

Red Inalámbrica mediante la tecnología ZigBee para el monitoreo de signos vitales dentro de una Unidad de Cuidados Intensivos

Paola Estupiñán Cuesta
Facultad de Ingeniería
U. Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia
tigum@unimilitar.edu.co
leonardo.ramirez@unimilitar.edu.co

Andrea Huertas Paredes
Facultad de Ingeniería
U. Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia
tigum@unimilitar.edu.co

Leonardo Ramírez López
Facultad de Ingeniería
U. Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia

RESUMEN

Este trabajo está enfocado en el área de la telemedicina y presenta un diseño de red WPAN (red inalámbrica de área personal) que monitorea 3 signos vitales (presión arterial, temperatura y Electrocardiograma) en cada paciente a través de la tecnología ZigBee dentro de una UCI (unidad de Cuidados Intensivos), dirigiendo su causa hacia hospitales que fueron declarados monumento nacional en Bogotá-Colombia, cuyas instalaciones de la planta física no pueden ser modificadas, por lo cual surge la necesidad de realizar el monitoreo a través de una comunicación inalámbrica.

Abstract— This assignment is specifically focused on telemedicine. It presents a PAN (personal area network) design, which monitors three vital signs (arterial pressure, temperature, and ECG) for each patient through the ZigBee Technology in an intensive care unit, lending its cause to hospitals where the design cannot be modified and which were named as [national wealth] (QUE?) in Bogotá-Colombia. Therefore the wireless communication fulfills the necessity of monitoring these vital signs.

Palabras Claves

ECG, Presión arterial, temperatura corporal, Red inalámbrica, Monumento nacional, Tecnología ZigBee.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes de monitoreo de señales vitales en tiempo real, se han convertido en uno de los elementos de mayor importancia que permiten al médico brindar soporte al paciente cuando sea necesario dentro de cualquier UCI. Estas redes pueden tener conexión alámbrica o inalámbrica, permitiendo a través de su infraestructura transmitir datos, imágenes y video de diferentes signos vitales que reporta continuamente el paciente.

Este trabajo consiste en el diseño de una red Inalámbrica de área personal PAN para el monitoreo de las señales vitales de electrocardiograma, presión arterial y temperatura corporal dentro de una UCI. Estas señales, son adquiridas desde cada uno de los pacientes y acondicionadas a través de un proceso electrónico, posteriormente, son transmitidas a través de la tecnología inalámbrica ZigBee hacia un

computador dentro de la central de enfermería donde se reciben las señales provenientes de cada paciente visualizándolas mediante una interfaz amigable al usuario para ser revisadas en cualquier momento.

En el sector intrahospitalario, una red de monitoreo dentro de una UCI se constituye en una herramienta importante, ya que durante el proceso de valoración de un paciente, el médico requiere de ciertos instrumentos que le permitan comprobar mediante determinado número de signos vitales el patrón de evolución del paciente o su estado en general, por ello, el desarrollo de este trabajo aporta sin duda alguna la automatización de una de las actividades del proceso de valoración médica de tres señales vitales, y brinda a aquellos hospitales que han sido declarados monumento nacional, la posibilidad de implementar este diseño y mejorar la calidad de vida de los usuarios, ya que este sistema permite la observación constante de los pacientes a través de su infraestructura y de esta manera controlarlos apropiadamente impidiendo así que las posibles emergencias no puedan ser atendidas a tiempo.

II. PROBLEMA A RESOLVER

En Bogotá, existen hospitales que fueron declarados patrimonio nacional como el Instituto Materno Infantil¹ y los hospitales San Juan de Dios², San José³ y San Carlos⁴, debido a que son edificaciones antiguas representativas de la ciudad y por ende sus instalaciones no pueden ser modificadas por obras de ingeniería civil. Dichas instituciones tienen la necesidad de adquirir una red que brinde el servicio de monitoreo de señales vitales de sus pacientes en una UCI, conservando la fidelidad de las señales biológicas de los mismos.

Desde el punto de vista ingenieril, estas situaciones requieren del estudio y la investigación de qué sistemas son los más convenientes a utilizar a la hora de llevar la

¹Instituto Materno Infantil declarado Monumento Nacional y Patrimonio Culturas de la Nación por la ley 735 de 2002.

²Hospital San Juan De Dios declarado Monumento Nacional y Patrimonio Culturas de la Nación por la ley 735 de 2002.

³ El Hospital de San José es una entidad científica y docente con patrimonio propio a la que se reconoció personería jurídica como entidad sin ánimo de lucro, según resolución emanada del poder ejecutivo, el 26 de agosto de 1902

⁴ El hospital San Carlos declarado monumento nacional por medio del decreto 1973 de 1996

información de monitoreo de señales vitales desde el paciente hacia la central de enfermería, factores en los cuales intervienen el análisis de los datos, protocolos y estándares que reglamentan el transporte de los mismos, equipos precisos para la aplicación, topología y estructura de la red de datos, hardware, software y medios de transmisión.

III. TEORÍA

WPAN (Wireless Personal Area Network): son redes que surgen inicialmente de la necesidad básica de interconectar dispositivos de corto alcance de manera inalámbrica y con ello el interés de transmitir datos de la misma forma. Este tipo de redes manejan una distancia relativamente corta, que en promedio no supera los diez metros a la redonda y se rige bajo el estándar IEEE 802.15. A diferencia de redes como la WLAN, las redes WPAN, no tienen mayor infraestructura de conexiones hacia el mundo externo, además ejercen un uso eficiente de los recursos utilizados para su funcionamiento. [1]

Tecnología ZigBee: es una tecnología usada para la transmisión de pequeños paquetes de información de forma confiable, con un bajo consumo de energía, en un sistema de comunicaciones que permite establecer una red de comunicaciones con diferentes topologías donde la elección depende de la aplicación. ZigBee puede ser usada en redes de gran capacidad lo que hace que los puntos de la misma sean mayores, así mismo, las rutas alternas, lo cual aumenta la confiabilidad de la red. Esta tecnología se usa para aplicaciones de domótica, control industrial, sensores médicos y automatización de edificios entre otros. [2]

Electrocardiograma: Es una de las señales biomédicas más importantes y representa la corriente que circula a través del corazón durante un latido, muestra la magnitud y dirección de las señales eléctricas producidas por el corazón para medir el ritmo y la regularidad de los latidos cardiacos, así como cualquier daño al corazón. Las partes del electrocardiograma están designadas alfabéticamente PQRST. Dentro de los valores comunes de un ECG, la frecuencia cardíaca debería ser entre 50 a 100 latidos por minuto con un ritmo constante y uniforme. [3]

Temperatura Corporal: es una medida que refleja la intensidad del calor que manifiesta el nivel térmico del cuerpo. La temperatura depende del movimiento de las moléculas que componen el cuerpo, si éstas están en mayor o menor movimiento, será mayor o menor su temperatura respectivamente. [4]

Presión Arterial: se define como la fuerza que ejerce la sangre que circula contra las paredes de las arterias en cada ciclo cardiaco, es decir, la fuerza que se necesita para llegar desde el ventriculo izquierdo hasta la aurícula derecha pasando por todo el cuerpo para nutrirlo. La presión arterial se toma mediante dos mediciones: sistólica y diastólica y se mide en unidades de mmHg, que traduce milímetros de

mercurio. Cuando se da la medida de la presión arterial, ésta se expresa como presión sistólica / presión diastólica. [5]

IV. DESARROLLO

Tratamiento de las señales fisiológicas

Las señales que se requieren adquirir son Electrocardiograma, temperatura corporal y presión arterial. Para lograr esto, cada una de ellas tendrá un proceso diferente mediante el cual será posible obtener unas señales fiables a través de unas etapas generales mostradas en la Figura 1.



Figura 1 Proceso general del tratamiento de las tres señales

Temperatura Corporal: En este caso la temperatura del cuerpo humano como se ve en la Figura 2 se organiza en un diagrama de bloques que muestra la adquisición, el pre-procesamiento y procesamiento.

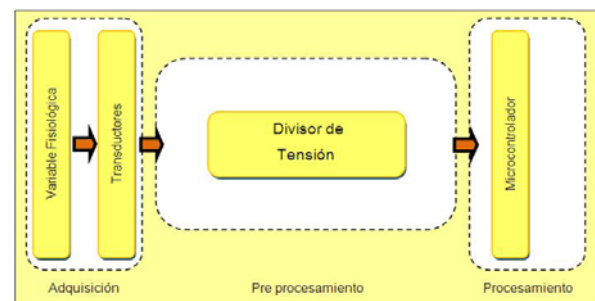


Figura 2 diagrama de bloques para el tratamiento de la señal de temperatura corporal.

El proceso de tratamiento de la señal parte de la adquisición de la señal por medio de un termistor que en su salida entrega un voltaje en función de la temperatura corporal de los humanos, para ello, el sensor seleccionado es el NTC h2010. En el pre-procesamiento el termistor es adecuado por medio de un divisor de voltaje con la resistencia del termistor y una resistencia de 10KΩ, con una tensión de alimentación de 5V.

La ecuación obtenida se escribe en términos de voltaje y temperatura:

$$V = -0.26 \ln(T) + 2,701$$

Al despejar la temperatura se obtiene:

$$T(^{\circ}\text{C}) = e^{10.388 - 2.545V}$$

La última etapa correspondiente al procesamiento, empieza justo cuando se obtiene la ecuación para determinar la temperatura, físicamente la señal es enviada directamente al PIC para ser digitalizada y luego transmitida por medio de la tecnología ZigBee.

ECG: La señal de electrocardiograma, como puede observarse en la Figura 3, se organiza en un diagrama de bloques que muestra la adquisición, el pre-procesamiento y procesamiento.

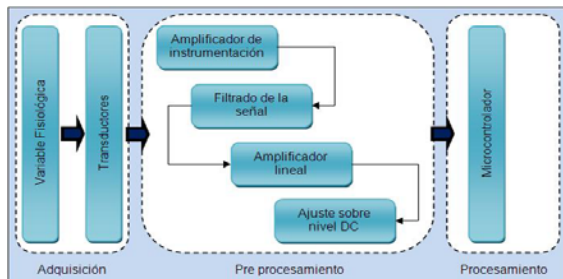


Figura 3 diagrama de bloques para el tratamiento de la señal de ECG

La etapa de adquisición de la señal de ECG desde el cuerpo humano es obtenida a través de transductores llamados electrodos, que se conectan a unos cables especiales llamados latiguillos que tienen como función trasladar la corriente capturada por los electrodos desde el cuerpo humano hasta la entrada del circuito de acondicionamiento de la señal.

Pre-procesamiento: Esta etapa está compuesta por un amplificador de instrumentación, una etapa de filtrado, amplificador de nivel y ajuste de nivel DC. El amplificador de instrumentación tiene como función atenuar ruido e interferencia, y amplificar la señal bioeléctrica. El recurso académico utilizado como soporte para el diseño de este módulo fue la hoja de características del amplificador INA114, donde se especifica la configuración de un amplificador de instrumentación para un electrocardiograma. El amplificador de instrumentación INA114 puede ser reemplazado por el amplificador AD620 y los operacionales OPA2804 por amplificadores LF353.

Como consecuencia de las señales indeseadas proporcionadas por la red eléctrica y la presencia de señales de alta frecuencia, se implementa un filtro pasa alto y pasa bajo, con un rango de frecuencias entre 0.5Hz y 150Hz cumpliendo con regulaciones internacionales en sistemas de este tipo, gracias al filtro pasa alto se elimina la componente continua y el filtro pasa bajo eliminar las señales adquiridas durante el proceso de acondicionamiento.

El amplificador lineal, tiene como función ajustar el nivel DC de la señal a un punto de tensión tal, que el conversor A/D sea capaz de reconocer la señal. El ajuste sobre nivel

DC es necesario ya que la señal posee un intervalo de tensión entre -1v y 3v, esta característica de la señal presenta un inconveniente en cuanto a los niveles manejados por el PIC que según Microchip requiere de un intervalo de tensión entre 0v y 5v. Suponiendo que la señal ingresa con el intervalo de -1v y 3v, esto causaría pérdidas en las tensiones que registren valores de tensión menores 0v.

Presión Arterial: Para la adquisición de la señal de presión arterial se hizo indispensable contar con un brazalete de presión, una bomba de caucho y un sensor de presión que posteriormente necesitó de un circuito de acondicionamiento de la señal análoga, cuando la señal es filtrada y debidamente acondicionada es entregada a un microcontrolador que la hace digital para finalmente ser transmitida y visualizada en el computador, en la Figura 4 se resume en tres etapas el proceso de digitalización de la presión arterial.

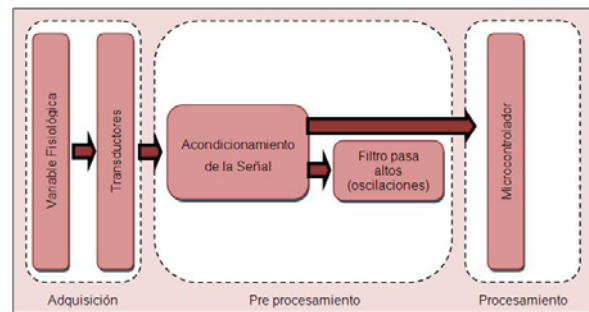


Figura 4 Diagrama de bloques Digitalización Presión Arterial

La etapa de adquisición requiere de un transductor de presión que se encarga de convertir las variaciones de presión arterial en una señal de tipo eléctrica en este caso voltaje, se usa el sensor Motorola MPX2050GP, el cual está en contacto directo con la variable fisiológica. El proceso de adquisición se hace con un tensiómetro, a través de éste, se extraen los pulsos que son entregados por el sensor seleccionado para el análisis.

Una vez se tiene el sensor de presión es necesario la adaptación de éste al brazalete para empezar el proceso de adquisición de la señal. Para la adquisición de la señal de presión se usó el método oscilométrico (método común no invasivo), que emplea el inflado y vaciado del brazalete a una razón constante por ello cuando el brazalete comienza a vaciarse, la presión en su interior disminuye. Mientras la arteria está totalmente ocluida, la amplitud de las pulsaciones es muy pequeña; así mismo cuando el brazalete empieza a desinflarse sobre las paredes de la arteria comienza a oscilar a medida que la sangre fluye a través de la arteria anteriormente obstruida, estas vibraciones son captadas por el sensor que está monitoreando la presión en el brazalete y van aumentando hasta un nivel máximo y luego disminuyen hasta que la válvula deja escapar el aire

totalmente, lo que significa que el flujo de sangre vuelve a la normalidad.

Pre-Procesamiento: Esta etapa se acondiciona la señal por medio de un amplificador de instrumentación que se encarga de convertir los dos niveles de tensión diferencial en un solo valor de tensión. Este amplificador de instrumentación es necesario debido a que el sensor entrega una señal muy pequeña de la escala de los milivoltios. El tratamiento de amplificación se hace por medio de un bloque de circuito constituido por varios amplificadores operacionales LM324. La salida de los dos amplificadores entran a un circuito restador donde los valores de las resistencias permiten determinar la ganancia total del amplificador de instrumentación, es necesario obtener una diferencia máxima de tensión de 40mv que es el máximo rango de medida del sensor con una ganancia igual a 5 voltios a la salida para que luego de esto entre al microcontrolador y se digitalice. Luego es necesario una etapa de filtrado y amplificación hacer el cálculo de una forma más fácil.

Procesamiento: Para la digitalización de la presión arterial, la señal que es entregada por el proceso de filtrado y amplificación ingresa a una etapa de procesamiento donde en primer lugar entra a un microcontrolador PIC16F877A por un puerto análogo, con el fin de determinar la presión diastólica y sistólica. En esta etapa es necesaria la programación del microcontrolador y el proceso se hace por medio de un algoritmo que permite hallar los valores de presión sistólica y diastólica.

Selección de topología

El trabajo de investigación, tiene como meta el diseño de una red que brinde el monitoreo de signos vitales dentro de una UCI mediante la tecnología ZigBee, se analizan las tres topologías o arquitecturas de red que pueden ser configuradas a saber árbol, estrella y malla para luego de analizarlas determinar cuál a consideración es la más apropiada para una UCI.



Figura 5 Plano de una Unidad de Cuidados Intensivos.

Se determina que la topología estrella es la más adecuada para usar, se ajusta a las necesidades ya que cada dispositivo final solo tendrá comunicación con el coordinador de la red y no con los otros dispositivos finales. Es decir que de acuerdo la estructura física de una UCI Figura 5, en cada cuarto de los pacientes de la unidad estará ubicado un modulo ZigBee XBP24 serie 1, que registrará los valores de las señales vitales mencionadas, cuando las señales son recibidas por este módulo que hará el papel de dispositivo final serán transmitidas a un modulo que estará ubicado en la central de enfermería que hará el papel de coordinador central de la red recibirá la información transmitida y la podrá diferenciar las señales provenientes de cada paciente, por un esquema de direccionamiento previamente definido.

Disciplina de red

Dentro del diseño de la red WPAN es necesario establecer una disciplina de red donde cada dispositivo final que está ubicado cerca del paciente en la UCI adquiera la información de las tres señales vitales y se encargue de transmitir las hacia dispositivo coordinador que está conectado a un computador por un puerto serial, este se encarga de recibir la información proveniente de cada uno de los dispositivos finales, por medio de un esquema de direccionamiento.

La red está conformada por los módulos ZigBee XBP24 y la configuración de estos se realiza mediante comandos AT, en modo transparente, el módulo coordinador envía al módulo remoto los mensajes que recibe por su puerto serial, así mismo el coordinador recibe los mensajes desde el dispositivo final. Para establecer un esquema de direccionamiento es importante tener en cuenta que los módulos XBee-Pro XBP24 soportan un esquema de direccionamiento de 64 bits, pero para generar simplicidad en el direccionamiento se usa un método abreviado de 16 bits lo que se consigue configurando el DH (Destination Address High) con valor 0, por lo general esta parte de la dirección viene ya configurada así por defecto. Para poder establecer una comunicación en la red es necesario configurar un DL (Destination Address Low) y un MY (Source Address).

Interfaz a usuario

La interfaz de software recopila la información que se trasmite a través de la red, lo que significa que el médico o la enfermera podrán revisar el registro de las tres señales vitales de cada paciente que se encuentra en la UCI simplemente seleccionando el paciente al cual quieren valorar, por medio de una pestaña en la interfaz. El lenguaje de programación que se eligió para el desarrollo de la interfaz es C++ Builder 6. En la pantalla vista por el usuario podrá ver la señal de electrocardiograma, el valor numérico de la presión sistólica y la presión diastólica, un termómetro que indique el valor de la temperatura corporal del paciente junto con su respectivo valor numérico. Además de 5

pestañas, en las cuales se podrá seleccionar el paciente cuyas medidas se desee observar.

Diseño final

El diseño general agrupa dos diseños la adquisición y digitalización de las tres señales vitales y el diseño de red donde sus características son:

- Adquisición, acondicionamiento y digitalización de las señales vitales de ECG, temperatura corporal y la presión arterial.
- La topología de la red de monitoreo será en estrella de forma física, ya que lógicamente se establece un enlace punto a punto entre cada dispositivo final y el coordinador mientras se realiza la transmisión de datos, pero de la misma manera el coordinador actualiza su dirección de forma automática cuando se hace el cambio de dispositivo final a través de la interfaz.
- El diseño de la red tiene configurado 5 dispositivos finales y un coordinador de red, teniendo la posibilidad de conectar 10 o más dispositivos finales.
- Cuenta con una interfaz gráfica amigable al usuario con el fin de ver toda la información de las señales vitales de los pacientes.

A continuación en la Figura 6, se muestra el diseño final visto sobre el plano de la UCI, desde cada habitación y el diseño final de red se ve en la Figura 7.

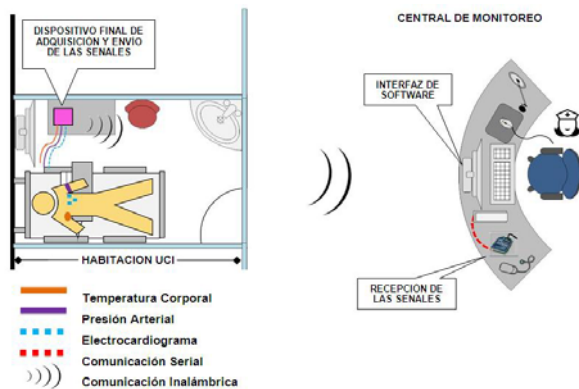


Figura 6. Diseño final habitación UCI

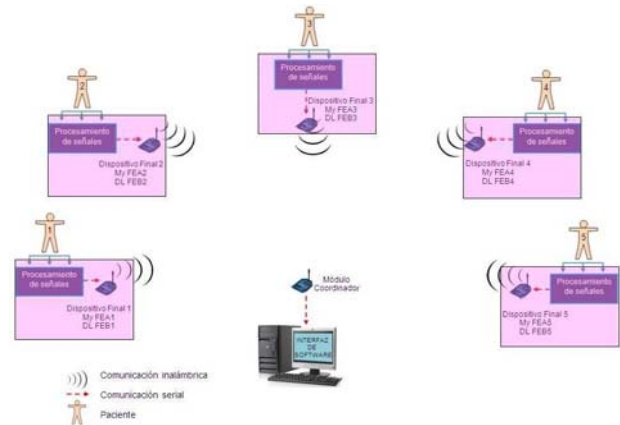


Figura 7. Diseño final de red

V. RESULTADOS

Temperatura: Para lograr una correcta lectura de la temperatura, se ubica el sensor sobre el cuerpo humano, situado en la parte de la axila y se hace la medición.

Electrocardiograma: Como primera medida, para lograr una correcta lectura de la señal de ECG, es necesario ubicar de manera correspondiente los electrodos sobre el cuerpo del cual se desea tomarla. Luego de captar correctamente a través de los electrodos la variable fisiológica, los latiguillos conectados a éstos, conducen la corriente eléctrica por medio de sí mismos hasta la entrada del acondicionamiento de la señal que consta de un amplificador de instrumentación, filtros, amplificadores y un elevador de nivel donde el resultado final se ve en Figura 8.

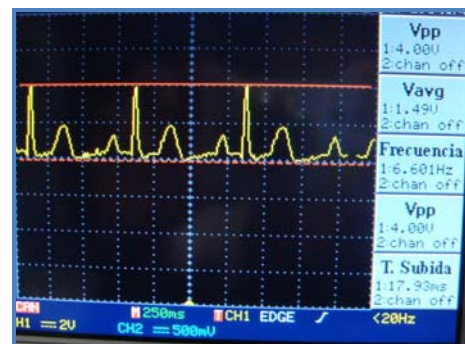


Figura 8. Señal de ECG a la salida del elevador de nivel.

Presión Arterial: Para adquirir el valor de la presión arterial es necesario contar con un tensiómetro análogo, así para empezar la medida se debe ubicar el brazalete alrededor del brazo entre el hombro y el codo, la ubicación del brazalete debe quedar a la altura del corazón, más o menos a unos dos centímetros por encima del pliegue del codo, la ubicación del tensiómetro se ve en la Figura 9.



Figura 9. Ubicación sobre la superficie corporal del brazalete de medición de la presión arterial

Al empezar con la digitalización de la señal de la presión, se capturó por medio del osciloscopio la respuesta después del acondicionamiento de la señal, para tener una idea de los resultados a esperar que ingresen al microcontrolador para ser procesados.

Como se ve en la Figura 10, la medición se realiza bajo la lectura de una curva calibrada de desinflado (señal color verde) que desciende cuando se deja salir el aire del brazalete y se ve modulada (señal color amarillo) por los latidos cardiacos que justo aparecen cuando las presiones arteriales compensan la presión ejercida por el brazalete, es a partir de esta envolvente de los latidos que se determinan los instantes que corresponden a la presión sistólica, diastólica y media (PAM).

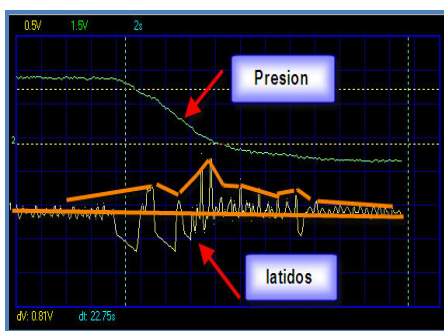


Figura 10. Relación entre presión arterial y los latidos del corazón

A partir de la Figura 10, se muestra el resultado del pre-procesamiento de la presión arterial, se ve el inicio de las oscilaciones que aproximadamente coinciden con la presión arterial sistólica cuando en la grafica se presenta el punto de oscilación máxima, este corresponde a la presión arterial media (PAM) y el punto en que la variación de las oscilaciones disminuye corresponde a la presión diastólica.

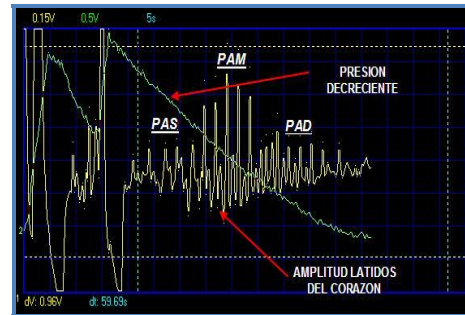


Figura 11. Comportamiento de las oscilaciones

Elección de frecuencia central

Para escoger el canal de trabajo en la red a partir de la norma IEEE 802.15.4 se busca encontrar la frecuencia central, ya que el valor de la frecuencia depende del canal en el que se tenga configurado el equipo, ZigBee tiene 16 canales por lo cual se debe considerar esto para determinar las pérdidas de propagación ya que la perdida de propagación está relacionada con el canal elegido, la forma de conocer la frecuencia central dependiendo el canal se relaciona con la ecuación (1)

$$(1) F_c = 2405 + 5(K - 11) \text{MHz} \quad [6]$$

Donde toma valores de K=11,12,...26.

Al conocer los valores de las frecuencias centrales de cada canal sobre los cuales trabaja ZigBee y realizando diversas pruebas de conectividad con una distancia de separación entre los módulos XBee-Pro de 1m, 2m, 10m y 56m, se determinan las pérdidas de propagación para así definir el canal por el cual la red hará la comunicación decidiendo trabajar con el canal 12 que tiene una frecuencia de corte de 2410MHz.

Interfaz gráfica

La interfaz de usuario fue desarrollada en Builder, y el resultado final se ve en la Figura 12.



Figura 12. Interfaz gráfica para el monitoreo.

Está constituida por 5 pestañas con el nombre de "paciente" desde el número 1 al 5, ya que 5 son los pacientes a

monitorear. Para cada paciente que se seleccione, aparece una interfaz como la mostrada en la figura anterior.

Visualización de las tres señales en la interfaz gráfica

En la Figura 12, muestra el momento en que en la interfaz gráfica se están registrando las tres señales cuyo requerimiento es monitorear.

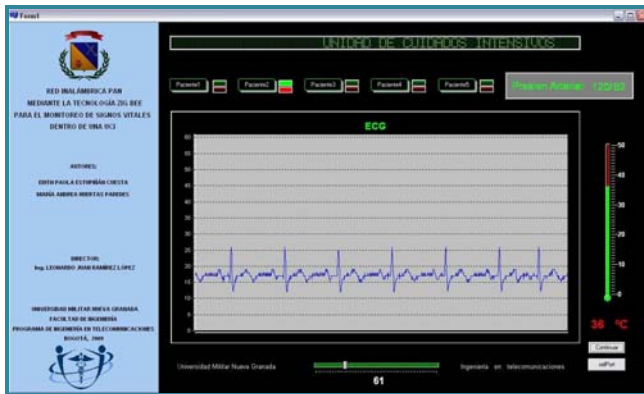


Figura 13. Visualización de las tres señales en la interfaz gráfica

VI. CONCLUSIONES

- Inicialmente se pensó que para cada uno de los módulos configurados como dispositivos finales, era necesario que fuesen acompañados de un computador para efectos del envío de la información, pero luego con la implementación del microcontrolador PIC 16F877A, se determinó que el envío de la información se podía hacer a través de éste, para lo cual, el uso del computador se reducía a la parte de la configuración del módulo.
- La selección de C++ Builder 6 como software de programación se basó en que C, es un lenguaje estándar que permite versatilidad en cuanto al manejo de la interfaz gráfica y los puertos de comunicación, que para efectos de este diseño es el serial.
- En la toma de la medida de las variables fisiológicas en el caso del ECG y de la presión arterial, es de vital importancia que los dispositivos mediante los cuales se adquieren del cuerpo las señales, sean ubicados de forma indicada para lograr resultados óptimos y coherentes con el estado del paciente
- La compatibilidad entre los módulos es un parámetro fundamental en el momento de efectuar la transmisión. Esto representa la solución a muchos de los problemas que se generan cuando se utilizan los módulos XBee para transmitir, ya que cuando los módulos no son compatibles en términos de su serie, no lo son en el conjunto de chips que lo conforman ni en las aplicaciones a la que están destinados debido a su divergente complejidad, y por ende la comunicación no se establecerá.

- Este trabajo se desarrolló con el fin de brindarle a los hospitales que han sido declarados patrimonio nacional en Colombia tener la posibilidad de contar con una red inalámbrica para el monitoreo de señales vitales de electrocardiografía, temperatura corporal y presión arterial por medio de la tecnología ZigBee haciendo de esta forma un aporte a la telemedicina en el país.

- La adquisición de la presión arterial, trajo consigo el análisis de diferentes parámetros como la forma de hacer la medición más específicamente al desinflar el brazalete, ya que esta situación requiere que sea de una forma constante para evitar variaciones muy grandes a la hora de adquirir la medida de la presión Sistólica y diastólica, si se mantiene una razón constante de desinflado por medio de la válvula la obtención de la medida es más exacta.

- El trabajo fue desarrollado por medio de la tecnología ZigBee que está marcando la nueva generación de tecnologías inalámbricas y de redes de área personal, de esta forma facilitando las comunicaciones desde cualquier punto y en cualquier lugar, lo que para la telemedicina se traduce en el desarrollo que permite extender las aplicaciones a desarrollar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] WPAN RED Inalámbrica de Área Personal. 2.1. Definición de las redes inalámbricas de área personal (WPAN). Página 2. Disponible en:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo2.pdf
- [2] REVISTA SOFTWARE Guru. Conocimiento en práctica, edición N° 005 septiembre-octubre 2007, México paginas 27,28. Disponible en:
<http://www.scribd.com/doc/9506327/SG200705>
- [3] EXAMEN DEL CORAZÓN. Electrocardiografía Normal y Definición. Disponible:
<http://www.medicosdecabecera.cl/examen/al%20corazon.php>
- [4] FERREIRA, Laura María. Termorregulación Capitulo 7. Variables que intervienen en la medición de la temperatura corporal. Disponible en:
<http://latinut.net/documentos/deporte/manual/Cap%C3%ADulo%2007%20Termoregulaci%C3%B3n.doc>
- [5] INSTITUTO NACIONAL de Cáncer. Diccionario de cáncer. Presión Arterial. Disponible en:
http://www.nci.nih.gov/Templates/db_alpha.aspx?CdrID=462668&lang=spanish
- [6] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems local and

metropolitan area networks. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). Pág. 29