caminadores.

E-mail: mwillalpando@iaplicada.com

Ramiro Velázquez Guerrero es Ingeniero en Electrónica y Sistemas Digitales por la Universidad Bonaterra con un DEA (Diplôme d' Etudes Approfondies) en Automatización Industrial por el Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, Francia. Actualmente, colabora en el desarrollo de proyectos en el Departamento de Ingeniería Biomédica y Electrónica en Ingeniería Aplicada y cuenta con experiencia en el desarrollo de sistemas de control para robots de inspección intratubular y el desarrollo de robots caminadores.

Pedro Ángel Gutiérrez Mier es Ingeniero en Electrónica y Sistemas Digitales por la Universidad Bonaterra. Cuenta con experiencia en el desarrollo de robots caminadores (como investigador y asesor) y en sistemas de comunicación inalámbrica con base en microcontroladores. Próximamente cursará sus estudios doctorales con énfasis en robótica y visión en la Universidad Politécnica de Madrid.