

# **Diseño e Implementación de una red Bluetooth de comunicación entre 5 sensores de signos vitales y un teléfono celular**

**Rivera Marroquín, Juana Marlenne**

Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala de la Asunción, Guatemala, Guatemala, jmrm1089@gmail.com, riv07856@uvg.edu.gt

**Cruz del Valle, Clara Lucía**

Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala de la Asunción, Guatemala, Guatemala, cru07205@uvg.edu.gt

**Juárez Payes, Luis Alejandro**

Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala de la Asunción, Guatemala, Guatemala, jua07107@uvg.edu.gt

**Mejía Orozco, Edwing Isaac**

Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala de la Asunción, Guatemala, Guatemala, mej07076@uvg.edu.gt

## **Consejeros de la Facultad;**

Ing. Reina García-Salas, Luis Fernando

Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala de la Asunción, Guatemala, Guatemala, lfreina@uvg.edu.gt

MSc. Esquit, Carlos Alberto

Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala de la Asunción, Guatemala, Guatemala, caesquit@uvg.edu.gt

## **ABSTRACT**

The study to monitor vital signs is a relatively new branch of research in countries around the world. Various advanced countries have been working on projects of this kind for decades. In Guatemala, however, this is still an unexplored research topic that has an enormous potential to succeed due to the country's mountainous terrain and difficult access to remote communities. Project Konócete was created with the objective of developing a wireless vital sign sensors network capable of sending text messages to cellphones far away from the patient's location. The purpose of this paper is to explain the design of the Bluetooth network implemented as part of the project Konócete. This network implemented Robotech's RBT-001 Bluetooth Modules in each vital sign sensor and in the Information Center to build the infrastructure which allowed each sensor to wirelessly send its measurements to the information center, which in its turn packaged it and sent it to the cellphone for further analysis. The most important results show the circuit designed for the Information Center, the messages displayed with the received measurements and how the network was successfully implemented.

**Keywords:** Sensor network, Bluetooth, telemetry

## **RESUMEN**

El monitoreo es una rama relativamente nueva de investigación en muchos países alrededor del mundo. Varios países avanzados han trabajado en proyectos de este tipo por décadas. Sin embargo, en Guatemala, esta aún es una rama que no ha sido estudiada a profundidad y que tiene un enorme potencial debido al terreno montañoso y con dificultad de acceso a comunidades remotas. El Proyecto Konócete fue creado con el objetivo de desarrollar una red sensorial de signos vitales capaz de enviar mensajes de texto a teléfonos celulares que se encuentren lejos del paciente. El propósito de este paper es explicar el diseño de la red Bluetooth implementada como parte del proyecto Konócete. Esta red implementó el módulo Bluetooth RBT-001 de la compañía Robotech en cada sensor de signos vitales y en la Central de Información para construir la infraestructura que le permitió a cada sensor

enviar de forma inalámbrica sus mediciones a dicha central, la cual a su vez empaquetó esta información para enviársela al teléfono celular para finalizar el análisis. Los resultados más importantes muestran el circuito diseñado para la Central de Información, los mensajes mostrados con las mediciones recibidas y cómo funcionó exitosamente la red.

**Palabras Clave:** Red sensorial, Bluetooth, telemetría

## 1. INTRODUCCIÓN

Este paper explica el diseño e implementación de la red Bluetooth y central de información parte del proyecto Konócete: Red sensorial de signos vitales. Este proyecto trata acerca del desarrollo de un dispositivo de análisis y observación de los signos vitales en personas con discapacidades o mayores a 18 años que necesiten un monitoreo frecuente. Dicho dispositivo es adaptable al usuario para que lo utilicen hombres y mujeres, incluyendo adultos mayores. El mismo cuenta con una unidad de control inteligente para recibir, gestionar y procesar información vital del individuo al que asiste, y de acuerdo con los resultados obtenidos envía mensajes de texto al cuidador o médico del paciente.

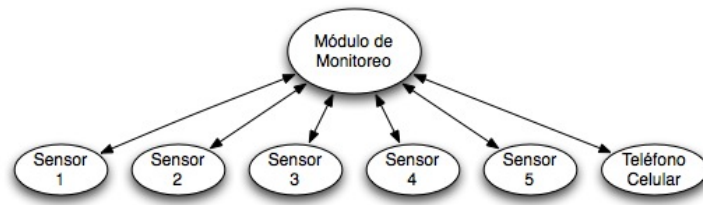
La central de información es la encargada de reunir los datos provenientes de una red de sensores de signos vitales que el usuario debe utilizar. Además, el sistema cuenta con una interfaz de comunicación por medio Bluetooth para establecer contacto entre la unidad de control y el teléfono celular del paciente. A su vez, el teléfono celular envía mensajes de texto con la información de los signos vitales medidos. De esta manera, el dispositivo permite al cuidador estar informado del estado de salud general del paciente frecuentemente de una manera más práctica. Adicionalmente, si durante una medición algún parámetro excede sus niveles normales, el sistema inteligente envía mensajes de alerta mostrando cuál medición muestra el problema.

Las partes cruciales del proyecto se encuentran en la comunicación con cada sensor para garantizar la integridad de las mediciones y en el óptimo funcionamiento de la central de información. Durante el proceso de implementación se cuidaron estos dos detalles para presentar un producto final funcionando adecuadamente. Con respecto a la comunicación, se utilizó el Bluetooth, tecnología inalámbrica que fue diseñada para la implementación de redes con pocos dispositivos, características óptimas para la red sensorial propuesta. Adicionalmente, se integró una pantalla para mostrar mensajes explicativos al usuario a manera de mantenerlo al tanto con las acciones que se encuentre ejecutando la central de información. Integrando estas partes al sistema se logró la implementación exitosa de la obtención de información de los sensores y la retransmisión de esta información al teléfono celular.

## 2. DISEÑO

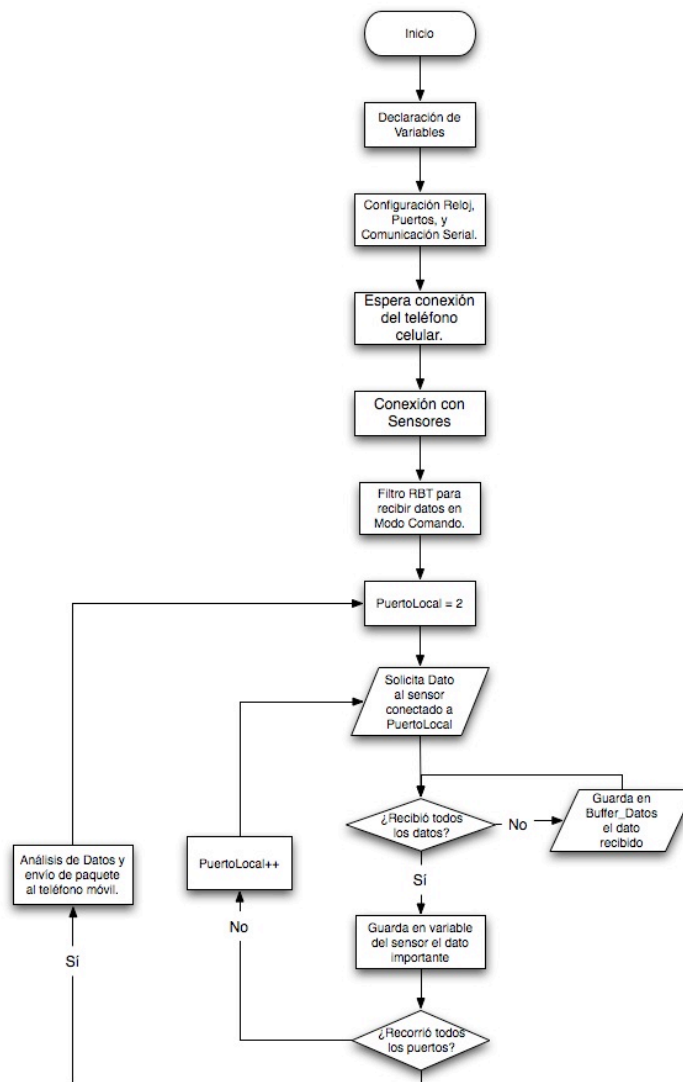
El objetivo final de la central de información era implementar una red Bluetooth que comunicara a los 5 sensores de signos vitales para obtener las mediciones y ordenarlas en un paquete para enviarlas al teléfono celular. El primer paso para el diseño de la red fue escoger la tecnología de comunicación, donde se escogió la tecnología Bluetooth por haber sido esta creada para la implementación de redes inalámbricas de pocos dispositivos. De igual manera la red se implementó utilizando los módulos Bluetooth RBT-001 de la compañía Robotech, y microcontroladores PIC16F887 de Microchip. En la referencia (Rivera Marroquín, 2012) se puede encontrar una especificación detallada del funcionamiento de los dispositivos Bluetooth, ampliamente mencionados en este trabajo.

Para lograr la implementación exitosa de la red sensorial fue necesario definir dos aspectos primordiales: la topología de la red y el algoritmo para el programa del microcontrolador maestro. La topología de la red se definió con base en el funcionamiento de los módulos RBT-001 en modo comando utilizando como base los resultados descritos en el capítulo “Comunicación entre el Teléfono Celular y dos Módulos Bluetooth” en (Rivera Marroquín, 2012). De acuerdo con estos criterios, se necesitaba una topología que permitiera al maestro de la red obtener los datos de cada uno de los sensores y enviarlos al teléfono celular. La topología escogida fue la mostrada en la figura 1, la cual muestra una topología de árbol que permite realizar un barrido de revisión de los sensores, para luego empaquetar la información y enviarla al teléfono.



**Figura 1: Topología de la red de comunicación.**

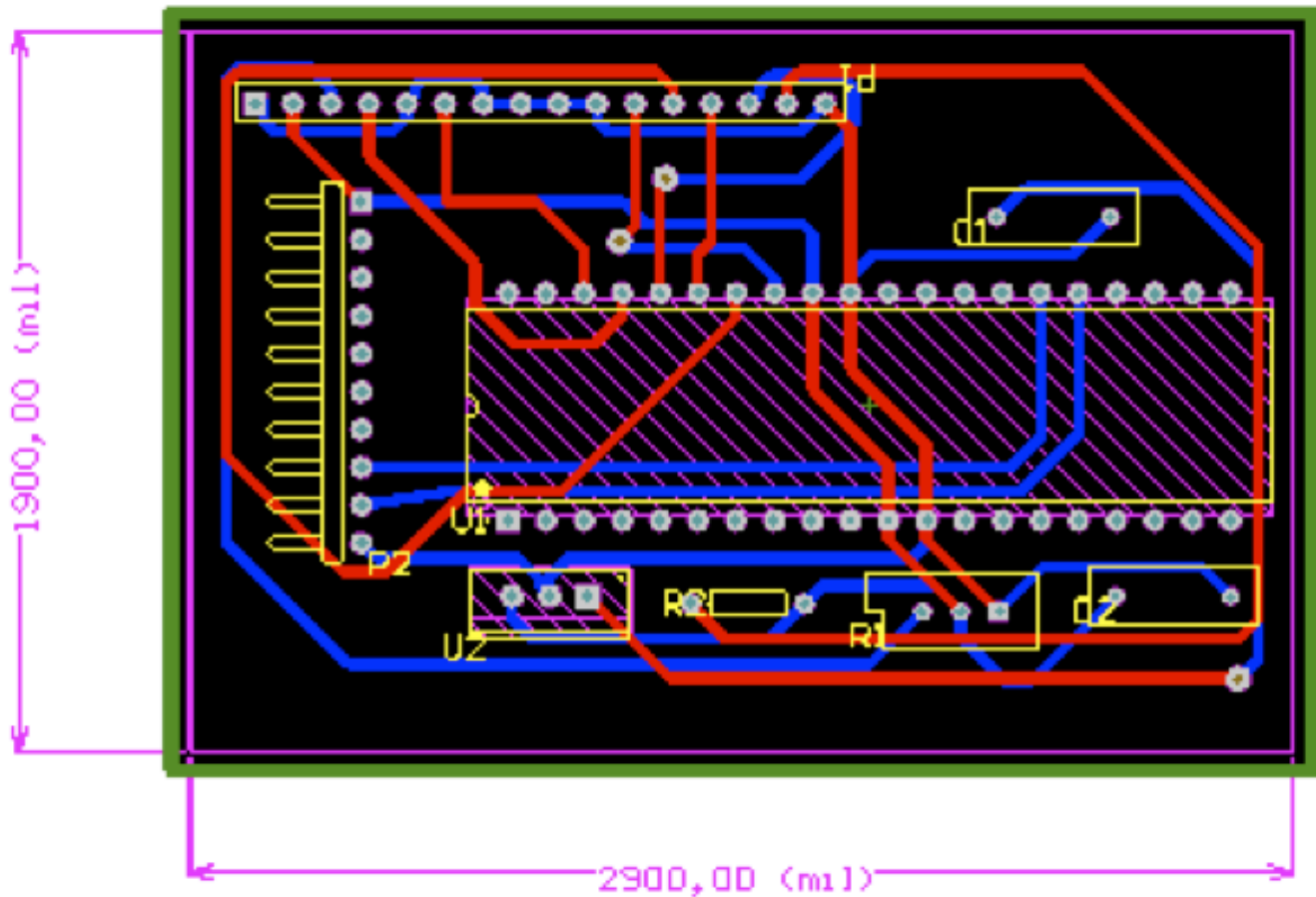
De acuerdo con la topología, también se diseñó el algoritmo del microcontrolador de monitoreo que revisará cada sensor para obtener la información. El diagrama del algoritmo a implementar se muestra en la figura 2. Una de las partes cruciales del algoritmo se encuentra en la conexión con el teléfono celular. Debido al tipo de implementación de la red en el proyecto Konóctete, se decidió que la mejor opción era esperar una conexión entrante del teléfono antes de iniciar la conexión con los sensores y la obtención de datos. Adicionalmente, es importante mencionar que después de cada conexión el programa revisa que la conexión sea exitosa, y de no serlo detiene el flujo del programa. Este programa fue escrito en lenguaje C de alto nivel utilizando la versión Lite del compilador Hi-Tech C de Microchip.



**Figura 2: Algoritmo del programa del microcontrolador maestro.**

### 3. RESULTADOS

Siguiendo el diagrama de flujo mostrado en la figura 2 se programó el microcontrolador mencionado en el diseño. Adicionalmente, se agregó un regulador de voltaje LM7805 para regular una batería de 9V a los 5V con los que funciona el microcontrolador y también se agregó una pantalla LCD de 2x16 caracteres donde se despliegan mensajes para informar al usuario de las acciones que está ejecutando el programa. El circuito implementado se muestra en la figura 3.



**Figura 3: Circuito de la Central de Información.**

Una vez armado este circuito, se inició con la etapa de pruebas de conexión con los módulos Bluetooth en cada uno de los sensores y con el teléfono celular. La primera etapa de pruebas incluyó únicamente pruebas de conexión, envío y transmisión de datos de dos sensores de la red. Durante estas pruebas fue necesario realizar una tabla que mostrara todos los posibles errores y mensajes que se despliegan en la pantalla para facilitarle al usuario la comprensión de dicho mensajes, principalmente cuando hayan errores en la comunicación. En la tabla 1 se muestra el mensaje que será desplegado en la pantalla y, en caso de error, el tipo de error que representa. Es importante mencionar que cuando cualquiera de estos errores ocurra, la única manera de volver a establecer la conexión es apagando el módulo de monitoreo y volviéndolo a encender. Sin embargo, cabe destacar que durante todas las pruebas realizadas nunca ocurrió ninguno de estos errores.

**Tabla 1: Mensajes y códigos de error que pueden ocurrir.**

Mensaje	Condición	
	No. Error	Significado
Configurando Bluetooth...	--	Inicia la configuración del módulo Bluetooth RBT-001
Configuración Correcta	0x00	No ocurrió ningún error
Error No. __	0x01	Error en los parámetros de configuración.
	0x1B	Se excedieron los límites en los parámetros enviados.
Conectando Sensor __	--	Inicia la conexión con el sensor indicado.
Conexión Correcta	0x00 y 0x00	No ocurrió ningún error
Error No. __	0x22	Puerto serial está ocupado.
	0x21	Puerto serial no está habilitado
	0x20	Puerto serial inválido
	0x26	Se solicitó iniciar una conexión que ya se estaba realizando.
y __	0x01	No existe conexión DLC.
	0x02	No existe el puerto RF.
	0x03	No se pudo establecer el DLC.
	0x04	No se autorizó acceso al puerto.
	0x05	No existe una comunicación DLC/L2CAP

Otra observación realizada durante las pruebas se dio cuando se incorporó el teléfono celular a la red. En las primeras pruebas realizadas, se lograba establecer comunicación con el teléfono, pero luego era imposible establecer comunicación con los sensores. Para solucionar este inconveniente se monitoreó el puerto de recepción serial del microcontrolador y se encontró que cuando el celular se conectaba con el módulo RBT-001, este entraba en Modo Transparente, lo cual causaba que la única comunicación activa se diera entre el teléfono y el módulo, pero este no podía realizar conexiones con los demás sensores. Para eliminar este error fue necesario nuevamente la hoja de datos del funcionamiento del RBT-001 (Robotech srl, 2010). En esta referencia se encontró que al momento de realizar el teléfono la conexión, el módulo RBT-001 está configurado por defecto para funcionar en modo automático, lo cual causa que al conectarse otro dispositivo a él, por ejemplo el celular, éste cambia automáticamente a funcionar en Modo Transparente y le es imposible realizar conexiones a otros dispositivos. Por ende, se investigó más a fondo la hoja de datos para cambiar esta configuración y permitir que el RBT-001 maestro pudiera recibir la conexión del teléfono y conectarse a los sensores. Se encontró que para lograr el funcionamiento deseado era necesario cambiar el RBT-001 maestro del funcionamiento Automático al No-Automático utilizando la función WRITE\_OPERATION\_MODE del dispositivo Bluetooth. Una vez realizado este cambio el módulo de monitoreo fue capaz de esperar la conexión del teléfono y, una vez conectados, realizar las conexiones hacia los demás sensores de la red (Rivera Marroquín, 2012).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El proyecto Konómete tiene como objetivos diseñar e implementar una red sensorial para la medición de signos vitales con una plataforma para la comunicación por medio de un teléfono celular para el envío de mensajes de texto con reportes acerca del estado de salud del paciente. Este trabajo se enfocó en la implementación de la red de comunicación inalámbrica que comunica los sensores de signos vitales con la central de información y esta a su vez se conecta con el teléfono celular. Para lograr una implementación adecuada de dicha red se escogió la tecnología Bluetooth como interfaz de comunicación, se realizaron varios experimentos para determinar la mejor implementación de la red y por último se incluyó una pantalla LCD para mostrar al usuario mensajes acerca del funcionamiento de la red y los datos obtenidos de los sensores. De esta manera se logró implementar la red propuesta y alcanzar los objetivos individuales establecidos.

Previo al diseño de la red, fue necesario estudiar y elegir el medio por el cual se comunicarían los dispositivos. El medio, por preferencia y simplicidad física para la conexión de dispositivos fue el medio inalámbrico. Una vez elegida esta opción, se estudiaron distintas tecnologías de comunicación inalámbrica superficialmente, y se escogió la tecnología Bluetooth desde el inicio por haber sido diseñada para la

comunicación en redes con pocos dispositivos. Seguidamente se buscaron dispositivos que permitieran la comunicación con esta tecnología y los cuales tuvieran una interfaz sencilla. Esta búsqueda resultó en el dispositivo RBT-001 descrito anteriormente. Una vez encontrado, no se consideró necesario realizar alguna comparación con otros dispositivos o continuar la búsqueda pues este cumplía los requerimientos de la aplicación.

Una vez establecido el medio se realizó la compra de los dispositivos RBT-001 y se inició con la etapa de pruebas y experimentación. A continuación se explica cómo se llegó a la implementación final, pasando por los experimentos previos que permitieron dicho diseño. El primer experimento fue una exploración del funcionamiento de los módulos Bluetooth y sus resultados justifican la facilidad de comunicación entre el microcontrolador y el RBT-001 mencionada con anterioridad. Los siguientes experimentos documentan el proceso de diseño de la red implementada y demuestran cómo se llegó al resultado final. Una parte primordial en el diseño de la red fue la parte del monitoreo del puerto serial de recepción del microcontrolador. Esta etapa se considera de suma importante pues permitió comprender las respuestas del RBT-001 a los comandos de conexión descritos en (Robotech srl, 2010). De estas pruebas se desarrolló el algoritmo de implementación final pues se conoce cómo va a responder el RBT-001 a cada configuración solicitada. Las últimas pruebas y experimentos fueron dedicados a unificar los sensores a la red y comprobar que la central de información funcionara correctamente utilizando la interfaz de la LCD. También en esta última etapa se realizaron las pruebas con la aplicación Android del teléfono celular. De todas las 20 pruebas realizadas, no se encontró pérdida de datos, sólo se observó un retardo en la conexión cuando habían demasiados dispositivos Bluetooth en el salón de pruebas y se concluye que este retardo en la conexión se debe a que para encontrar el dispositivo solicitado, el maestro debe revisar cada dirección Bluetooth encontrada.

Además, las pruebas realizadas corroboraron que la topología propuesta fue adecuada para la aplicación. La primera razón por la cual fue un éxito la topología propuesta fue porque simplificó el proceso de unificación de la red. En la unificación, los sensores tuvieron que incluir dos instrucciones para configurar su módulo RBT-001 para recibir toda la información directamente en RS-232. Esto facilitó inmensamente el trabajo debido a que cada sensor utiliza un lenguaje y flujo de programa diferente, por lo cual utilizar el modo comando hubiera complicado la integración e incluso podría afectar el algoritmo de obtención de la medición. En cambio, utilizando la comunicación RS-232, los microcontroladores no pierden mucho tiempo enviando el dato y pueden dedicarse a realizar las mediciones. Además, para evitar que los sensores tuvieran complicaciones para saber quién se comunica con ellos, cada sensor tiene una única conexión con la central de información y la central es la que controla con quiénes está conectado y quién debe enviarle información. Fue así como la integración se simplificó y según las pruebas los datos se recibieron dentro del período de tiempo propuesto y sin errores.

Además de la integración de los sensores, fue muy importante corroborar el funcionamiento del algoritmo de la central de información. Esto se logró por medio de las pruebas y utilizando los mensajes desplegados en la pantalla LCD. Después de las pruebas y de corroborar que los mensajes mostraran los sucesos reales pasando en la comunicación, se concluyó que la implementación del algoritmo fue el adecuado y cumple con los objetivos propuestos. Esta es tal vez la parte que más se podría optimizar pues a pesar de que la implementación actual funciona adecuadamente para la aplicación propuesta, si en algún punto se desea expandir el proyecto, es importante mejorar ciertos aspectos. Uno de los aspectos más importantes a considerar en una futura expansión es el dispositivo Bluetooth RBT-001 debido a la cantidad máxima de dispositivos que se pueden conectar en la red. En la configuración de red actual el máximo número de sensores que se pueden conectar es 7 lo cual deja únicamente 2 sensores que se pudieran agregar en una expansión. Si fuera necesario agregar más, es imperativo cambiar la topología de la red para lograr la expansión. Adicionalmente, deben revisarse las capacidades del microcontrolador implementado para determinar si su capacidad de procesamiento es suficiente para la teórica expansión.

Fue a través de estos experimentos y pruebas que se logró implementar exitosamente el módulo Central de Información. Los resultados de los experimentos muestran el avance progresivo del módulo hasta su implementación final. La pantalla LCD proporciona una interfaz gráfica apropiada para mostrar los mensajes en el avance del programa. Unificando todos estos detalles se entregó el módulo central de información funcional, con comunicación cumpliendo los objetivos y con un éxito excepcional en la transmisión y recepción de datos.

## **REFERENCIAS**

Rivera Marroquín, J. M. (2012). *Diseño e Implementación de una red Bluetooth de comunicación entre 5 sensores de signos vitales y un teléfono celular*. Tesis, Universidad del Valle de Guatemala, Departamento de Ingeniería Electrónica, Guatemala.

Robotech srl. (2010). Bluetooth Serial Module User Manual. Sarzana, Italia.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.*