

# Sistema e-Salud para el monitoreo de un prototipo de incubadora neonatal

## E-health system used for monitoring a prototype neonatal incubator

Acevedo Hernández, Guillermo Alexander\* ; Hernández Rueda, Fabio Andrés;  
Vargas Escobar, Laura Juliana; Salinas, Sergio Alexander  
Semillero BISEMIC, Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana,  
Bucaramanga, Colombia.  
\*guillermo.acevedo.2013@upb.edu.co

### Resumen

*Este artículo presenta el desarrollo de un sistema e-Salud para el monitoreo y control de temperatura y luminosidad de un prototipo de incubadora neonatal, a través de un sistema microprocesado que permite la conexión con herramientas web, que a su vez, envían los datos a través de Internet, con el ánimo de poder observar constantemente las variables mencionadas, generar alarmas y mantener informados a los potenciales usuarios como son los profesionales de la salud o familiares del neonato, sin importar el lugar donde se encuentren, siempre y cuando tengan las claves de acceso y una conexión a Internet. El sistema también permite la visualización de las variables insitu y la generación de alarmas auditivas.*

**Palabras clave:** Bioingeniería, e-Salud, Incubadora Neonatal, Internet de las cosas.

### Abstract

*The development of an e-Health system to monitor and control of temperature and luminosity in a prototype neonatal incubator is presented. This system uses a microprocessor that allows to make connections with web tools and to send data through Internet, it is in order to constantly monitor the incubator variables, generate alarms and provide information to potential users (health professionals or newborn's relatives), no matter where they are; provided that the users have the access keys and an Internet connection. The system also allows to display variables in situ and to generate audible alarms.*

**Key words:** Bioengineering, e-Health, Neonatal Incubator, Internet of Things.

### 1 Introducción

El semillero de Bioingeniería, Señales y Microelectrónica (BISEMIC) de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, conociendo la importancia de las incubadoras neonatales como equipo fundamental para tener un ambiente adecuado, que permita el desarrollo de tratamientos de un recién nacido, a través de procesos como el aislamiento del neonato de gérmenes y el control de diferentes variables como temperatura, ritmo cardiaco, actividad cerebral, nivel de oxígeno, entre otros; desarrolló un prototipo de incubadora neonatal que permite el monitoreo del entorno donde se encuentra el neonato mediante un sistema de e-salud, por lo que aplica Tecnologías de la Información

y las Comunicaciones (TIC) (García 2002, Ramírez y col., 2001).

Se buscó monitorear y controlar variables como la temperatura y la luminosidad dentro de la incubadora; en este prototipo, los datos son monitoreados por medio del sistema microprocesado *Arduino Ethernet*, que permite enviar los datos de interés a través de Internet a la plataforma virtual UBIDOTS, dicha plataforma permite el almacenamiento de la información de las variables en la nube y con ello generar alarmas, gráficas en tiempo real y tener aplicaciones del Internet de las cosas, ya que se logra una interconexión digital entre los sensores del equipo con Internet; gracias a esto, se puede conocer el estado del neonato en cualquier instante a través de un celular, computador o tableta, mientras se tenga conexión a la red (Palencia y col.,

2012).

Para facilitar la visualización de las variables medidas en un entorno gráfico amigable y no usar el *Arduino Ethernet* para el procesamiento de la interfaz gráfica, debido a que generaría retardos en el envío en tiempo real de las variables, se utilizó la tarjeta de desarrollo DE0-nano.

Además, se cuenta con un sistema de alarmas físicas con el fin de generar una respuesta inmediata ante situaciones que puedan comprometer la vida del neonato, como un aumento de la intensidad luminosa o de la temperatura de la incubadora y del neonato, la alarma se encarga de enviar un SMS (*Short MessageService*) de alerta a algún dispositivo móvil o a una cuenta de correo, en cuanto alguna de las variables medidas esté fuera de los rangos normales (Martel y col., 1992).

## 2 Incubadora y Monitoreo Neonatal

### 2.1 Incubadora neonatal

La incubadora neonatal es un dispositivo médico, cuya finalidad es generar un ambiente adecuado para el desarrollo de un recién nacido. Se usa principalmente en bebés prematuros, ya que aún dependen del vientre materno para poder vivir, debido a que no han podido seguir en el vientre materno, se simula un ambiente parecido (Castrillón y col., 2005).

Aunque en un principio, las incubadoras se basaban en tecnologías muy básicas para su funcionamiento, eran complejas de manejar para el personal médico, pero con el paso del tiempo y el avance tecnológico se han llegado a mejorar aspectos como el diseño, la seguridad y el control de las variables; buscando que el recién nacido tenga más posibilidades de recuperarse y terminar su proceso de formación (Bayona 2005).

Actualmente, se pueden encontrar incubadoras en todos los hospitales, y debido a que cada vez son más fáciles y seguras de controlar por el personal médico, se es menos propenso a tener fallas y errores por desconocimiento de su manejo (Zaragoza y col., 2001).

La incubadora posee dos componentes fundamentales la cúpula, el chasis y el sistema de control de variables. La cubierta es el responsable de aislar al bebé del medio y evitar que el exterior afecte las variables controladas como la temperatura y la humedad, además de las infecciones presentes en el ambiente y el chasis contiene la fuente de poder y los sensores para la protección del neonato (Food and Drug Administration, 2006).

Las incubadoras más complejas incluyen sistemas como tubos de alimentación para administrar alimentos, la posibilidad de administrar antibióticos por vía intravenosa, controlar la frecuencia cardíaca y hacer terapias respiratorias dentro de la incubadora (ExitCare®). Además, existe la posibilidad de hacer tratamiento de la ictericia, pigmentación amarillenta en la piel del neonato, a través de fototerapia (Rodríguez y col., 2008).

### 2.2 Monitoreo médico

Un soporte fundamental para que las incubadoras cumplan su función es el monitoreo médico, que consiste en un proceso, tal como se muestra en la Figura 1, para obtener parámetros fisiológicos con el fin de poder hacer diagnósticos rápidos sobre el paciente, y de esta manera aplicar la terapia respectiva sobre el neonato (Carpio y col., 2012).

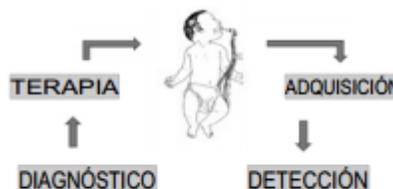


Fig. 1. Proceso de monitoreo médico.

Hoy en día, se incluyen alarmas en caso de que las señales adquiridas estén fuera de un rango, para dar alerta al personal médico de la situación del paciente; y todo esto es remitido a un punto de control central, que generalmente es el puesto de enfermeras, para ello se hacen uso de diferentes herramientas tecnológicas, algunas de ellas explicadas a continuación (Cruz 2007).

### 2.3 Herramientas tecnológicas

**Sistemas de recolección de datos:** Son tarjetas electrónicas encargadas de obtener señales mediante puertos digitales o analógicos, procesarlas y almacenarlas, ya sea en una memoria o enviando estos datos a servidores *web*. Un ejemplo de ello es el *Arduino Ethernet*, que es una placa electrónica con un procesador ATmega328, cuenta con entradas y salidas analógicas y digitales, un lector de tarjetas microSD, un RJ45 de conexión, además cuenta con una interfaz *Wiznet Ethernet* que permite establecer conexión con servidores alojados en la *web*. Estas características hacen de la tarjeta una herramienta económica y útil para tomar datos de sensores dentro de la incubadora y enviarlos a la red, además de tomar decisiones de control con algoritmos en su microprocesador (Arduino®).

**Almacenamiento de datos:** Con la creciente cantidad de datos, día a día se desarrollan servicios para almacenarlos en la *web* y así tener información segura y con fácil acceso, para ello se cuenta con una herramienta llamada UBIDOTS, que es un servicio en la nube para almacenar y analizar datos de los sensores en tiempo real, permite la generación de alarmas y el envío de las mismas a dispositivos que tengan conexión a Internet como un *Smartphone* o una *Laptop*(UBIDOTS).

**Interfaz gráfica de usuario:** También conocida como GUI (*TropicalUsar Interface*), son programas capaces de generar interacción entre el dispositivo y su usuario, se realiza mediante un conjunto de imágenes y objetos para repre-

sentar las acciones que se van a realizar al oprimir estas imágenes mediante un clic, o con el propio dedo. Esta herramienta genera alto nivel de procesamiento y en algunos casos es necesario usar hardware en paralelo mediante una GPU (*TrápicosProcesanUnir*) o una FPGA (*Field Programmable Gate Array*) para lograr que esta interacción no afecte a los algoritmos que se están ejecutando en el sistema (Cárdenas y col., 2002).

### 3 Diseño del Prototipo con el Sistema de e-Salud Implementado

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques que describe, de forma general, el sistema de e-Salud (Acevedo y col., 2014).



Fig. 2. Diagrama de bloques.

Se usaron, además de la tarjeta *Arruino Ethernet* y la FPGA DE0 nano, sensores de temperatura de referencia LM35, fotoceldas para medir la luminosidad y los materiales para simular una incubadora.

Se escogió *Arruino Ethernet* ya que permite una rápida conexión a Internet, además que se puede programar para medir las variables que se quieren monitorear y realizar el control de las mismas.

La FPGA DE0 nano se seleccionó para poder visualizar los datos que se están tomando mediante los sensores, de esta forma el médico o la persona que esté supervisando la incubadora, podrá corroborar que todo el sistema esté funcionando correctamente. Además, gracias a la configuración que se realizó con la tarjeta *Arruino Ethernet*, los datos medidos son almacenados en el sistema UBIDOTS para que cualquier persona interesada en conocer el estado en que se encuentra el bebé, pueda hacerse una idea observando los datos que hay en la red; de esta forma se brinda una herramienta más para la seguridad y cuidado de la salud del neonato.

Los materiales con los que se hizo el prototipo de incubadora son: una caja plástica, LED (*Light-Emitting Diode*) azules que representan las fuentes de luz para fototerapia,

que tienen algunas incubadoras reales, y ventiladores para la regulación de temperatura. El prototipo desarrollado se puede observar en la Figura 3.



Fig. 3. Prototipo de la incubadora.

Se adaptaron los LED a la tapa de la caja, según la configuración que se observa en la Figura 4; se realizó una configuración especial, usando las 4 salidas PWM que tiene el *Arduino Ethernet* para alimentar estos circuitos y realizar el control de luminosidad de una manera progresiva cuando fuese necesario.

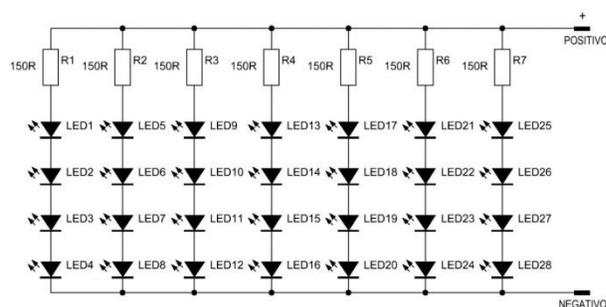


Fig. 4. Configuración de los LED.

Se emplearon fotoceldas para poder medir la intensidad de luz a la cual está expuesto el neonato; en la industria clínica se emplea un parche que está sobre el neonato y es el que mide la luminosidad.

Se escogió el dispositivo LM35 para medir la temperatura dentro de la incubadora y del bebé; este dispositivo está diseñado para este tipo de prototipos académicos y es sencillo de adaptar al sistema de monitoreo.

Se utilizó una etapa de potencia para poder realizar el control de los ventiladores a través del *Arduino Ethernet*; debido a que este dispositivo no puede proporcionar la corriente suficiente para hacer funcionar todo el sistema de refrigeración, fue necesario emplear un puente H (La Web del Ingeniero); en la Figura 5 se observa el circuito guía para realizar las conexiones, en donde los motores representan los ventiladores y el circuito integrado es el puente.

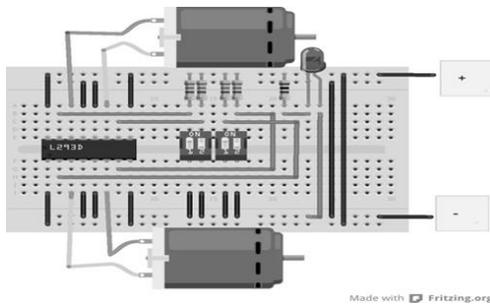


Fig. 5. Etapa de potencia para los ventiladores.

Para la interfaz gráfica de usuario, que se muestra en la Figura 6, se utilizó una FPGA DE0-nano conectada a una pantalla TFT (*Thin-Film Transistor*) de 4", que mediante la incorporación de algoritmos y un ADC (*Analog-Digital Converter*) adquiere datos de los sensores y ejecuta una representación en la pantalla de una señal de electrocardiografía mediante una simulación elaborada con el sistema NIOS II. Se utilizó un PLL (*PhaseLockedLoop*) para controlar la máquina de estados y, el ADC en conjunto con divisores de frecuencia y atrapadores de flanco para manejar las instrucciones del mismo. El sistema micro-procesado NIOS II descrito mediante lenguaje Verilog, que utiliza el software Eclipse para tener control del microcontrolador con lenguaje C, se encarga de manejar la TFT.



Fig. 6. Interfaz gráfica de usuario.

#### 4 Resultados

Los datos medidos con el *Arduino Ethernet*, se envían a la plataforma virtual UBIDOTS y ésta se recarga cada segundo, de forma que los datos observados en Internet son actualizados constantemente.

En el programa realizado, se crearon las alertas para los casos en que las variables de temperatura y/o luminosidad no estén en los rangos normales. Como prueba experimental, se tiene que: cuando la temperatura en la incubadora es mayor o igual a  $29^{\circ}\text{C}$  automáticamente se encienden los ventiladores, para intentar llevarla a su estado normal; lo mismo ocurre con el bebé simulado, cuando la temperatura

es mayor o igual a  $27^{\circ}\text{C}$ , temperatura para simular el funcionamiento de la incubadora, se enciende la alarma y los ventiladores para intentar controlar su temperatura. Por otro lado, cuando la fotocelda recibe poca luz, se encienden los LED dependiendo de la intensidad de la luz en ese momento, entre menos luz haya, más intensa es la luz emitida, lo cual demuestra que se puede controlar la intensidad de una manera progresiva dentro de la incubadora según se requiera.

En el momento que el prototipo genera alarmas, también en UBIDOTS se encienden las alertas, enviando un mensaje de texto al celular de la persona encargada del bebé, informándole del problema, para que lo revise y se logre llegar a una solución inmediata al problema.

En la Figura 7 se muestra la interfaz de la plataforma UBIDOTS, donde se reciben los resultados y se muestran en la pantalla del computador, así como la gráfica del historial de intensidad lumínica emitida dentro del prototipo.

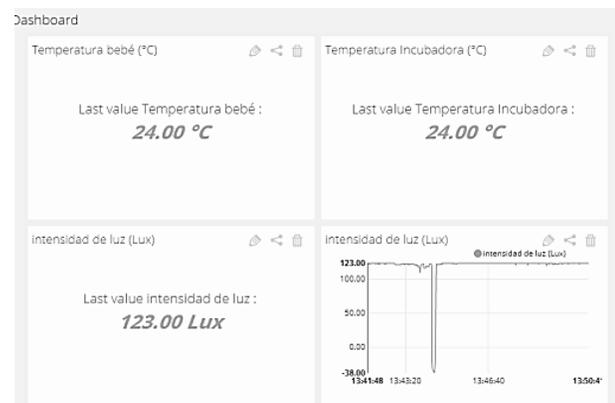


Fig. 7. Plataforma UBIDOTS.

#### 5 Conclusiones

Se construyó un prototipo funcional de incubadora neonatal con control de luminosidad y temperatura, tanto del ambiente como del neonato simulado.

Los datos obtenidos de la incubadora fueron enviados a Internet, lo cual permitió observar las ventajas que tiene el utilizar el internet de las cosas mediante plataformas económicas y de fácil acceso.

La aplicación de Salud y el Internet de las cosas permitió obtener un monitoreo remoto del sistema, con sensores y actuadores. Se generaron alarmas y mensajes de texto personalizados, elementos que permiten detectar cualquier incidente y el momento en el cual sucede.

En trabajos futuros se realizará el control de otras variables y un modelo a escala de una incubadora comercial.

## 6 Agradecimientos

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga; por generar espacios que motivan a la investigación y ayudan a generar conocimiento, aumentando el interés de los estudiantes por el aprendizaje fuera del aula. Y al ingeniero José Rafael Martínez de la empresa NETUX por promover el desarrollo y la competencia sana con concursos de tecnología, como el que permitió desarrollar este proyecto.

## Referencias

Acevedo G, 2014, Construcción de una Incubadora Neonatal, Concurso NETUX, Disponible en: <http://incunato.blogspot.com/>.

Arduino®, ArduinoBoard Ethernet, Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardEthernet>.

Bayona D, 2005, Diseño e Implementación de una Biomáquina para Niños Prematuros. ”. II Congreso Colombiano de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica, Bogotá, Colombia.

Cárdenas D, 2002, Interfaces Gráficas en Matlab usando GUIDE. CONATEC, México.

Carpio A, 2012, Una nueva estación de monitoreo neonatal centralizada para la adquisición de datos multivariantes en tiempo real. IV Congreso Venezolano de Bioingeniería, San Cristobal, Venezuela.

Castrillón B, 2005, Burbuja Artificial Neonatal (BAN). II Congreso Colombiano de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica, Bogotá, Colombia.

Cruz J, 2007, Sistema Multiagentes de Monitoreo Aplicados a Cuidados Neonatales. Tesis de Doctorado, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.

ExitCare®, Educación del Paciente: Nacimiento Prematuro. Disponible en: [https://www-clinicalkey-com-co.consultaremota.upb.edu.co/#!/content/patient\\_handout/5-s2.0-pe\\_ExitCare\\_DI\\_Preterm\\_Birth\\_es](https://www-clinicalkey-com-co.consultaremota.upb.edu.co/#!/content/patient_handout/5-s2.0-pe_ExitCare_DI_Preterm_Birth_es).

Food and Drug Administration.2006, Neonatal and neonatal transport incubators–Premarket notifications.Disponible en: <http://www.fda.gov/cdrh/ode/incubator.pdf>.

García P, 2002, Cuidado neonatal con atención al desarrollo. Rev. Esp. Pediatría, Vol. 58, pp. 28-36.

La Web del Ingeniero. Circuitos eléctricos I. Disponible en: <http://lawebdeingenieria.jimdo.com/home/circuitos-1/>.

Martel M, 1992, Atención inmediata del recién nacido. 20va edición. Organización Mundial de la Salud. Publicación científica CLAP N°1253.

Palencia J, 2012, Sistema de facturación y pago para la recolección de café mediante la utilización de un sistema RFID. Rev. en Telecomunicaciones e Informática, Vol. 2, Núm. 3, pp. 1-6.

Ramírez R, 2001,Manual: neonatología. 1ra edición. Editorial Servicio Neonatología Hospital Clínico Universidad de Chile.

Rodríguez JM, y Figueras J, 2008, Ictericia neonatal. En:

Protocolos Diagnóstico Terapéuticos de la AEP: Neonatología. Asociación Española de Pediatría.

UBIDOTS.AboutUbidots. Disponible en <http://ubidots.com/about-ubidots.html>.

Zaragoza IE, 2001, Diseño y construcción de un prototipo de incubadora controlado por lógica difusa. Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, La Habana, Cuba, mayo 2001. Disponible en: <http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00281.pdf>.

**Recibido:** 25 de marzo de 2016

**Aceptado:** 12 de enero del 2017

**Acevedo H, Guillermo A:** Estudiante de Ingeniería Electrónica.Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Colombia. Miembro del semillero BISEMIC.

**Hernández R, Fabio A:** Estudiante de Ingeniería Electrónica.Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Colombia. Miembro del semillero BISEMIC. Correo electrónico: [fabio.hernandezr@upb.edu.co](mailto:fabio.hernandezr@upb.edu.co).

**Vargas E, Laura J:** Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Colombia. Miembro del semillero BISEMIC y GITEL. Áreas de interés: Ingeniería Biomédica, Audio, Domótica y Sísmica. Correo electrónico: [laura.vargase@upb.edu.co](mailto:laura.vargase@upb.edu.co).

**Salinas, Sergio A:**Ingeniero Electrónico de la Universidad Industrial de Santander, Colombia. Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones en el área de Robótica Médica de la Universidad del Cauca, Colombia. Actualmente es docente asistente de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y Líder del Grupo de Investigación en Bioingeniería, Señales y Microelectrónica (BISEMIC). Sus áreas de interés son: Ingeniería Biomédica, Robótica y Rehabilitación. Correo electrónico: [sergio.salinas@upb.edu.co](mailto:sergio.salinas@upb.edu.co).

