

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TELEMONTORIZACIÓN VITAL USANDO HARDWARE RECONFIGURABLE

José Pablo Pinilla¹, Oscar Alberto Mantilla², Leonardo Andrés Rodríguez³, Sherneyko Plata Rangel⁴

Bioingeniería, Fundación Cardiovascular de Colombia.

Recibido abril 20 de 2015 – Aceptado mayo 30 de 2015

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v9n2.a02>

Resumen— La creciente necesidad de descentralizar la atención médica a pacientes a nivel nacional, ha favorecido que con apoyo gubernamental en Colombia, a través del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (MinTICs), se haya propiciado el desarrollo de un sistema de telemonitorización de parámetros fisiológicos para el cuidado en casa de pacientes con enfermedades crónicas, durante el proceso transporte o con problemas de accesibilidad geográfica. En el presente artículo se exponen las tecnologías implementadas y el proceso de caracterización de un sistema electrónico encargado de realizar monitoreo remoto mediante el envío de datos de parámetros fisiológicos usando redes móviles y visualización Web a través de internet. Estas tecnologías incluyen la decodificación de tramas de datos usando hardware reconfigurable, la utilización de redes móviles, y el empaquetamiento de datos sobre el protocolo TCP/IP (Websocket).

Palabras clave— Telemetría, Websocket, Software Embebido, FPGA, GSM, WCDMA, VSM.

Abstract— The growing need to decentralize healthcare to patients nationwide, encouraged by government support in Colombia through the Ministry of Information Technology and Telecommunications, has led to the development of a system for the telemonitorization of physiological parameters for home care of patients with chronic diseases, during patient transportation, or for those with geographic accessibility problems. This article exposes the technologies and characterization process of an electronic system responsible for performing remote monitoring by sending data of physiological parameters using mobile networks via the Internet and a Web visualization platform. Such technologies include reconfigurable hardware to decode data frames, the use of mobile networks, and packaging of data on TCP/IP protocol (WebSocket).

Keywords— Telemetry, Websocket, Embedded Software, FPGA, GSM, WCDMA, VSM.

¹ Jose Pablo Pinilla. Fundación Cardiovascular de Colombia. Email: josepinilla@fcv.org

² Oscar Alberto Mantilla. Fundación Cardiovascular de Colombia. Email: oscarmentilla@fcv.org

³ Leonardo Andrés Rodríguez. Fundación Cardiovascular de Colombia. Email: leonardorodriguez@fcv.org

⁴ Sherneyko Plata Rangel. Fundación Cardiovascular de Colombia. Email: sherneykoplata@fcv.org

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de telesalud constan de dos componentes principales que conectan dos ubicaciones geográficas con el fin de intercambiar información de tipo médico. Un componente es la unidad de telesalud y el otro la unidad base. Esta topología permite distintas distribuciones dependiendo del servicio a implementar, por ejemplo, el uso de la unidad de telesalud en el lugar de emergencia en conexión con la unidad base para consulta con el personal médico especializado, o tele-monitorización en casa, con ayuda opcional de personal asistencial. [1]

Existen grandes redes de telesalud en el mundo que prestan los servicios de telemedicina, cuidado ubicuo, y monitorización de pacientes en casa o Home Care, entre las cuales se encuentran la OTN (Ontario Telemedicine Network) y la CTN (California Telehealth Network) de Canadá y EE.UU respectivamente. La OTN tiene proyectada la vinculación de 30.000 pacientes a sus servicios de telesalud para el 2015 a través de los programas de Teledermatology, Telestroke, Teletrauma, Telehomecare, entre otros. Para lo cual hacen uso de equipos especializados para ser utilizados por los pacientes con o sin ayuda de personal de enfermería [2].

Este artículo hace un recorrido por la metodología y componentes de un sistema de telesalud, y muestra los resultados de la implementación para lograr la comunicación de señales de parámetros fisiológicos mediante redes celulares. Este sistema hace parte de un Monitor de Signos Vitales (MSV) en desarrollo por el grupo de Bioingeniería de la Fundación Cardiovascular de Colombia, para uso en servicios de Telesalud para cuidado en casa o en unidades de transporte.

II. ESTADO DEL ARTE

En Colombia se han adelantado proyectos importantes en cuanto al diseño de dispositivos médicos que usan las Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (TICs). El grupo de investigación Bioingenium creó en el 2008 un dispositivo de

Para implementar la transmisión por red celular WWAN (Wireless Wide Area Network) de los datos adquiridos, se eligió un módulo que cumple con los requerimientos de capa física y arquitectura GSM y WCDMA. Este módulo se comunica con el procesador Nios II por protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) de 115200 Baudios y hace parte del equipo electrónico y sistema de telesalud del diagrama de la Fig. 3.

Para la comunicación con el dispositivo se hace uso de comandos AT [11]. Estos permiten la configuración de la conexión en cuanto a APN (Access Point Name), tipo de antena utilizada, modo de escritura de datos (Transparente o por comandos), especificación de dirección IP (Internet Protocol) y puerto del servidor, conexión TCP (Transmission Control Protocol) y envío de datos correspondientes a los signos vitales leídos.

Estos comandos se agrupan para formar etapas genéricas para cualquier capa física, como se muestra en el diagrama de la Figura 4. De esta forma el Software puede inicializar el Hardware de conexión (Encender el módulo y configurar la comunicación UART), Obtener IP por DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), iniciar conexión Websocket (Realizar conexión TCP y protocolo Handshake de Websocket), iniciar sesión en el servidor (enviar y confirmar mensajes de Login y Autenticación Websocket) [12] y enviar datos al mismo tiempo que verifica la comunicación con el servidor.

2.2 Adquisición de signos vitales

Los datos de parámetros fisiológicos son adquiridos de un módulo de OEM (Original Equipment Manufacturer) multi-parámetros que entrega por UART los datos procesados de un pulsioxímetro, derivas de Electrocardiografía (ECG), sensor de temperatura y brazaletes de presión no invasiva. Como resultado se obtienen los datos estáticos de BPM (Beats Per Minute) por ECG y pulsioximetría, Saturación de Oxígeno (SpO2), frecuencia respiratoria (RR), temperatura en grados Celsius, presión Sistólica (SIS), Media (MAP) y Diastólica (DIAS); al igual que las ondas de 2 derivas ECG, SpO2 y Respiración. El módulo tiene una transmisión asíncrona de 115200 baudios utilizando un formato de encabezado o ID, datos, y suma de verificación o Checksum. Esta trama es decodificada por una Descripción de Hardware (HWD) en FPGA que reconoce cada ID y almacena los datos en On-Chip RAM (Random Access Memory) con conocimiento previo del tamaño e información de la trama; esta memoria es leída por el procesador tipo Soft-Core Nios II desde un segundo puerto a una razón distinta a la de escritura, por lo que la información de los parámetros fisiológicos está disponible en todo momento y puede ser leída durante el proceso de transmisión de datos sin que esto signifique un uso de recursos mayor que el de leer un puerto del procesador. Los datos de ondas (2xEKG/SpO2/RESP) se almacenan secuencialmente en un buffer doble de 500 datos por señal para permitir lectura y escritura simultánea. Estos 500 datos corresponden a 4 segundos de ondas.

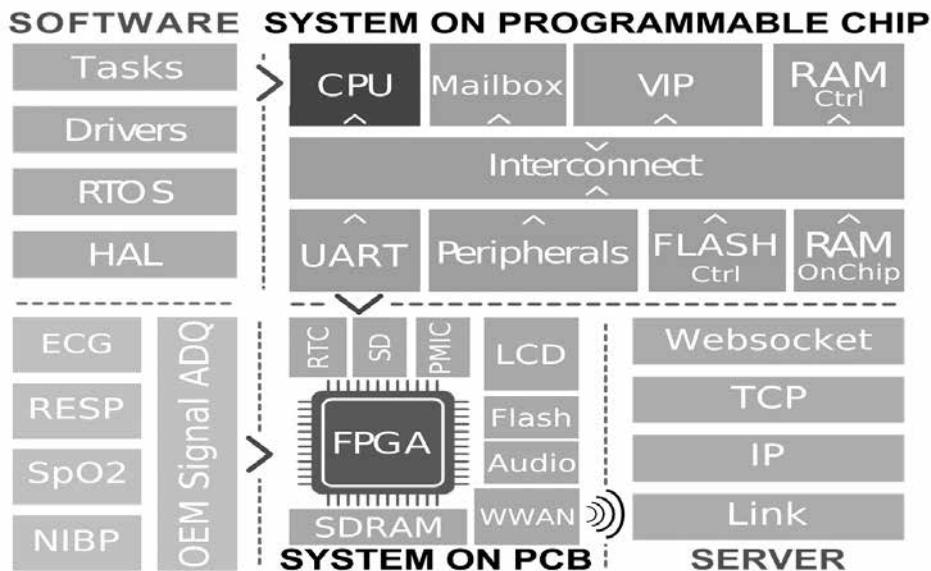


Fig. 3. Diagrama del sistema MSV y Servidor.
Fuente: Autor

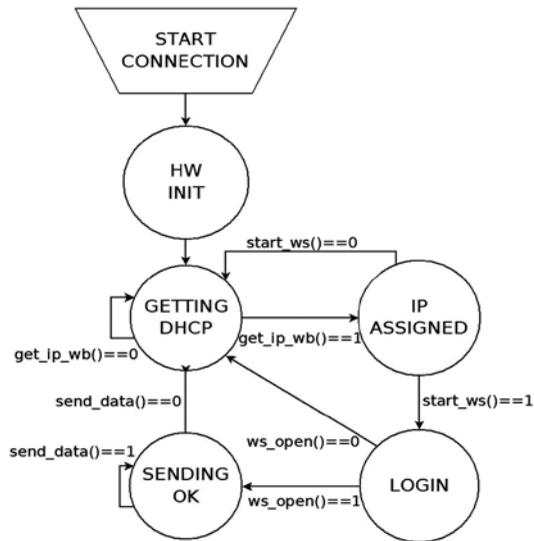


Fig. 4. Estados del algoritmo de conexión y envío de datos.
Fuente: Autor

2.3 Funcionamiento en tiempo real

El dispositivo electrónico utilizado en esta implementación cuenta, además de la adquisición y transmisión de datos, con una pantalla de visualización para datos estáticos y ondas, panel táctil, entradas de botones, reloj de tiempo real, sistema de archivos y manejo de potencia con batería. Es por esto que se hace necesario el uso de un RTOS para el manejo de distintas tareas, que en este caso es uC/OS II de la empresa Micrium. Una de las tareas principales es la del control de transmisión de datos, lanzada desde la interfaz gráfica y encargada de realizar el encendido y configuración del módulo de conexión, creación y mantenimiento de la conexión TCP, y envío de tramas de Handshake, Login y paquetes de datos con empaquetamiento Websocket. El código de la Fig. 5 es un ejemplo de cómo se utilizan las

funciones del RTOS para mantener la supervisión de las señales estáticas y ondas capturadas. Los datos estáticos se comparan con los valores anteriores antes de realizar su envío, de esta forma se mantiene un uso reducido de los recursos de red. Los datos de ondas se envían cuando el buffer entregue la señal de Ready, correspondiente a 500 datos de cada una de las ondas leídas. {TC "5 Código RTOS. Fuente: Autor" \f f}

2.4 Websocket

Para este desarrollo la unidad base está implementada en un servidor Web, esto permite el uso de la plataforma desde múltiples dispositivos a diferencia de una conexión punto a punto, la cual requiere de mayor capacidad de procesamiento por parte de la unidad de telesalud si se requiere la visualización de los datos por múltiples usuarios. Como base de su funcionamiento se hace uso del protocolo de comunicación Websocket con el fin de realizar una conexión persistente entre el cliente y servidor para el envío y recepción de información en Full-Duplex. Websocket requiere que se cree una conexión TCP con el servidor y usando ese único puerto se realiza el envío de una trama HTTP (HyperText Transfer Protocol), llamada Handshake, que actualiza la conexión al protocolo Websocket. De forma similar existe una respuesta del servidor que confirma la actualización de la conexión. A partir de ese paso las tramas enviadas deben contar con el empaquetamiento que se muestra en la Figura 6 teniendo como carga útil o Payload la información en caracteres ASCII (American Standard Code for Information Interchange) de los parámetros fisiológicos simulados. Estos algoritmos fueron realizados en C/C++ para la unidad de telesalud con el procesador Nios II y se utiliza la herramienta jWebsocket para su procesamiento en el servidor o unidad base.

```

void taskWebsocket(structType * structPtr){
  /*
  ...Código del RTOS...
  */
  for(;;){
    /*
    ...FSM para conexión...
    */

    case SENDING_OK: /*Transmitting Data*/
      if (static_data_changed()){
        ws_send_data(structPtr->static_data);
      }
      if (waves_buffer_ready()){
        ws_send_data(structPtr->waves_data);
      }
      //Delay del RTOS
      OSTimeDlyHMSM(0, 0, 0, 10);
      break;

    /*
    ...Continúa FSM para conexión...
    */
  }
}

```

v Figure 5: Código RTOS. Fuente: Autor

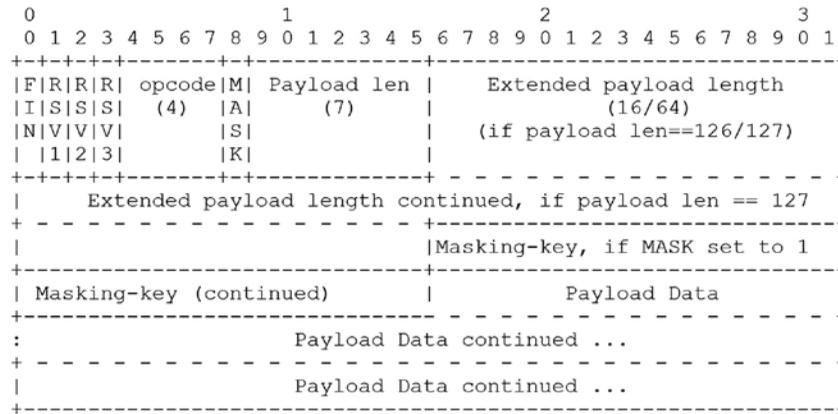


Fig. 6. Encabezado WebSocket. Fuente: IETF-RFC 6455

IV. RESULTADOS

{TC "6 Encabezado WebSocket. Fuente: IETF-RFC 6455" \f }

El prototipo desarrollado utiliza una tarjeta SIM (Subscriber Identification Module) del ISP (Internet Service Provider) Movistar de Colombia Telecomunicaciones, con un plan de servicios de navegación. El ISP presta los servicios de WCDMA y GSM sobre la frecuencia de 850 MHz. Para el desarrollo de las pruebas se hace uso de la configuración en ambos tipos de conexión los cuales presentaron los resultados que se muestran en las TABLA I y II. La TABLA I muestra los tiempos de RTT (Round-Trip delay Time), resultado de la herramienta Ping utilizada desde la unidad de telesalud hacia al servidor de la unidad base. Esta prueba se realiza con GSM y WCDMA en condiciones de calidad de señal con RSSI (Received Signal Strength Indicator) entre -55 dBm y -51 dBm.

TABLE I.

RTT POR PING AL SERVIDOR {TC "1 RTT por ping al servidor Fuente: Autor" \f }

Red	RTTmin (ms)	RTTmed (ms)	RTTmá x (ms)
GSM	975	1189.6	1455
WCDMA	101	113.125	200

FUENTE: AUTOR

Una vez comprobada la comunicación por ambos tipos de conexión se realizó la integración con la unidad base. En esta, el programa jWebSocket reconoce únicamente tramas WebSocket enviadas desde la unidad con el formato especificado previamente. La Figura 7 muestra el formato de la trama Handshake, con los campos variables entre símbolos "<" y ">", para transmisión y recepción. Una vez realizada la

conexión WebSocket al servidor, la unidad de telesalud espera la solicitud desde la unidad base para realizar el envío de datos estáticos, límites y ondas. Los datos de ondas se activan al momento de recibir la primera solicitud de datos estáticos. Estas solicitudes se deben con el encabezado de la Fig. 6 y el Payload debe tener el formato que se muestra en la Fig. 8.

```
NiosII>GET /<path> HTTP/1.1
Host: <host_ip>
Upgrade: WebSocket
Connection: Upgrade
Sec-WebSocket-Origin: http://<host_ip>
Sec-WebSocket-Protocol: org.jwebsocket.json
Cookie: JWSESSIONID=<server_id>
Sec-WebSocket-Key: <client_key>
Sec-WebSocket-Version: 13

Module>HTTP/1.1 101 Switching Protocols
Upgrade: websocket
Connection: Upgrade
Sec-WebSocket-Accept: <server_accept_key>
Sec-WebSocket-Protocol: org.jwebsocket.json
Sec-WebSocket-Origin: http://<host_ip>
Sec-WebSocket-Loction: ws://<host_ip>/<path>
Set-Cookie: JWSESSIONID=<server_id>; HttpOnly
```

Fig. 7. Formato Handshake. Fuente: Autor

```
{"ns": "org.fcv.websocket.msv",
"type": "solicitarEstaticosMSV",
"tipoDocumento": "<valor>",
"idDocumento": "<valor>",
"sourceId": "<valor>",
"utid": "<valor>"}
```

```
{"ns": "org.fcv.websocket.msv",
"type": "solicitarLimitesMSV",
"tipoDocumento": "<valor>",
"idDocumento": "<valor>",
"sourceId": "<valor>",
"utid": "<valor>"}
```

Fig. 8. Formato solicitudes WebSocket.

La TABLA II es resultado de la implementación de estos mensajes. El código en el envío de estas solicitudes inicia un contador en el momento anterior a la ejecución del mensaje y lo detiene cuando esa solicitud es recibida, obteniendo así la latencia del sistema de comunicación, lo cual incluye no sólo el retraso en la comunicación sino también los tiempos de ejecución por parte de la unidad de telesalud y la unidad base.

TABLA II
LATENCIA {TC "2 Latencia Fuente: Autor" \f t}

Red	Latencia (ms)
GSM	1250
WCDMA	130

FUENTE: AUTOR

V. CONCLUSIONES

Visualmente los resultados obtenidos con ambos tipos de conexión (GSM y CDMA) se mostraron diferentes, demostrando los valores obtenidos en la medición de latencia. Esto se puede observar en un retraso en la graficación de ondas al comparar la visualización web o de unidad base, como la que se muestra en la Fig. 9, con la pantalla del equipo MSV durante la toma de datos de signos vitales, usando la conexión GSM. El retraso mayor a 1s es perceptible visualmente tanto en las gráficas de ondas como en los datos estáticos. La Fig. 10. muestra un usuario utilizando el MSV con el sensor de pulsioximetría.



Fig. 9 Interfaz Web.

Fuente: Autor {TC "9 Interfaz Web. Fuente: Autor" \f f}



Fig. 10. Prototipo MSV.

Fuente: Autor {TC "10 Prototipo MSV. Fuente: Autor" \f f}

Por otra parte, la conexión por WCDMA presenta un comportamiento óptimo para el envío de todas las señales obtenidas, valores estáticos y ondas ya que los retrasos no presentan un obstáculo en la comunicación, y la visualización de los mismos es estable. Este proyecto hace uso de tecnologías innovadoras que aún están emergiendo con gran impulso en aplicaciones de salud, como son las redes celulares y el desarrollo Web [13], además de proponer la implementación de FPGA como única unidad de procesamiento para la aceleración de tareas. Esto permite una gran aplicabilidad en el entorno actual donde las soluciones de telesalud presentan una alternativa para ampliar y mejorar la atención médica en áreas remotas, donde no se cuenta con personal especializado, y aliviar la congestión de los centros médicos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a COLCIENCIAS y al Programa de Electrónica y Tecnologías de la Información, que en su convocatoria 569 de 2012 favoreció la participación de FCV Bioingeniería, en el desarrollo del proyecto cuyos resultados son objeto de esta publicación.

REFERENCIAS

- [1]. B. Kumar, S.P. Singh, A. Mohan, "Emerging mobile communication technologies for health", 2010 International Conference, Computer and Communication Technology (ICCCCT 2010), pp.828-832, 2010.
- [2]. OTN, "Embarking on the Journey for Virtual Care - 2012/13 Annual Report", OTN, Ontario (Canadá), 2013. Disponible en: <https://otn.ca/sites/default/files/otn-annual-report-2012-13.pdf>.
- [3]. Altera Corporation, "Nios II Processor Reference Handbook", Altera Corporation, NII5V1-13.1, EE.UU, 2014. Disponible en:

- https://www.altera.com/content/dam/alterawww/global/en_US/pdfs/literature/hb/nios2/m2cpu_nii5v1.pdf.
- [4]. Universidad Nacional de Colombia, "SARURO Tele Care Box (TCB-081) - Dispositivo de Telemonitorización de Signos Vitales", UNAL - Centro de Telemedicina, Bogotá (Colombia), 2008.
 - [5]. M. C. Ardila, J. E. Ayala, C. M. Amaya, "Tele Unidad de Cuidado Intensivo, Resolviendo Paradigmas". Fundación Cardiovascular de Colombia, 2011.
 - [6]. SimCom "SIM5218A Hardware Design", SIMCom, SIM5218A_HD_V1.06, 2010. Disponible en: <http://synes.co.th/micupload/20111115104517.pdf>.
 - [7]. "Vive Digital Colombia: Documento vivo del plan versión 1.0/ Febrero de 2011", Ministerio de Tecnologías de la información y las telecomunicaciones, Colombia, 2011. Disponible en: http://www.mintic.gov.co/images/MS_VIVE_DIGITAL/archivos/Vivo_Vive_Digital.pdf
 - [8]. OpenSignal, 3G and 4G LTE Cell Coverage Map - OpenSignal, disponible en: <http://opensignal.com/>
 - [9]. Movistar Colombia, Cobertura - Movistar Colombia. Disponible en: <http://www.movistar.co/atencion-cliente/cobertura-tecnologia>.
 - [10]. Claro Colombia, Mapa Cobertura Soluciones Móviles, disponible en: <http://www.claro.com.co/wps/portal/co/pc/personas/ayuda/mapa-cobertura-movil>.
 - [11]. SimCom, "SIM5218 AT Command Set", SIMCom, SIM5218_Serial_ATC_V1.38, 2012. Disponible en: <http://simmoduly.cz/download/soubory/sim5218/2012125153719f.pdf>.
 - [12]. I. Fette, A. Melnikov, "The Websocket Protocol", IETF, RFC 6455, ISSN: 2070-1721, 2011. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc6455>.
 - [13]. WorldatWork "Emerging Technology in Health Engagement", WorldatWork, EE.UU., 2013. Disponible en: <http://www.worldatwork.org/waw/adimLink?id=71428>.

BIOGRAFÍA



Jose Pablo Pinilla nació en Bucaramanga, Colombia, en Abril 26 de 1989. Su carrera profesional comenzó en el 2006 uniéndose al programa de Ingeniería Electrónica de la UPB seccional Bucaramanga. Durante este periodo participó activamente en el grupo de investigación BISEMIC y el semillero de investigación ADT del cual fue cofundador. Del año 2011 al 2012, y durante el desarrollo de su tesis de grado, realizó pasantías en la CIC (Corporación

para la Investigación de la Corrosión) y un intercambio académico para asistir en el desarrollo de proyectos de investigación en el grupo CSTAR (Canadian Surgical Technologies and Advanced Robotics) de la UWOC, Canadá, gracias a la beca ELAP (Emerging Leaders of the Americas Program). En su regreso a Colombia inició su trabajo como Ingeniero Junior de Diseño y Desarrollo en el área de Bioingeniería de la FCV (Fundación Cardiovascular de Colombia) y recibió su título como Ingeniero Electrónico. Ocupó este cargo durante dos años y desde Septiembre de 2015 es candidato al título de **M.A.Sc** en Ingeniería Eléctrica y de Computación de la UBC, Canadá, donde también es asistente de investigación en el grupo de SoC (System on Chip).

Sus campos de interés en investigación son los dispositivos de lógica configurable y la arquitectura de computadores, ya sea en el desarrollo de aplicaciones que demuestren las ventajas del diseño de lógica digital o en la elaboración de herramientas CAD para su uso y creciente adopción.



Oscar Alberto Mantilla Se graduó del Instituto Tecnológico Salesiano Eloy Valenzuela como Técnico Electricista, luego estudió tecnología electrónica en las Unidades Tecnológicas de Santander y obtuvo el título de Ingeniero Electrónico de la Universidad del Valle en el 2006, actualmente es candidato a Magister en Gerencia de Negocios de la Universidad Industrial de Santander.

Profesionalmente se ha desempeñado en empresas del sector energético y de telecomunicaciones y ha laborado como técnico, instalador, mantenedor y diseñador en el área de la ingeniería electrónica; durante los últimos 10 años se ha desempeñado en el área biomédica, siendo diseñador, de software y hardware para el monitoreo de signos vitales en la Fundación Cardiovascular de Colombia, obteniendo tres patentes nacionales. En la actualidad se desempeña como jefe de producción de equipos Biomedicos en la Dirección de Ingeniería y Arquitectura Hospitalaria de la FCV y participa activamente en el diseño de soluciones y el área biomédica en proyectos financiados por Colciencias.



Leonardo Andres Rodríguez. Se graduó como ingeniero Electrónico en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga en el 2006. Su proyecto de grado fue el acondicionamiento y digitalización de una máquina de circulación extracorpórea de flujo de pulsátil existente en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV). Vinculado laboralmente a la FCV desde el año 2005 como ingeniero de diseño y

desarrollo, ejecutó diversos proyectos entre los que se encuentran un Holter de presión arterial, bombas perfusoras de inyección, rediseño de la incubadora neonatal. Actualmente se desempeña como Jefe de Diseño & Desarrollo de Insumos hospitalarios de la FCV, y ha coordinado en el rol de Investigador principal varios proyectos en cofinanciación con COLCIENCIAS, los cuales han sido exitosos, además de que han aportado conocimiento a la comunidad en general, a través de la socialización de resultados por medio de la obtención de Patentes de invención y modelos de utilidad, en los cuales el ingeniero aparece como inventor y desarrollador.



Sherneyko Plata Rangel nació el 17 de Febrero de 1991 en Bucaramanga, Colombia. En 2008 inició sus estudios en la UPB seccional Bucaramanga, en el programa de Ingeniería Electrónica. En el transcurso de su pregrado, desarrolló interés por la programación de sistemas embebidos y diseño digital, siendo uno de los primeros miembros del semillero ADT. A finales de 2012, desarrolló su práctica empresarial titulada "Prototipo de

monitor de signos vitales usando un sistema embebido basado en Linux" en el Centro Tecnológico Empresarial de la FCV (Fundación Cardiovascular de Colombia) en Floridablanca, Santander. A principios de 2013 Obtuvo su título como Ingeniero Electrónico, así como también inicio su trabajo como Ingeniero Junior de Diseño y Desarrollo en el área de Bioingeniería de la FCV, cargo que ocupó durante dos años. Desde septiembre de 2015 es estudiante del programa de International College of Semiconductor Technologies ofrecido por la NCTU (National Chiao Tung University), en Taiwan (ROC). Sus áreas de interés en investigación y desarrollo incluyen dispositivos de lógica configurable así como VLSI usando herramientas CAD.