



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**“Estudio para la Adaptación de una Red Inalámbrica Zigbee,
a un Sistema de Monitoreo de Electrocardiografía”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Electrónica**

Autores: Eduardo Marcelo Barbecho Bautista

Galo Fernando Guzmán Guillen

Director: Ing. Leonel Pérez

Cuenca – Ecuador

2010

“Estudio para la Adaptación de una Red Inalámbrica Zigbee, a un Sistema de Monitoreo de Electrocardiografía”

Resumen

Este documento presenta una solución para el área de telemedicina, en cuanto a que propone un diseño económico para la implementación de una central de monitoreo remota de ECG, para áreas de clínicas u hospitales que no cuenten con este servicio.

Propone una red WPAN (red inalámbrica personal) con el estándar ZigBee, haciendo uso de los dispositivos MRF24J40 y dsPIC30F3014, siendo un transceiver y su microcontrolador respectivamente, de la casa Microchip; Los datos transmitidos en la red, son adquiridos de un electrocardiógrafo que cuente con un paso de señal analógica para su digitalización.

Se propone también una solución para la gestión de la información por medio de un sistema SCADA desarrollado bajo la plataforma LabView de National Instruments.

.....

Eduardo Marcelo Barbecho Bautista

.....

Galo Fernando Guzmán Guillén

.....

Ing. Leonel Pérez

“Estudio para la Adaptación de una Red Inalámbrica Zigbee, a un Sistema de Monitoreo de Electrocardiografía”

Abstract

This document presents a solution for telemedicine area, in that it proposes a cost-effective design for implementing a remote central ECG monitoring for areas of clinics or hospitals that do not have this service.

It proposes a WPAN network (wireless personal) with the ZigBee standard, using the transceiver MRF24J40 and the microcontroller dsPIC30F3014, of Microchip; the data transmitted over the network, are acquired from an electrocardiograph that has an analog signal path for digitization.

It also proposes a solution for information management through a SCADA system developed under the National Instruments LabView platform.

.....

Eduardo Marcelo Barbecho Bautista

.....

Galo Fernando Guzmán Guillén

.....

Ing. Leonel Pérez

CONTENIDO GENERAL

Resumen ejecutivo

Como parte de la culminación de la carrera se ha planteado el diseño de un sistema, de bajo costo, fácil implementación y de suma importancia, para el monitoreo remoto de pacientes que están conectados a un equipo de ECG. El propósito del proyecto es facilitar los procedimientos médicos y la movilidad de pacientes internados, sin descartar el uso de los equipos que ya se encuentran en funcionamiento.

En el sector intra hospitalario, una red de monitoreo 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 señales vitales, y brinda a hospitales 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. Las rondas o vueltas constantes de los médicos por las diversas salas o cuartos, toma un tiempo considerable que en ciertas situaciones es fatal. Tener toda la información en tiempo real y en una sola pantalla es un ahorro de personal y sobre todo prioriza la seguridad de los pacientes, lo que conlleva más confianza para el hospital.

Cuenca cuenta con varias clínicas y hospitales, alrededor de 15 hospitales y 14 clínicas, de los cuales la mayoría pueden hacer exámenes del corazón ya que no son exámenes muy costosos ni complejos y pueden ayudar mucho para el diagnóstico. Por lo que el campo de aplicación del proyecto es amplio y el mercado es relativamente nuevo para el producto.

El trabajo está enfocado en el área de la telemedicina y presenta un diseño de red WPAN (red inalámbrica de área personal). Como campo de aplicación el proyecto está abierto a cualquier área dentro de un hospital, sin embargo tras realizar un levantamiento de información del mercado se ha concluido que el presente es

imprescindible sobre todo en salas de cuidados intensivos (UCI), en donde el seguimiento continuo y remoto permitirá conocer las situaciones delicadas que se manejan en esta área.

El trabajo se basa en implementar un sistema de comunicaciones sobre equipos ECG ya existentes, por lo que las inversiones no son tan fuertes y además es un valor agregado sumamente importante para los equipos ya instalados. El presente está pensado para realizar la tarea de transmisión de los datos desde que el electrocardiógrafo entrega la información, el transporte de la misma y culmina hasta que los datos son monitorizados y almacenados en una estación central. Claro, todo este proceso de monitorización, alarmas y almacenamiento de los datos forma parte de un sistema SCADA que es uno de los pilares fundamentales del presente trabajo.

Patologías cardiacas tales como: taquicardia y bradicardia, podrán ser monitoreadas por el sistema ya que cuenta con un sistema de aviso de alarmas para estas situaciones. La información será almacenada para crear una base de datos de historiales clínicos de varios pacientes, información sumamente útil para el seguimiento posterior y particular de los pacientes.

El por qué de la tecnología inalámbrica es sencillo; tras la visita a diferentes centros de salud, se constató que la red cableada está saturada y que además la mayoría de los edificios hospitalarios son antiguos y arquitectónicamente no están preparados para el cableado. Otro gran problema es la escalabilidad, instalar una cama más con todos los equipos que conlleva, es sumamente complicado ya que en la mayoría de las situaciones las instalaciones están selladas o ya no tiene espacio suficiente. Puede debatirse de que el cable seguirá siendo más seguro que cualquier método, pero para el caso se ha demostrado que la red inalámbrica ZigBee es tan segura como el cable en pequeñas distancias como es el caso de una sala o una planta de la clínica u hospital. Una red cableada no permite nada de movilidad de los pacientes y está limitada a que el paciente tenga obligatoriamente que estar en tal o cual posición y ubicación para ser monitoreado.

La ventaja de los sistemas inalámbricos con respecto de los sistemas cableados es evidente: la libertad de movimiento. A esta favorable situación se le suman otras oportunidades, tales como la disminución de costos de implantación y explotación, al reducir gastos de mantenimiento y permitir la reducción de mano de obra; el desarrollo de soluciones a medida, al permitir la comunicación con dispositivos de difícil acceso o ubicados en emplazamientos múltiples y remotos; el acceso a la

interrelación en tiempo real al posibilitar una mayor flexibilidad en los procesos de registro, control e interrelación con sistemas propios o externos; la mejora en los procesos de negocio, ya que mediante la mejora y optimización de los procesos, ofrecen la posibilidad de acceder a nuevos mercados ofreciendo productos y servicios novedosos a menor costo; el aumento de la ventaja competitiva, la disponibilidad de estas tecnologías frente a rivales que operan con sistemas tradicionales permiten un mejor posicionamiento empresarial.

Frente a estas óptimas oportunidades destacan ciertos aspectos que demandan un mayor desarrollo:

- **Fiabilidad:** son vulnerables a las interferencias electromagnéticas, a los obstáculos físicos y existen problemas de cobertura.
- **Robustez:** el desarrollo de este tipo de tecnología es reciente, con un grado de estandarización aún escaso.
- **Seguridad:** existen riesgos de interceptación y manipulación de las comunicaciones al ser el medio más susceptible de atraer “terceros no deseados”.

Para el presente los inconvenientes de la seguridad y robustez no son de tanta trascendencia por lo que ZigBee es más que suficiente. La fiabilidad fue un factor predominante para la elección de esta tecnología ya que ZigBee se caracteriza por ser un sistema totalmente confiable en la transmisión de los datos, además de ser un protocolo de comunicaciones de muy bajo consumo lo que ayuda la portabilidad de los equipos.

La estructura del trabajo es la siguiente: primero se desarrolló un marco teórico sobre los elementos del proyecto como son la señal ECG, que aunque no forma parte principal del proyecto es la señal a transmitir por lo que vale la pena su detalle, además el estudio de redes ZigBee, ventajas y desventajas con tecnologías similares; conversión A/D que realiza el controlador y sistemas SCADA.

Lo siguiente fue la elaboración de la memoria técnica del proyecto, en esta sección se investigó acerca de los equipos profesionales, de similares objetivos del proyecto, que se encuentran en el medio para lo cual se tuvo acceso al Hospital del IEES en Cuenca. Después, entrando en cuestiones más técnicas, se describe la conformación de la red y los cálculos necesarios para su implementación. En tercer lugar se nombraron todos los elementos de circuitería de la placa o módulo final con descripciones técnicas. Parte fundamental del proyecto es también el presupuesto,

aquí se informa detenidamente todos los rubros que intervienen en el proyecto desde licencias de software hasta costos de mano de obra, también se hace referencia un poco del mercado posible para la ciudad de Cuenca. Por último se describe las conexiones finales, el sistema SCADA y la programación del panel visor.

El proyecto está desarrollado con tecnología microchip en lo que se refiere a la circuitería y transmisores inalámbricos. El panel visor y la base de datos se desarrolla bajo la plataforma de Labview. Se puede notar que las tecnologías a usarse están entre las mejores lo que asegura la calidad del proyecto, incluso en la parte del software del panel, National Instruments otorga licencias de aplicación con lo que el proyecto gana un alto estándar, renombre y confiabilidad.

1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Tema y definición del alcance.

Actualmente en los centros hospitalarios locales, la rutina de seguimiento de pacientes toma mucho tiempo debido a que el personal encargado tiene que revisar a los pacientes uno por uno, esto repercute en que la atención sea ineficiente y tardía. Además en caso de una situación grave, no existen alarmas remotas que prevengan a los encargados de forma automática, para acudir a la inmediata atención de los pacientes, a consecuencia de que no existe un sistema de monitoreo centralizado, a excepción de las áreas de cuidados intensivos.

En la ciudad de Cuenca en específico, los hospitales, clínicas y centros de salud actuales no cuentan con una red hospitalaria inalámbrica. En la mayoría de los casos son edificios antiguos por lo que no disponen de instalaciones de cableado estructurado y resultaría difícil e inconveniente montar este tipo de instalaciones.

La Ilustración 1, muestra la solución actual a los problemas de comunicación que existen hoy en día, sugiriendo el uso de la telemedicina.

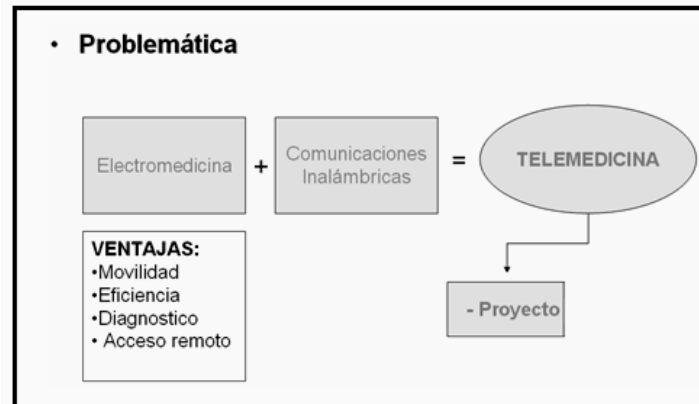


Ilustración 1: Problemática y posible solución

Fuente: Autores

Es por eso que el proyecto quiere brindar soluciones a este problema, realizando un estudio para la adaptación de una red inalámbrica ZigBee, a un sistema de monitoreo de electrocardiografía.

El estudio de esta investigación estará enfocada directamente a la adaptación de módulos ZigBee, para la transmisión inalámbrica de señales electrocardiográficas, limitado a equipos que dispongan de una salida analógica. El centro hospitalario

debería estar provisto de una PC para recibir estos datos y mostrarlos en pantalla, y a la vez, realizar el historial clínico de cada paciente (base de datos). El estudio del proyecto enmarca los siguientes puntos:

- Señales a transmitir: Electrocardiografía.
- Interfaces a usar: ZigBee, microcontroladores.
- Manejo de la información.

Se analizará las ventajas de implementar un sistema SCADA aplicado al estudio del proyecto, haciendo uso de Labview con las respectivas herramientas que permitan crear una base de datos.

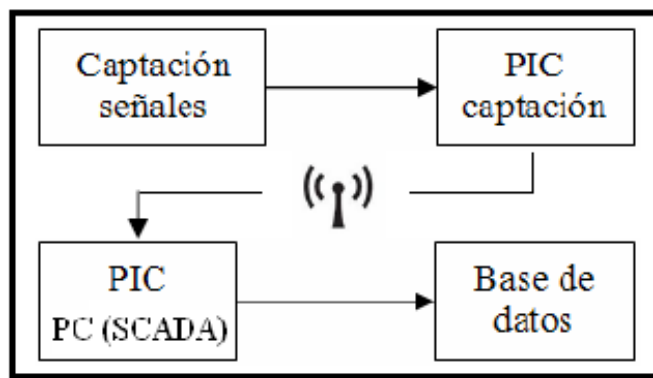


Ilustración 2: Diagrama de bloques del proyecto

Fuente: DISEÑO DE UN DISPOSITIVO REMOTO R. FUSTÉ – R. MARTINEZ

La ilustración 2, muestra un diagrama de bloques de las etapas a las que se rige el proyecto.

1.2 Antecedentes.

Se debe tener en cuenta, como se dijo antes, que no existen redes eficientes de cableado estructurado y mucho menos redes inalámbricas adaptadas a sistemas de monitoreo electrocardiográfico en centros hospitalarios de Cuenca. Sin embargo en la sala de cuidados intensivos de Hospital del IESS de Cuenca se encontró un sistema de monitoreo remoto cableado, en todos los cubículos de esta área. Posteriormente se describe con exactitud cómo es esta sala UCI.

1.3 Justificación.

El fin de este proyecto, es dotar de una red inalámbrica a equipos de electrocardiografía, para su uso en centros hospitalarios que no cuenten con una red estructurada, y que a su vez facilite el monitoreo remoto de los pacientes, sujetos a alarmas y permita el almacenamiento de la información en una base de datos, para revisiones posteriores. El factor alarmas es de suma importancia ya que podrá avisar posibles patologías y problemas posteriores o inmediatos. El sistema se encarga de ordenar, mostrar, y almacenar los datos de forma automática, evitando así la necesidad de personal y garantizando la confiabilidad y precisión de los datos resultantes. Con esto se consigue un ahorro de tiempo y dinero para el centro de salud. Además se garantiza la seguridad del paciente que es lo más importante.

Para el proyecto es de suma importancia que aparte de tener un tamaño reducido para garantizar la portabilidad, el consumo sea lo menor posible ya que se manejan datos de posibles situaciones críticas y no se puede perder información por cuestión de baterías bajas. El sistema estaría en funcionamiento a toda hora por lo que la potencia que consumirá el dispositivo deberá ser la menor posible. La tecnología ZigBee es el futuro de las comunicaciones inalámbricas principalmente por su precio y por los alcances que permiten. La baja transmisión de datos no es un problema para el presente proyecto.

En la Ilustración 3 se muestra la idea general de lo que el proyecto haría y que recursos se necesitarían.

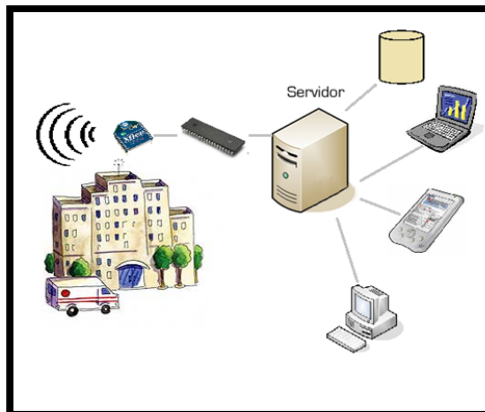


Ilustración 3: Idea general del proyecto

Fuente: Autores

1.4 Objetivo general.

Elaborar un estudio que permita la adaptación de una red inalámbrica ZigBee, a un sistema de monitoreo de señales de electrocardiografía desde una central inteligente.

1.5 Objetivos específicos.

- Desarrollar el marco teórico necesario para las diferentes etapas del proyecto.
- Desarrollar una memoria técnica del proyecto.
- Realizar un estudio económico para la implementación del proyecto comparando con otras posibles alternativas.

2. MARCO CONCEPTUAL. BASES TEÓRICAS

2.1 Señal electrocardiográfica

El corazón es el órgano principal del sistema circulatorio y se encarga de impulsar la sangre a todo el organismo. Para lograrlo, se contrae y relaja rítmicamente formando lo que se conoce como ciclo cardíaco, que es la secuencia de hechos que ocurren entre un latido y otro. Para la estimulación y contracción del músculo cardíaco, el corazón cuenta con un sistema de conducción especializado. El impulso cardíaco generado por dicho sistema de conducción atraviesa el corazón y es propagado a los tejidos que lo rodean.

Una pequeña parte de la misma llega difusamente hasta la superficie del cuerpo, y colocando electrodos sobre la piel a uno y otro lado del corazón, se registran los potenciales eléctricos debidos a la actividad cardíaca; el trazado de esos registros es el electrocardiograma, más conocido como ECG. Los electrodos se encargan de convertir las corrientes iónicas del cuerpo en corrientes eléctricas que pueden ser procesadas por un equipo electrónico, y sus posiciones dependen de la zona del corazón que se desea medir. La medición en el plano frontal se consigue con tres derivaciones electrocardiográficas principales denominadas I, II y III, en las que los electrodos se ubican en las extremidades. La derivación I mide la diferencia de potencial que aparece entre brazo derecho y brazo izquierdo, I a II entre brazo derecho y pierna izquierda, y I a III entre brazo izquierdo y pierna izquierda. Para

entender mejor el ECG resulta útil entender el sistema de conducción eléctrica del corazón.

El ECG es una representación tiempo-amplitud (volts), que está normalmente en el rango de $\pm 2\text{mV}$ con un ancho de banda de 0,05 a 150 Hz. En el ECG normal, cada ciclo cardíaco está representado por una serie de ondas denominadas P, Q, R, S y T que representan la magnitud, dirección y duración de los impulsos eléctricos que atraviesan el corazón. Las diferencias temporales y morfológicas en las ondas del ECG con respecto a un paciente normal podrían ser indicativas de padecimientos cardíacos.

En condiciones normales, mientras el impulso eléctrico se mueve por el corazón, éste se contrae entre 60 y 100 veces por minuto. Cada contracción representa un latido. Los atrios se contraen una fracción de segundo antes que los ventrículos, de esta manera la sangre que contienen se vacía en los ventrículos antes de que éstos se contraigan.

2.2 Interpretación del ECG

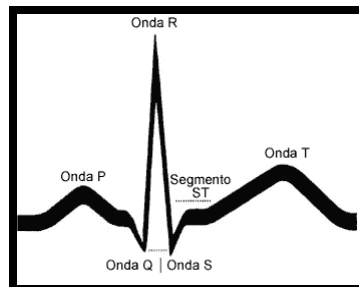


Ilustración 4: Señal ECG

Fuente: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/944/94411386009.pdf>

La ilustración 4, muestra la forma de la señal electrocardiográfica y las ondas que la conforman.

- La primera curva pequeña hacia arriba del trazado de un ECG se llama "onda P". La onda P indica que los atrios (las 2 cavidades superiores del corazón) se están contrayendo para bombear la sangre hacia fuera.
- La siguiente parte del trazado es una corta sección hacia abajo que está conectada con una sección alta hacia arriba. Esta parte se llama el "complejo

QRS". Esta parte indica que los ventrículos (las 2 cavidades inferiores del corazón) se están contrayendo para bombear la sangre hacia fuera.

- El segmento corto hacia arriba que sigue se llama el "segmento ST". El segmento ST indica la cantidad de tiempo que transcurre desde que acaba una contracción de los ventrículos hasta que empieza el período de reposo anterior a que los ventrículos empiecen a contraerse para el siguiente latido.
- La curva hacia arriba que sigue se llama la "onda T". La onda T indica el período de reposo de los ventrículos.

Cuando el médico estudia un ECG, observa el tamaño y la longitud de cada parte. Las variaciones en el tamaño y la longitud de las distintas partes del trazado podrían ser significativas. El trazado de cada derivación en un ECG de 12 derivaciones será diferente, pero tendrá los mismos componentes básicos descritos más arriba. Cada derivación de las 12 derivaciones "mira" una parte específica del corazón, por lo que las variaciones en una derivación podrían indicar un problema en la parte del corazón asociada con esa derivación.

2.3 Utilidades de diagnóstico del ECG

Muchas condiciones de salud pueden causar cambios en el ECG. Dado que es un examen rápido, sencillo, indoloro y relativamente barato, se puede utilizar como parte inicial de un examen para ayudar al médico a reducir las posibilidades en el proceso de diagnóstico. Los ECG también se hacen como exploraciones físicas de rutina para poder compararlos con ECG anteriores y determinar si una patología oculta o no detectada puede causar los cambios en el ECG.

La Tabla 1, muestra las condiciones que pueden causar cambios en el patrón del ECG.

ENFERMEDAD	DESCRIPCION
Isquemia	Disminución del flujo de sangre oxigenada debido a la obstrucción de una arteria.
Ataque al corazón	Lesión del músculo cardíaco debida a un suministro insuficiente de sangre.
Trastornos de conducción	La disfunción del sistema de conducción eléctrica del corazón, puede provocar una velocidad irregular.
Trastornos electrolíticos	Un desequilibrio en los niveles de electrolitos, o sustancias químicas de la sangre.
Pericarditis	Inflamación de la bolsa (revestimiento fino) que rodea al corazón.
Enfermedad valvular cardíaca	Una o más de las cuatro válvulas del corazón está defectuosa o tiene una malformación congénita.
Dilatación cardíaca	una condición en la que el corazón es mucho más grande de lo normal.
Traumatismos en el pecho	Un traumatismo directo en el pecho.

Tabla 1 : Patologías cardíacas

Fuente: <http://www.rush.edu/spanish/speds/cardiac/afes.html>

También se puede realizar un ECG por los siguientes motivos:

- Como parte de la preparación previa a algún procedimiento, como una operación, para asegurarse de que no existe ninguna condición cardíaca que pueda causar complicaciones durante o después del procedimiento.
- Para vigilar la eficacia de ciertos medicamentos para el corazón.
- Para vigilar el estado del corazón después de un infarto o después de algún procedimiento relacionado con el corazón, como el cateterismo cardíaco, la cirugía cardíaca, los estudios electro-fisiológicos, etc.

2.4 Técnica para realizar un ECG

“Un ECG es uno de los procedimientos más rápidos y sencillos que se utilizan para evaluar el corazón. Un técnico de ECG, una enfermera o un médico le pondrán 12 electrodos diferentes en lugares específicos del pecho, los brazos y las piernas. Le colocarán ocho electrodos en el pecho y un electrodo en cada brazo y en cada pierna. Los electrodos pueden ser autoadhesivos, o se puede aplicar un gel para que los electrodos se peguen a la piel. Tendrá que estar acostado o tendido en una camilla, y las derivaciones (cables) se conectarán a los electrodos de su piel. Es necesario que esté muy quieto y que no hable durante el ECG, ya que cualquier

movimiento puede crear interferencias en el trazado. El técnico, la enfermera o el médico empezarán a obtener el trazado, que durará sólo unos minutos. No notará nada durante el registro. Una vez que se haya obtenido un trazado claro, le quitarán los electrodos y las derivaciones y podrá seguir con sus actividades normales, a menos que su médico le indique lo contrario. Un ECG puede indicar la presencia de arritmias (ritmo anormal del corazón), de daños en el corazón causados por isquemia (falta de oxígeno en el músculo cardíaco) o infarto de miocardio (MI o ataque al corazón), problemas en una o más de las válvulas cardíacas u otros tipos de condiciones cardíacas”.¹

2.5 ZigBee

ZigBee constituye una de las grandes partes de nuestro proyecto puesto que será el medio de transmisión elegido para el envío de nuestros datos, una vez medidos con los sensores. Como veremos más adelante, ZigBee puede ser usado para una gran variedad de aplicaciones, pero en este caso interesa su utilización para fines de monitorización corporal.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica. Esta especificación define una solución para comunicaciones inalámbricas de bajo costo y consumo. El principal objetivo que pretende satisfacer una red de comunicación ZigBee es la de comunicar aplicaciones que requieren comunicaciones seguras, con baja tasa de envío y maximización de la vida útil de sus baterías. La red, en su conjunto, utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación.

La pila de protocolos ZigBee, también conocida como ZigBee Stack, se basa en el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) definidos en el estándar IEEE 802.15.4, que desarrolla estos niveles para redes inalámbricas de área personal de baja tasa de transferencia (LR-WPAN, *LowRate - Wireless Personal Area Network*).

¹ EL ELECTROCARDIOGRAMA , CENTRO MÉDICO DE LA UNIVERSIDAD RUSH,
<http://www.rush.edu/spanish/speds/cardiac/afes.html>

La capa física es la responsable de la transmisión y la recepción de datos en un canal de radio y acorde con las técnicas de modulación y *spreading*². La IEEE 802.15.4 ofrece tres bandas de frecuencia en las cuales operar: 2.4 GHz, 915MHz y 868 MHz. Además el estándar define el uso de la técnica DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) para transmitir la información a través del medio. Como funciones principales de esta capa están la activación/desactivación del *transceiver*, la detección de energía (ED), está a cargo del indicador de calidad del enlace (LQI), prueba de *clear channel* (CCA) y de la transmisión y recepción de paquetes a través del medio físico.

La subcapa MAC del protocolo IEEE 802.15.4 provee un interfaz entre la capa física y las capas superiores de los LR-WPANs. Presenta las siguientes características:

- Asociación/disociación
- Acuse de recibo (ACK)
- Mecanismos de acceso al canal
- Validación de trama
- Control de garantía de ranuras de tiempo (*Slot Time*)
- Control de guías (*Beacon*)
- Sondeo del canal (*Scan*)

MAC proporciona dos tipos de servicios hacia las capas superiores, a través de dos puntos de Acceso a Servicios (*Service Access Points*, SAPs):

- A los servicios de datos MAC se acceden por medio de la parte común de la subcapa MCPS-SAP (*MAC Common Part Sublayer-Service Access Point*).
- Al manejo de servicios MAC se accede por medio de la capa MAC de manejo de identidades MLME-SAP (*MAC Layer Management Entity-Service AccessPoint*).

Se caracteriza por una baja complejidad, el administrador de servicios MAC tiene 26 primitivas, que comparadas con 802.15.1 (*Bluetooth*), que tiene alrededor de 131 primitivas para 32 tipos de eventos, el MAC de 802.15.4 es muy simple, haciéndolo muy versátil para las aplicaciones hacia las que fue orientado, aunque se pague el costo de tener un instrumento con características menores a las de 802.15.1.

² ESPECTRO ENSANCHADO, WIKIPEDIA,
http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado

La especificación ZigBee, mediante ZigBee Alliance, completa el estándar añadiendo cuatro componentes principales:

- Nivel de red.
- Nivel de aplicación.
- Objetos de dispositivo ZigBee (ZDO, *ZigBee Device Objects*).
- Objetos de aplicación definidos por el fabricante.

Además de añadir dos capas de alto nivel (nivel de red y de aplicación) a la pila de protocolos, el principal cambio es la adición de los ZDO ya que son los responsables de llevar a cabo una serie de cometidos, entre los que se encuentran el mantenimiento de los roles de los dispositivos, la gestión de peticiones de unión a una red, el descubrimiento de otros dispositivos y la seguridad.

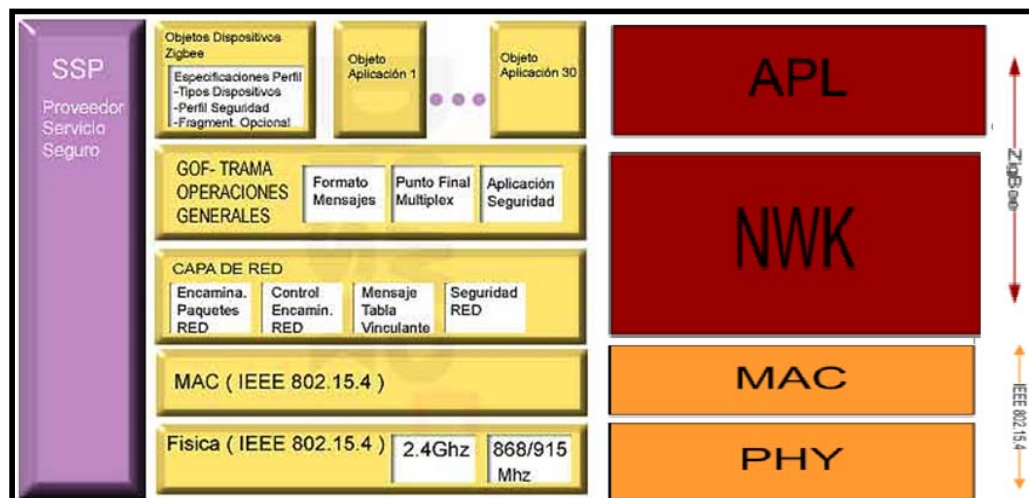


Ilustración 5: Pila de protocolos ZigBee

Fuente: <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=146&c=43>

La Ilustración 5, muestra la arquitectura interna de ZigBee en capas.

Como se dijo el estándar ZigBee lo completa el nivel de red y el de aplicación. Como cometidos principales del nivel de red son permitir el correcto uso del subnivel MAC, definido por el estándar 802.15.4, y ofrecer un interfaz adecuado para su uso por parte del nivel inmediatamente superior, el nivel de aplicación. Sus capacidades son las típicas de un nivel de red clásico. Por una parte, la entidad de datos crea y gestiona las unidades de datos del nivel de red a partir del *payload* (carga) del nivel de aplicación y realiza el ruteo en base a la topología de la red en la que el dispositivo se encuentra. Por otra parte, las funciones de control del nivel de red controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de

nuevas redes; puede decidir si un dispositivo colindante pertenece a la red e identifica nuevos *routers* y vecinos. El control puede detectar así mismo la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directa y la sincronización a nivel MAC.

En cuanto al nivel de aplicación diremos que es el más alto definido por la especificación y, por tanto, la interfaz efectiva entre el nodo ZigBee y sus usuarios. En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación tanto de ZDO's, como sus procedimientos de control y los objetos de aplicación.

El ZDO se encarga de la definición del rol de un dispositivo como Coordinador ZigBee o Dispositivo Final. Además, el ZDO identifica a los dispositivos que se encuentran a un salto en la red (dispositivos vecinos) y los servicios que ofrecen. Tras ello, puede proceder a establecer enlaces seguros con dispositivos externos y responder peticiones.

El subnivel de soporte a la aplicación (APS, *Application Support Sublayer*) es el segundo componente básico del nivel. Como tal, ofrece una interfaz bien definida y servicios de control asociados. Trabaja como nexo de unión entre el nivel de red y el resto de componentes del nivel de aplicación. Mantiene actualizadas las tablas de asociaciones en forma de base de datos, que puede utilizarse para encontrar dispositivos adecuados en base a los servicios demandados y ofrecidos. Como puente entre dos niveles, encamina los mensajes a lo largo de la pila de protocolos.

La trama general de operaciones (GOF) es una capa que existe entre la de aplicaciones y el resto de capas. La GOF suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos, como el sub direccionamiento, modos de direccionamiento y la descripción de dispositivos, como ser el tipo de dispositivo, potencia, modos de 'dormir' y coordinadores de cada uno. Utilizando un modelo, la GOF especifica métodos, eventos, y formatos de datos que son utilizados para constituir comandos y las respuestas a los mismos.

ZigBee, también conocido como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 Kbps y 250 Kbps y rangos de 10m a 75m, pudiendo llegar a mayores distancias con el uso de antenas de mayor consumo de potencia. Usa la banda libre ISM de 2,4 GHz. Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo al transceiver ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.

2.6 Tipos de dispositivos

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC). Es el tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- Router ZigBee (ZigBee Router, ZR). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo principal (un coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): Tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

2.7 Características técnicas

2.7.1 Modos de funcionamiento de ZigBee

El funcionamiento de ZigBee debe cumplir la premisa del bajo consumo de sus nodos. Para ello un nodo ZigBee, tanto activo como pasivo, reduce su consumo gracias a que puede permanecer “dormido” la mayor parte del tiempo, incluso muchos días seguidos. Al decir que el nodo permanece “dormido” hace referencia a que está a la espera de ser activado por parte del *router* o del Coordinador ZigBee.

Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a “dormir” cuando deje de ser requerido. El tiempo que tarda un nodo cualquiera en despertarse es de aproximadamente 15ms.

Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos esclavos (ZED), de esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La idea del funcionamiento ZigBee consiste en que los dispositivos esclavos en todo momento permanecen en modo “dormido” a no ser que sean activados, de tal forma que solo se “despiertan” por una fracción de segundo para confirmar que siguen en nuestra red de dispositivos de la que forman parte. En las redes ZigBee, se pueden usar dos modos de funcionamiento diferentes, con balizas o sin balizas.

2.7.2 Con balizas

El modo ‘baliza’ es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red. Este modo permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. Aquí, los dos caminos de la red tienen un distribuidor que controla el canal y dirige las transmisiones. La principal ventaja de este método de trabajo es que se reduce el consumo de potencia.

Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos escuchan al coordinador de red durante el ‘balizamiento’ (envío de mensajes a todos los dispositivos, broadcast, entre 0.015 y 252 segundos). Un dispositivo se registra para el coordinador y “mira” si hay mensajes para él. Si no hay mensajes, el dispositivo vuelve a “dormir”, despertando según un horario establecido por el coordinador. Una vez hecho todo el “balizamiento” el coordinador mismo vuelve a “dormirse”.

2.7.3 Sin balizas

El modo 'sin balizas' es sencillo: se usa el acceso múltiple al sistema en una red punto a punto cercano. Funciona como una red de dos caminos, donde cada dispositivo es autónomo y puede iniciar una conversación en donde los otros pueden interferir. El dispositivo destino puede no oír la petición o el canal puede estar ocupado.

Este modo, es típicamente usado en sistemas de seguridad, donde los dispositivos, por ejemplo, sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales, duermen el 99,999% del tiempo. Estos elementos 'despiertan' de manera regular para anunciar que siguen en la red. Cuando un evento tiene lugar (se detecta algo), el sensor se 'despierta' instantáneamente y transmite la alarma. El coordinador de red, alimentado de la red principal todo el tiempo, recibe el mensaje y activa la alarma respectiva.

2.7.4 Acceso al medio

El medio físico es un recurso al que se accede utilizando CSMA/CA³. Las redes que no utilizan las balizas hacen uso de una variación del mismo basada en la escucha del medio, temporizada por un algoritmo de *backoff*⁴, salvo en el caso de las confirmaciones (ACK, *Acknowledgement*).

Estos mensajes de confirmación pueden ser opcionales en algunos casos. La recepción de una confirmación certifica el éxito del envío. En cualquier caso, si un dispositivo es incapaz de procesar una trama en un momento dado, no confirma su recepción. Pueden realizarse reintentos basados en *timeout*⁵ un cierto número de veces, tras lo cual se decide si seguir intentándolo a dar error de transmisión.

El entorno de funcionamiento previsto para este tipo de redes exige que se maximice la vida de la fuente de energía, por lo que se favorecen los protocolos que conducen a estos fines. Para ello, se programan comprobaciones periódicas de mensajes pendientes, más o menos frecuentes según la aplicación concreta.

³ TIPO DE MODULACIÓN, Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

⁴ Tiempo de espera exponencial aleatorio.

⁵ Tiempo de espera no exponencial no aleatorio

2.7.5 Seguridad en el sistema

ZigBee utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica servicios de seguridad tal como:

- Control de accesos, el dispositivo mantiene una lista de los dispositivos “comprobados” en la red.
- Datos Encriptados, los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.
- Integración de tramas para proteger los datos de ser modificados por otros.
- Secuencias de refresco, para comprobar que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

2.7.6 Topología estrella

Hay que definir una topología de red que el proyecto usará, en este caso será la estrella, por lo que sólo se tratará la misma. En la topología estrella, se tiene un único nodo trabajando como coordinador, como se muestra en la ilustración 6. Por lo tanto si un FFD⁶ está activado puede establecer su propia red y llegar a ser coordinador PAN, eligiendo un identificador de red.

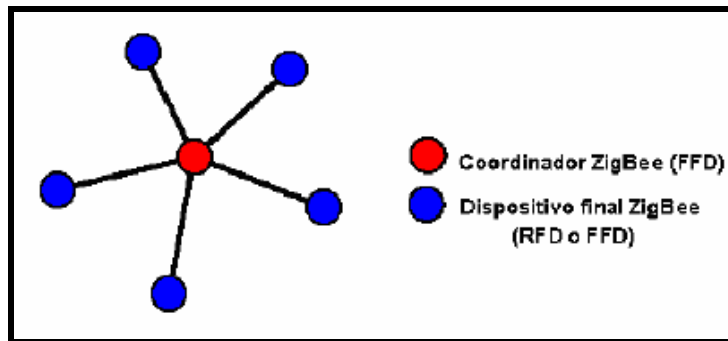


Ilustración 6: Topología estrella

Fuente: <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/815/4/T10110CAP2.pdf>

⁶ TIPOS DE DISPOSITIVOS ZIGBEE , FFD (Dispositivo de funcionalidad completa)

La comunicación en esta topología es centralizada, cada dispositivo (FFD o RFD) se unen a la red y si desea comunicarse con otros dispositivos debe enviar su información al coordinador PAN, el cual enviará esta información al dispositivo correspondiente.

Las ventajas que puede aportar una red en estrella sería la facilidad a la hora de implementarla, adecuada para redes temporales, el fallo de un nodo periférico no influiría en el comportamiento del resto de la red y no hay problemas con colisiones de datos ya que cada estación tiene su propia conexión al coordinador central.

En contrapartida, la utilización de una red en estrella limita tanto el número de nodos que pueden estar conectados a la red. También se debe tener muy en cuenta que los costos de mantenimientos pueden aumentar a largo plazo, y que el fallo del nodo central puede echar abajo la red entera. Sin embargo es la opción más apropiada para el proyecto ya que distribución de los nodos amerita esta topología.

2.7.7 Canales IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 define 27 canales de frecuencia entre las tres bandas, como lo muestra la ilustración 7.

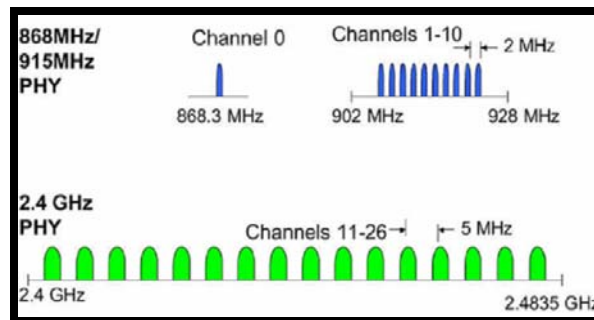


Ilustración 7 : Estructura de canales IEEE 802.15.4

Fuente: <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/815/4/T10110CAP2.pdf>

La banda de 2.4 GHz soporta 16 canales entre 2.4 y los 2.4835 GHz, con un espacio entre canales de 5 MHz

Numero de Canales	Frecuencia central del Canal (MHz)
k = 0	868.3
K = 1,2,...,10	$906 + 2 (k - 1)$
K = 11,12,...,26	$2405 + 5 (k - 11)$

Tabla 2: Frecuencias de canales IEEE 802.15.4⁷

Fuente: <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/815/4/T10110CAP2.pdf>

La tabla 2, muestra la disponibilidad de canales con respecto a la banda de frecuencia.

ZigBee usa la modulación O- QPSK para la frecuencia de 2.4 GHz En términos de eficiencia (energía requerida por *bit*), la modulación ortogonal mejora su funcionamiento en 2 dB que BPSK.

2.7.8 Creación de una red

Una red PAN⁸ puede ser creada solamente por un dispositivo FFD después de realizado un sondeo de canal (ED o activo), procedimiento en el cual el dispositivo ha elegido un canal y un identificador PAN. Una vez creada la PAN, el coordinador genera y envía tramas con balizas para manejar la asociación y disociación de otros dispositivos proveyendo servicios de sincronización permitiendo la asignación.

Una vez que un FFD está satisfactoriamente asociado con una PAN, puede indicar su presencia mediante el envío de tramas beacon⁹ para informar a otros dispositivos su presencia. La asociación comienza con un sondeo activo o pasivo, luego de terminado el sondeo, el dispositivo selecciona el identificador PAN de la red a la que desea asociarse, entonces envía un paquete de datos al correspondiente coordinador solicitando la asociación. Si esta petición es recibida correctamente el coordinador envía una trama ACK¹⁰, para así confirmar la asociación. Sin embargo, el ACK de una petición de asociación no quiere decir que el dispositivo fue asociado; en efecto el coordinador necesita tiempo para procesar

⁷ PROTOCOLO DE COMUNICACIONES,
http://sensornetworks.eecs.berkeley.edu/docs/ZigBee_2.ppt

⁸ PERSONAL AREA NETWORK, red de corto alcance

⁹ Beacon: trama para sondeo de dispositivos ZigBee.

¹⁰ ACKNOWLEDGEMENT FRAME, tipo de trama de asentimiento para confirmar la recepción de mensajes.

la petición y determinar si los actuales recursos de la PAN son suficientes para permitir otra asociación.

Si los recursos disponibles son suficientes, el coordinador envía una trama de respuesta de asociación que contiene la nueva dirección del dispositivo dentro de la red y el estado del dispositivo asociado. Si los recursos no son suficientes para permitir la nueva asociación, el coordinador envía una trama de respuesta de asociación con el estado de fallo en la asociación. El proceso de disociación puede ser iniciado por el coordinador o el dispositivo mismo. Si el coordinador quiere disociar a uno de sus dispositivos, le envía una trama con esta notificación; cuando el dispositivo recibe esta notificación envía un ACK confirmando su recepción, si el ACK no es recibido por el coordinador, éste considera que el dispositivo está disociado, y todas las referencias con respecto a él son borradas de la PAN.

2.8 Comparativa con otros medios de transmisión de datos

- Bluetooth

Como ya hemos podido comprobar, el desarrollo de la tecnología de ZigBee se centra en la sencillez y bajo coste de sus nodos y en el bajo nivel de transmisión de información. Es por ello que su uso para el proyecto es el más adecuado en comparación con otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth.

ZigBee es muy similar a Bluetooth, pero con algunas diferencias:

- Una red ZigBee puede constar de más de 65000 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred (piconet9) Bluetooth.
- Menor consumo eléctrico que el de Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee, como ya se ha mencionado anteriormente, se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar ya que suelen estar siempre transmitiendo y/o recibiendo.
- La velocidad ZigBee es menor a la de Bluetooth. ZigBee tiene una velocidad de hasta 250kbps, mientras que en Bluetooth es de hasta 1Mbps. Esta diferencia de valores es lógica si tenemos en cuenta que ZigBee se basa en

una transmisión de datos baja, y por lo tanto no afecta en gran medida en el momento de transmisión y recepción de datos.

- Las distancias que abarca bluetooth no superan los 12 metros, en cambio ZigBee como se mencionó puede llegar hasta los 100 m.

Vistas las principales diferencias entre ZigBee y Bluetooth, podemos llegar a la conclusión de que uno es más apropiado que el otro para ciertas aplicaciones.

- Wi-Fi

Wi-Fi, al igual que el resto de medios que se analizan, consiste en un sistema de envío de datos sobre redes que utiliza ondas en lugar de cables (*wireless*). Se basa en el estándar IEEE 802.11, y es por ello que hay diversos tipos de Wi-Fi.

En la actualidad ya se utiliza el estándar IEEE 802.11a, conocido como Wi-Fi5 ya que opera en la banda de 5GHz. Dicha banda de frecuencia (5GHz) ha sido recientemente habilitada. Al no existir otras tecnologías como ZigBee o Bluetooth que hagan uso de ella, garantiza un mínimo de interferencias vecinas. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2.4GHz.

La principal ventaja que proporciona Wi-Fi, aparte de las altas velocidades de transferencia, es la capacidad de suministrar cobertura en un gran rango de distancia (capaz de alcanzar los 100 metros).

Por otra parte, la desventaja fundamental de estas redes existe en el campo de la seguridad. Existen algunos programas capaces de capturar paquetes enviados y calcular la contraseña de la red, y de esta forma acceder a ella. Al igual que el resto de medios de transmisión *wireless*, la velocidad de transferencia se ve disminuida al no utilizar cables.

Vistos los principales puntos que aporta el uso de Wi-Fi (altas velocidades de transmisión y gran cobertura), se puede concluir que este tipo de medio quedaría fuera del tipo de transmisión que se quiere llevar a cabo al necesitar una mayor fuente de energía para poder proporcionar dichas tasas de velocidades.

En la tabla 3, se resumen las principales características de cada uno de los protocolos en discusión.

CARACTERISTICAS	ZIGBEE	BLUETOOTH	WIFI IEEE 802.11bg
Protocolo IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11bg
Bandas de frecuencia	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Tasa de Transferencia	250 Kbps (2,4GHz)	1 Mbps	11 Mbps
Número de Canales	16 (2,4 GHz)	79 canales de comunicación	entre 11 y 14 canales de comunicación
Tipos de Datos	Digital (texto)	Digital, Audio	Digital
rango de Nodos Internos	10 m - 100 m	10 m - 100 m	100 m
numero de dispositivos	entre 255 y 65535	8	32
Requisitos de alimentación	muy baja - años de batería	media - días de batería	media - horas de batería
Arquitecturas	Estrella, Árbol, punto a punto, malla	Estrella	Estrella
Consumo de potencia	30mA transmitiendo 3mA en reposo	40mA transmitiendo 0,2mA en reposo	400mA transmitiendo 20mA en reposo
Tipo de Red por cobertura	LR - LP WPAN (Red inalámbrica de área personal con baja transferencia y bajo consumo).	WPAN (Red inalámbrica de área personal).	WLAN (Red inalámbrica de área local).
Tipo de modulación	QPSK (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura).	GFSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana).	DBPSK DQPSK OFDM
Método de transmisión	DSSS (Espectro ensanchado por secuencia directa)	FHSS (Espectro Ensanchado por salto de frecuencia)	DSSS (Espectro ensanchado por secuencia directa). FHSS (Espectro Ensanchado por salto de frecuencia)
Formas de acceso al canal	CSMA/CA (Acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones).	TDD (Dúplex por división de tiempo)	FDMA y TDMA
Modos de Seguridad	Control de acceso contra Una lista de dispositivos Comprobados Encriptación de datos con algoritmo de 128 bits.	WEP 64/128 bits (Privacidad Equivalente a Cableado).	WPA (Protección de acceso WI - FI). WEP 64/128 bits (Privacidad Equivalente a Cableado). Modos en AES (Encriptación estándar avanzada) TKIP (Protocolo de integración de llave temporal)

Tabla 3: Comparativa entre tecnologías inalámbricas

Fuente: <http://rosario2009.sabi.org.ar/uploadsarchivos/p10.pdf>

De la tabla 3, se puede inferir en las ventajas que representa el uso de ZigBee por sobre las otras tecnologías para esta aplicación.

2.9 Conversión ADC

La conversión analógica-digital (ADC) consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer que la señal resultante (la digital) sea más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

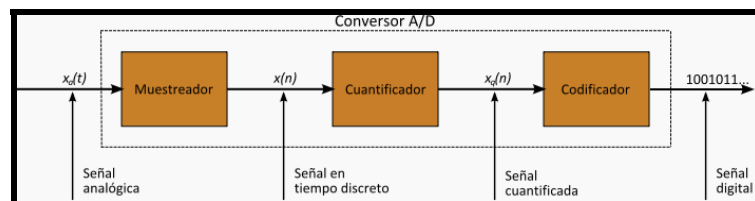


Ilustración 8: Proceso de la conversión A/D

Fuente: Autores

La ilustración 8, muestra las etapas de la conversión analógica-digital.

2.9.1 Muestreo

El muestreo digital es una de las partes que intervienen en la digitalización de las señales. Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de una señal analógica, siendo generalmente el intervalo entre las muestras constante. El ritmo de este muestreo, se denomina frecuencia o tasa de muestreo y determina el número de muestras que se toman en un intervalo de tiempo. La ilustración 9, muestra un ejemplo de una señal muestreada en el tiempo.

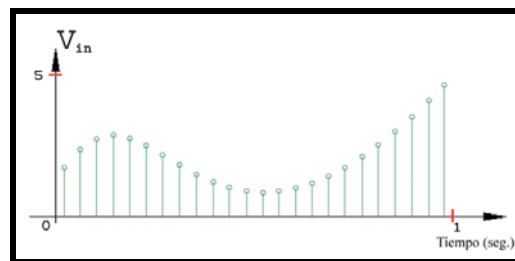


Ilustración 9: Señal muestreada en el tiempo

Fuente: Autores

2.9.2 Cuantificación

La cuantificación lo que hace es convertir una sucesión de muestras de amplitud continua en una sucesión de valores discretos preestablecidos según el código utilizado (ver ilustración 10). Durante el proceso de cuantificación se mide el nivel de tensión de cada una de las muestras, obtenidas en el proceso de muestreo, y se les atribuye un valor finito (discreto) de amplitud, seleccionado por aproximación dentro de un margen de niveles previamente fijado. Los valores preestablecidos para ajustar la cuantificación se eligen en función de la propia resolución que utilice el código empleado durante la codificación. Si el nivel obtenido no coincide exactamente con ninguno, se toma como valor el inferior más próximo. En este momento, la señal analógica (que puede tomar cualquier valor) se convierte en una señal digital, ya que los valores que están preestablecidos, son finitos. No obstante, todavía no se traduce al sistema binario. La señal ha quedado representada por un valor finito que durante la codificación (siguiente proceso de la conversión analógico digital) será cuando se transforme en una sucesión de ceros y unos.

Así pues, la señal digital que resulta tras la cuantificación es diferente a la señal eléctrica analógica que la originó, algo que se conoce como error de cuantificación. El error de cuantificación se interpreta como un ruido añadido a la señal tras el proceso de cuantificación digital. Si este ruido de cuantificación se mantiene por debajo del ruido analógico de la señal a cuantificar (que siempre existe), la cuantificación no tendrá ninguna consecuencia sobre la señal de interés.

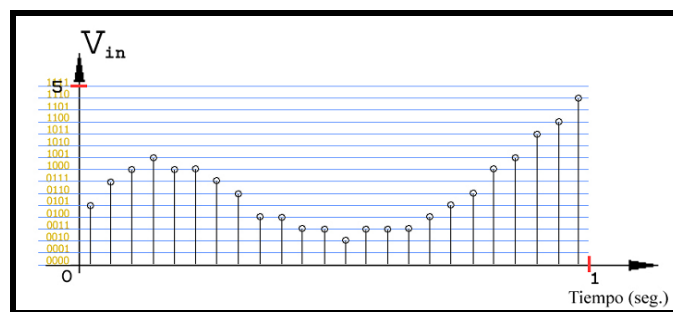


Ilustración 10: Cuantificación de la señal en el tiempo

2.9.3 Codificación

La codificación digital consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados (ponderados) al sistema binario, mediante

códigos preestablecidos. La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos digital (sucesión de ceros y unos). La codificación es, ante todo, la conversión de un sistema de datos a otro distinto. De ello se desprende que la información resultante es equivalente a la información de origen.

2.10 Sistemas SCADA

2.10.1 Conceptos Fundamentales

SCADA cuyas siglas significan "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de un software especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información como control de calidad, supervisión, mantenimiento y más, que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos, todo mediante HMI's. Los HMI's (Human Machine Interface) se definen como paneles a través de los cuales el operador es capaz de controlar la maquinaria y ver diferentes procesos en una planta en este caso hospital. La comunicación se realiza mediante buses especiales, redes LAN o tecnologías inalámbricas. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. Los programas necesarios y el hardware adicional que se necesite se denominan en general sistema SCADA.

2.10.2 Componentes de un sistema SCADA

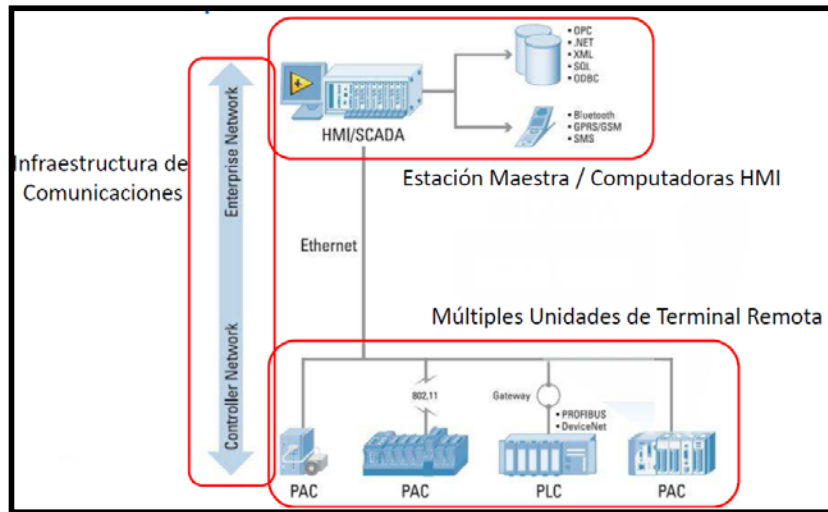


Ilustración 11: Componentes de un sistema SCADA

Fuente: NIDays08, SIMPOSIO TÉCNICO DE MEDICIÓN Y AUTOMATIZACIÓN, MEXICO,
WWW.NI.COM/MEXICO

La ilustración 11, muestra los principales componentes que forman un sistema SCADA

- **Múltiples Unidades de Terminal Remota**

Se conectan al equipo de campo es decir los sensores. Leen los datos de un interruptor o válvula, o mediciones como temperatura, flujo, o presión.

- **Estación Maestra / Computadoras HMI.**

Presenta la información al operador. Incluye monitoreo, control de lazo abierto, generación de alarmas, registro de datos, históricos, seguridad.

- **Infraestructura de Comunicación.**

Medio físico que conecta a las diferentes terminales remotas y las estaciones en el sistema. El sistema SCADA se desarrollará bajo la plataforma Labview de National Instruments.

2.10.3 Labview

Labview es un lenguaje de programación optimizado para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos sobre señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos, puertos estándar, etc.

Labview es un lenguaje de propósito general, como lo es, el Lenguaje C o Basic, pero con la particularidad de que la programación es gráfica, facilitando de esta manera el entendimiento y manejo de dicho lenguaje para el diseñador.

Incluye librerías para la adquisición, análisis, presentación y almacenamiento de datos. Además de otras prestaciones, como la conectividad con otros programas.

Está basado en la programación modular, lo que permite crear tareas muy complicadas a partir de módulos o sub-módulos mucho más sencillos. Además estos módulos pueden ser usados en otras tareas, con lo cual permite una programación más rápida y provechosa. Además también lleva incorporado generadores de señales para poder hacer un simulador.

Existen dos conceptos básicos en Labview: el Front Panel (Panel Frontal) y el Block diagram (Diagrama de Bloque). El Panel Frontal es el interfaz que el usuario ve y puede ser totalmente parecido al instrumento del cual se están recogiendo los datos, de esta manera el usuario sabe de manera precisa cual es el estado actual de dicho instrumento y los valores de las señales que se están midiendo. El diagrama de bloques es el conexionado de todos los controles y variables, que tendría cierto parecido al diagrama del esquema eléctrico del instrumento.

Los programas desarrollados en LabView toman el nombre de VI (Virtual Instrument) ó instrumento virtual. A su vez se pueden crear subrutinas llamadas Sub-VI (que son VIs invocados a través de otro) las cuales pueden realizar funciones específicas.

LabView, es un lenguaje abierto, ya que permite incluir en los VIs, subrutinas programadas en lenguajes como C y C++. Esta versatilidad es muy útil, por ejemplo en el campo de cálculos numéricos complejos que no se encuentran incluidos en las librerías de Labview.

2.10.4 Componentes en un sistema SCADA con Labview.

Se debe tomar en cuenta ciertos factores para la construcción del sistema SCADA, estos son:

- Método de comunicación: que protocolos y medios físicos se usará para la comunicación. En este caso RS232C.
- Configuración de las etiquetas: configuraciones del proyecto sobre las variables que se quieren medir o las que se hace referencia.
- Configuración de registro de datos: detallar como, donde y hasta cuando se requiere grabar o almacenar los datos.
- Monitoreo de alarmas y eventos: preestablecer valores de activación para alarmas y eventos.
- Seguridad y permisos: configuraciones de niveles de acceso a la información.
- VI e históricos: programa principal de desarrollo, paneles frontales y diagramas de bloques.
- Programación de funcionalidad adicional: configuraciones adicionales y efectos visuales.

3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

3.1 Aspectos metodológicos

En el presente proyecto se tendrá en cuenta como variables principales la señal electro cardiográfica y la seguridad tanto de datos como de las personas.

Señal electro cardiográfica.

La señal ECG es uno de los parámetros que se toman en cuenta para el diagnóstico del sistema cardiovascular de los pacientes. Además es de suma importancia para realizar análisis predictivos y evitar así, posibles situaciones de riesgo. El ECG es una señal de voltaje de pequeñísimo valor y que varía en cada persona. Poder contar con la señal ECG en un ordenador a varios metros de distancia del paciente es una gran ventaja para un diagnóstico más inmediato. Una

meta fundamental del proyecto es la visualización de avisos y alarmas en caso de situaciones extremas. La señal del electro cardiograma será transportada, visualizada y almacenada para poder trabajar sobre ella en un futuro.

Seguridad.

Es indispensable que los datos que se visualicen sean totalmente reales y los más confiables posible. Como se dijo la seguridad enmarca dos parámetros en el presente: primero garantizar confiabilidad y precisión en los datos que se reciban. En este aspecto las redes ZigBee están entre las más seguras del medio. El segundo aspecto a tomar en cuenta es la seguridad en los pacientes ya que al contar con información en todo momento, se pueden tomar decisiones más acertadas.

Metodología.

Por la naturaleza del trabajo, las metodologías adecuadas para su desarrollo serán de investigación proyectiva y bibliográfica.

La investigación proyectiva, también conocida como proyecto factible, consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema. Se ubican las investigaciones para inventos, programas, diseños. Se hará uso de material bibliográfico referente al tema, obtenido en la red.

Recursos.

Para el desarrollo de las diferentes etapas nombradas en este documento, se requerirá el uso de los siguientes recursos.

Humanos.

Galo Guzmán, Marcelo Barbecho: investigación y redacción.

Ing. Leonel Pérez: director.

Técnicos.

Recursos de software requeridos:

Labview 2009

MPLab 8.2

2. Conformación de la red: se investigó acerca de los módulos Zigbee disponibles en el mercado, sus velocidades de transmisión y su eficiencia para transmitir un ECG legible. Además se revisó a fondo como se estructura la red en sí es decir cuántos nodos máximo se puede conectar en la misma red, en qué modo se configura cada módulo (router, dispositivo final o coordinador). En esta parte se realizó investigación bibliográfica, ya que se estudió más en concreto proyectos previos y sobre todo la teoría sobre redes ZigBee.
3. Elementos de procesamiento: la investigación bibliográfica fue el método más usado, ya que se revisó hojas de datos de los dispositivos controladores hasta hallar aquel que cumpla los requerimientos técnicos necesarios, que sea de fácil implementación y económico.
4. Descripción funcional: descripción de los parámetros a considerar para la configuración de cada uno de los dispositivos que intervienen en la red, micro controladores y transceivers.
5. Diseño del sistema SCADA: se escogió como plataforma para el desarrollo del sistema a Labview 2009, además se investigó que herramientas de desarrollo adicionales se necesitarían. Se estableció en que formato la información es visualizada en la computadora.
6. Presupuesto: se realizó visitas a proveedores locales de los dispositivos seleccionados. Cabe destacar que es necesario traer en grandes cantidades los elementos para que el precio final resulte ventajoso. Además en internet se revisó los precios dados por las casas fabricantes. También se realizó una comparativa con sistemas profesionales.

4. GESTIÓN DE PRODUCTOS

Procesamiento de la información levantada.

Para la elaboración del estudio de este proyecto, se tuvo que investigar sobre varios aspectos, a continuación se detalla cada uno de los mismos.

4.1 Hospital del IESS

Tras la visita al hospital se concluyó que lamentablemente esté no cuenta con ningún tipo de red inalámbrica para el transporte de la información de ECG. Sin embargo, la UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) del hospital cuenta con nueve cubículos, cada uno de los cuales tiene un monitor configurado Drager Infinity Vista X XL, (ilustración 12, derecha) los cuales además están conectados mediante una red cableada a la estación de trabajo Infinity Multiview (ilustración 12, izquierda). Como características principales de esta estación de trabajo es que maneja hasta 16 pacientes y la información se visualiza en dos pantallas. Una de las principales desventajas de este sistema es que necesita cableado, es decir la escalabilidad del número de cubículos es muy compleja ya que es sumamente difícil pasar más cables por las diversas canaletas que están actualmente instaladas. La estación de trabajo también maneja en tiempo real la hemodinámica del paciente, los datos respiratorios y del ventilador y la ubicación del paciente.

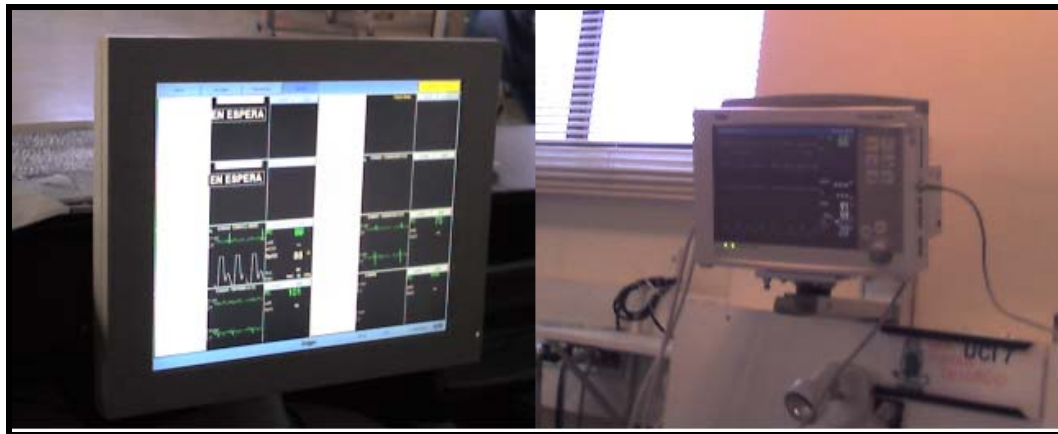


Ilustración 12: Equipos del Hospital IESS UCI de Cuenca

Fuente: Autores

Además se tuvo acceso al área de clínica dentro del hospital, esta área contiene a todos los pacientes que no han sido intervenidos quirúrgicamente. En esta área los

equipos de ECG no cuentan con ningún tipo de comunicación entre ellos, no tienen monitores y sólo puede imprimir localmente la señal que se está midiendo. Los equipos que se manejan en esta área son los Schiller At – 1 tipo cardiovit, como se muestra en la ilustración 13. El instrumento maneja alarmas de electrodo suelto, bip local de QRS. Posee una batería recargable incorporada y fuente de alimentación integrada a la red. La impresión es visualizada en varias escalas como se muestra en la tabla 5.

AMPLITUD	TIEMPO
5 milímetros / mili voltio	5 milímetros / seg
10 milímetros / mili voltio	25 milímetros / seg
25 milímetros / mili voltio	50 milímetros / seg

Tabla 5: Escalas del ECG Schiller AT-1 (IESS Cuenca)

Fuente: Autores



Ilustración 13: Equipo de la zona de clínica en el hospital IESS de Cuenca (Schiller AT-1)

Fuente: Autores

Un sistema parecido al de la Unidad de Cuidados Intensivos sería muy útil en el área de clínica también, ya que se evitaría el constante traslado de equipos, de los médicos de la zona y además se asegura actuar con rapidez ante cualquier situación.

4.2 Conformación de la red Zigbee.

Módulo transceiver ZigBee MRF24J40MA:

Algunas de las bondades, necesarias para el presente trabajo, que prestan los transceivers MRF24J40 de la familia microchip, son:

- Estándar IEEE 802.15.4.
 - o Opera en la banda ISM 2.405-2.48 GHz
 - o Data Rate: 250 Kbps (IEEE 802.15.4).
 - o 16 canales seleccionables
 - o Cristal integrado, además de un regulador de voltaje y una antena PCB.
 - o Hasta 120 m de alcance en exteriores y 30 en interiores.
- Tensión de alimentación recomendada de 2.4 a 3.6 v (3.3 v típico).
- SPI interface, simple de cuatro cables, con el micro controlador.
- Bajo consumo de corriente:
 - o Modo RX : 19 mA (típico)
 - o Modo TX : 23 mA (típico)
 - o Modo Sleep: 2 μ A (típico)
- Sensibilidad de -95 dBm
- +0 dBm a 36 dBm de potencia de salida.

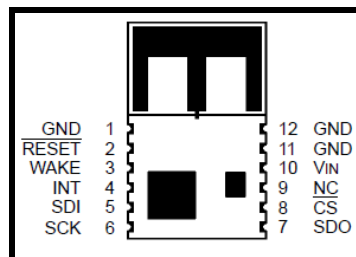


Ilustración 14: Diagrama de pines del transceiver MRF24J40MA

Fuente: MICROCHIP MRF24J40MA Data Sheet

En la ilustración 14, se muestra el diagrama de pines del MRF24J40MA, a continuación en la tabla 6 se describen las principales funciones y pines que conforman el módulo inalámbrico.

Pin	Symbol	Type	Description
1	GND	Power	Ground
2	RESET	DI	Global hardware Reset pin
3	WAKE	DI	External wake-up trigger
4	INT	DO	Interrupt pin to microcontroller
5	SDI	DI	Serial interface data input
6	SCK	DI	Serial interface clock
7	SDO	DO	Serial interface data output from MRF24J40
8	CS	DI	Serial interface enable
9	NC	—	No connection (allow pin to float; do not connect signal)
10	VIN	Power	Power supply
11	GND	Ground	Ground
12	GND	Ground	Ground

Tabla 6: Pines principales del módulo inalámbrico MRF24J40MA

Fuente: MICROCHIP MRF24J40MA Data Sheet

Elección de la topología.

Como primer paso se definió que la topología estrella es la más adecuada para el proyecto ya que se ajusta a las necesidades. Cada dispositivo final (*end device*) solo tendrá comunicación con el coordinador de la red y no con los otros dispositivos finales. Es decir que de acuerdo a la estructura física del hospital, en cada cuarto de los pacientes estará ubicado un end device ZigBee, que registrará los valores de la señal ECG. Cuando las señales transmitidas del equipo ECG llegan al dispositivo final, son nuevamente transmitidas a un módulo que estará ubicado en la central de enfermería que hará el papel de coordinador central de la red, este recibirá la información transmitida y podrá diferenciar las señales provenientes de cada paciente, por un esquema de direccionamiento definido.

Ya en la configuración de la topología, 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.

Frecuencia de muestreo y resolución.

En lo que se refiere a la parte de cálculos partimos de establecer a la frecuencia de muestreo para la adquisición del ECG en 250 Hz y que el convertor A/D mínimo requerido será de 12 bits, por lo tanto:

$$\text{Bit rate ECG} = 250 \text{ HZ} * 12 \text{ bits} = 3 \text{ kbits /seg}$$

Por lo tanto se requiere 3 Kbps por cada paciente. La capa física y la capa MAC requieren 133 bytes, por lo que:

$$\text{Bit rate ECG} = (3000/8) + 133 = 508 \text{ bytes}$$

Se requiere en total 508 bytes por cada canal o paciente.

Número máximo de dispositivos en la red.

Ya que la característica de los módulos permiten una velocidad de hasta 128kbps, entonces:

$$\text{Bit rate ECG} = (128000/8) = 16000$$

$$\text{Numero de dispositivos} = (16000/ 508) = 30 \text{ dispositivos.}$$

Por lo tanto se deduce que se puede manejar hasta 30 dispositivos como máximo, esto incluye coordinadores, routers y dispositivos finales.

Velocidad de comunicación RS232C

Como último se sugiere que la velocidad para la interface UART sea la mínima que comprenda todo el ancho de banda de ZigBee, es decir mayor a 256 Kbps.

Cálculo de la distancia. Atenuación de la señal según el modelo de Friss

Toda señal, al ser transmitida a través de un canal, sufre una pérdida de potencia que depende del medio por el cual transita, limitando las conexiones a largas distancias, ya que se puede distorsionar o introducir ruido a la señal original.

La atenuación normalmente se expresa en unidades logarítmicas (dB) y se obtiene utilizando la relación de calidad de señal recibida (RSS, received signal strength). En dispositivos completos es decir dispositivos finales de venta, la calidad de señal recibida es convertida a un indicador de señal de calidad recibida (RSSI) el cual se define como la relación entre la potencia de recepción y la potencia de referencia (P_{ref}), tal como muestra la ecuación 1. Típicamente la potencia de referencia representa un valor absoluto de $P_{ref} = 1\text{mW}$.

$$RSSI = 10 \cdot \log \frac{P_{RX}}{P_{Ref}} \quad [RSSI] = dBm$$

Ecuación 1: Cálculo de la calidad de la señal recibida

Fuente: www.imd.uni-rostock.de/.../2007_10_05_-_WISP2007_WeightedCentroidLocalizationInZigBee.pdf

En donde P_{RX} es la potencia en el receptor, dicha potencia está relacionada con varios factores que muestran la ecuación 2:

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Ecuación 2: Potencia del elemento receptor

Fuente: www.imd.uni-rostock.de/.../2007_10_05_-_WISP2007_WeightedCentroidLocalizationInZigBee.pdf

Donde:

P_{TX} = Potencia de transmisión

P_{RX} = Potencia consumida en el receptor

G_{TX} = ganancia de la antena del transmisor

G_{RX} = ganancia de la antena del receptor

λ = longitud de onda de la frecuencia del canal, generalmente valor de 0.125 mm

d = Distancia entre el transmisor y receptor

Para el caso analizado, en general las antenas tendrán ganancias de 1, el λ es de 0,125 mm por lo que la frecuencia en la que trabaja es de 2.4 GHz, y la potencia de transmisión es de 1 mW para el transceiver MRF24J40.

Sin embargo, en escenarios prácticos, la distribución ideal de P_{rx} no es aplicable, porque la propagación de la señal de radio interfiere con muchos elementos como reflexiones en objetos metálicos, superposición de campos electromagnéticos, difracción en los bordes, refracción por media con diferentes velocidades de propagación; etc. Estos efectos degradan la calidad de la P_{rx} determinada de forma significativa. De este modo, la caracterización es totalmente experimental. El presente diseño no contempla la experimentación, sin embargo se ejemplificarán resultados de proyectos similares.

Para manejar el concepto de P_{rx} se utiliza otro, el concepto de calidad del enlace (**LQI**: Link Quality Indicator), que viene definido en la norma de la IEEE 802.15.4 como una caracterización de la fuerza y/o la calidad del paquete recibido. La medida puede ser implementada usando una estimación de la potencia recibida, la señal a ruido o una combinación de ambos métodos. El uso de los resultados de LQI no es especificado en el estándar.

En el proceso de experimentación, para caracterizar la distancia, se parte de un modelo en el cual figura un nodo transmisor y un nodo receptor. El dispositivo transmisor envía tramas continuamente al nodo receptor a la potencia de transmisión que el nodo receptor le indica. El dispositivo receptor es el encargado de estimar la distancia entre él y el transmisor en función de los datos que adquiere de las tramas enviadas por este. Para ello toma varios valores de LQI y promedia un valor medio que será el considerado.

Como conclusión de la experimentación se puede decir que para las distintas P_{tx} (potencia de transmisión), el nivel de LQI medido en función de la distancia descende conforme aumenta la distancia entre emisor y receptor. Para los niveles altos de potencia recepción, los valores de LQI obtenidos son altos, la sensibilidad es menor pero el alcance es mayor. Para valores bajos ocurre lo contrario. Para cada valor de P_{tx} se estiman valores diferentes, luego para cada uno de ellos existe una tendencia que difiere de las otras en los parámetros. Al conjunto de puntos asociados con cada nivel de P_{tx} se le calcula la tendencia logarítmica. Esa ecuación será la referencia a consultar por el nodo receptor (ante un valor de LQI y un valor de P_{tx} dados) para estimar la distancia. Por supuesto, el dispositivo receptor debe conocer y controlar el nivel de potencia de transmisión del otro dispositivo.

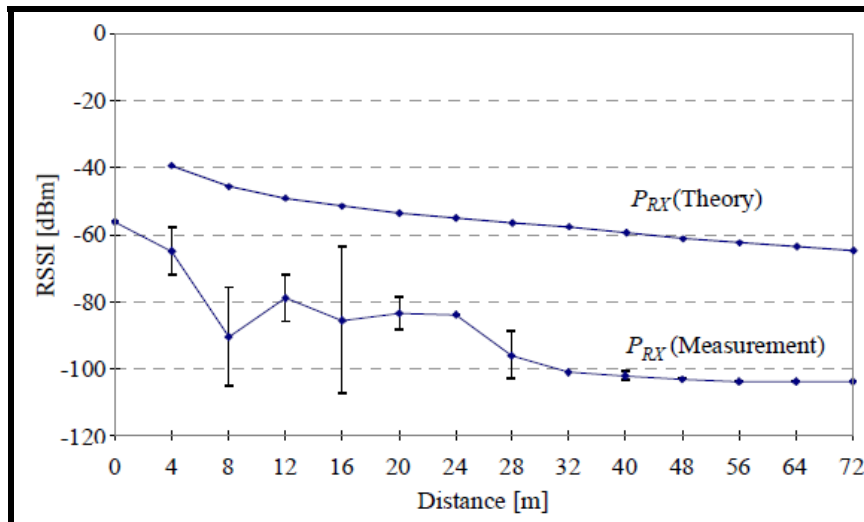


Ilustración 15: Atenuación de dispositivos ZigBee en función de la distancia

Fuente: www.imd.uni-rostock.de/.../2007_10_05_-_WISP2007_WeightedCentroidLocalizationInZigBee.pdf

En la ilustración 15, se muestra al RSSI como un identificador de la calidad de la señal de potencia recibida P_{rx} en función de la distancia en metros. La curva inferior muestra el RSS de un nodo Chipcon CC1010, muy similar al MRF24J40, que es el que se usa para el presente. En este caso, los transceivers a emplear de Microchip© tienen características como rango RSSI de 50 dB, una potencia típica de salida de 0 dBm con 36 dB para el control de rango de la potencia de transmisión.

4.3 Elementos de procesamiento

Una vez estudiado de forma detallada el medio de transmisión que se usará para llevar a cabo este tipo de proyecto, se debe realizar una búsqueda exhaustiva de los dispositivos que se encuentran en el mercado.

Antes de empezar la búsqueda, se especifican cuáles son los principales componentes y sus características que serán beneficiosas para la implementación, y de forma esquemática una ilustración inicial de cómo debe estar compuesto el circuito impreso (PCB, *Printed Circuit Board*). Los componentes para la implementación del proyecto son los siguientes:

- Micro controlador: Estará compuesto por una CPU (*Central Processing Unit*), una memoria y puertos de E/S. El micro controlador hará las tareas de recepción de los datos extraídos por los sensores, procesarlas y mandarlas hacia el transceiver. Dentro de este componente se encuentra un módulo de conversión A/D, con el cual se digitalizará la señal de ECG. Se debe mencionar también que el “micro” deberá ser compatible con ZigBee, es decir que sea apto para instalar y programar el ZigBee Stack. La familia del micro controlador dsPIC30f3014, ver ilustración 16, es la más apropiada para la ejecución del proyecto ya que cuenta con ventajas que se acoplan al sistema a implementar, como son:

- Acepta programación y compilación bajo C++
- Arquitectura de 16 bits
- Módulos SPI
- Dos módulos UART con buffers FIFO
- Conversor (A/D) de 12-bits con:
- velocidad de conversión 100 Ksps (muestras/segundo)
- Hasta 13 canales de ingreso
- Tecnología CMOS de bajo consumo
- Rangos de temperaturas de nivel industriales para exteriores.

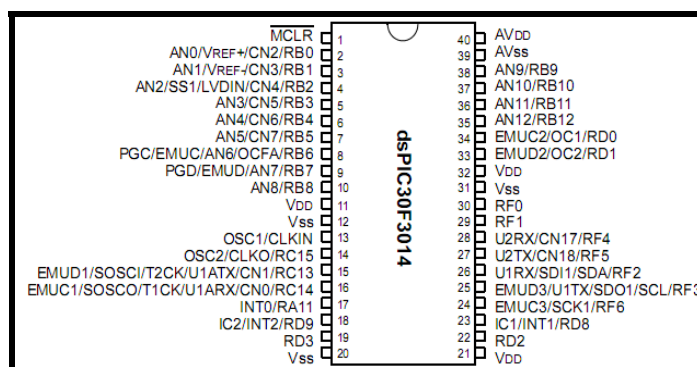


Ilustración 16: Diagrama de pines del dspic 30f3014

Fuente: MICROCHIP 30F3014 DATA SHEET

Dadas las características de esta familia de microcontroladores, es necesario decir que los recursos que llevaron a la elección de este radican en el módulo A/D de 12 bits el cual ya es suficiente para trabajar con la señal electro cardiográfica. Además la programación puede correr bajo C++ lo que implica un proceso más sencillo de programación. La arquitectura de

16 bits lo hace lo suficientemente rápido y confiable en el procesamiento de los datos. El módulo SPI (Interface Serial para Periféricos) quizá es lo más indispensable en el micro ya que es la manera en cómo se comunicará con el módulo inalámbrico. La tabla 7 describe las funciones principales que se usan de estos microcontroladores.

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN12	I	Analog	Analog input channels. AN6 and AN7 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI1.
SDI1	I	ST	SPI1 Data In.
SDO1	O	—	SPI1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI1 Slave Synchronization.

Tabla 7: Descripción de pines del dspic 30f3014

Fuente: MICROCHIP 30F3014 DATA SHEET

- Equipo ECG: será el elemento encargado de capturar las mediciones cardiacas. La selección y estudio de estos dispositivos queda fuera de este proyecto a pesar de ser la fuente de datos, por lo tanto no se profundizará en detalles.
- SPI (*Serial Peripheral Interface*): será el bus que se usará para conectar el micro controlador con el transceiver.
- PSU (*Power Supply*): será necesaria la presencia de una pila para mantener operativos los componentes detallados anteriormente.

4.4 Construcción física.

Una vez detallados los dispositivos necesarios, se especifican las características y condiciones que deben cumplir para poder utilizarlos. Las condiciones van acorde con el tipo de proyecto que se pretende llevar a cabo. Dejando de lado que deben ser compatibles con ZigBee, condición indiscutible para poder plantearse su utilización, los principales requisitos impuestos son los siguientes:

- **Tamaño reducido:** tratándose de un proyecto que se basa en la realización de medidas en diferentes partes del cuerpo, los dispositivos que deben efectuar las operaciones de medida y envío de datos deben ser lo más pequeños posibles. Por ello se han de descartar elementos de gran tamaño (hablamos de elementos que no deben superar los 2-3cm) y por consiguiente de mayor peso (se prefieren dispositivos lo más ligeros posible). Se trata de una de las condiciones primordiales ya que componentes voluminosos incomodarían al paciente y a su vez dificultarían la manera de medición.
- **Solución completa:** con ello se refiere a encontrar una PCB que incluya tanto el transceiver como el microcontrolador. A parte de facilitar el trabajo en el momento de búsqueda de los distintos dispositivos compatibles unos con otros, una solución completa ayudaría a cumplir con la condición anterior, puesto que vendrían integrados de fábrica todos los componentes y probablemente el tamaño sería el más reducido posible.
- **Bajo consumo:** no se trata de una de las condiciones más importantes para cumplir ya que ZigBee se caracteriza por su bajo consumo. De todos modos, al incorporar la pila a la PCB se contempla este punto.

Se ha optado por trabajar con dispositivos Microchip© por cuestiones de precios, están disponibles en el medio y además la programación es familiar, ya que básicamente sería la codificación de un micro controlador. Características como el tamaño y el consumo también fueron tomadas en cuenta para la selección. A continuación, en la tabla 8, se muestra una comparativa de varios fabricantes de tecnología ZigBee.

	XBee Pro		EasyBee	AMPEDRF	Microchip	ATMEL	Texas Instrument
	XBee	XBee-PRO					
Tamaño (cm) [LxWxH]	2.43 x 2.76	2.43 x 3.29	2.6 x 2	2.7 x 1.5	1.78 x 2.79		3 x 2 x 0.1
Peso	3gr	3gr	-	-		-	-
Transceiver	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí (AT86RF230)	Sí (CC2500)
Micro	No	No	No	Sí	Sí	Sí (ATmega1281)	Sí (MSP430F2274)
Consumo Rx	40mA	45mA	20mA	25mA	19 mA	15.5mA	13.3mA
Consumo Tx	40mA	295mA	18mA	50mA	23 mA	16.5mA	21.2mA
Pila	2.1-3.6V	3.0-3.4V	2.1-3.6V	3.3V	3.3V	3.6V	3.6V
Potencia salida	1.25-2mW	10-50mW	1mW	1mW	2 - 3 mW	4mW	1mW

Tabla 8: Comparativa de módulos ZigBee

Fuente: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/944/94411386009.pdf>

4.5 Descripción funcional.

Comunicación módulo – micro controlador.

Como se mencionó, tanto el transceiver inalámbrico como el micro controlador son de la casa fabricante Microchip, lo que permite que la comunicación entre ellos sea más sencilla ya que son parámetros comunes que los dos dispositivos manejan

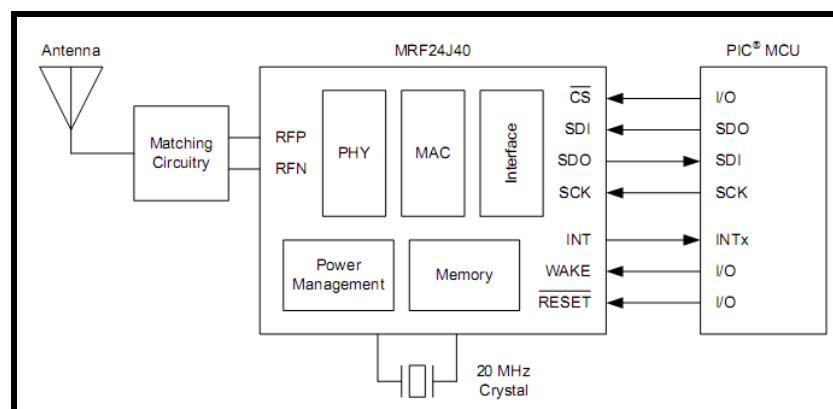


Ilustración 17: Conexión micro controlador – módulo

Fuente: DATA SHEET MRF24J40

Como se muestra en la ilustración 17 el micro controlador se conecta con el transceiver MRF24J40 mediante el bus SPI (SDO, SCK y SDI). El micro controlador es el máster SPI y el transceiver actúa como esclavo. La antena puede ser dipolo o de cualquier otro tipo, en este caso es una antena PBC. Los transceivers RF de Microchip se alimentan con 3.6 v. Dependiendo de la aplicación puede usarse baterías o pilas que suministren ese voltaje.

ZENA.

Zena es el software que microchip provee para realizar el análisis de red, la configuración de los módulos inalámbricos y es el que se usará en el proyecto. ZENA PC contiene herramientas para crear archivos de configuraciones específicas para ciertas aplicaciones. Una gran ventaja es que Zena genera el código C partiendo de una configuración totalmente gráfica basada en opciones y parámetros. El programa tiene la habilidad de analizar el tráfico de red previamente capturado y que además trabaja en tiempo real. En la ilustración 18 se muestra el entorno de desarrollo ZENA.

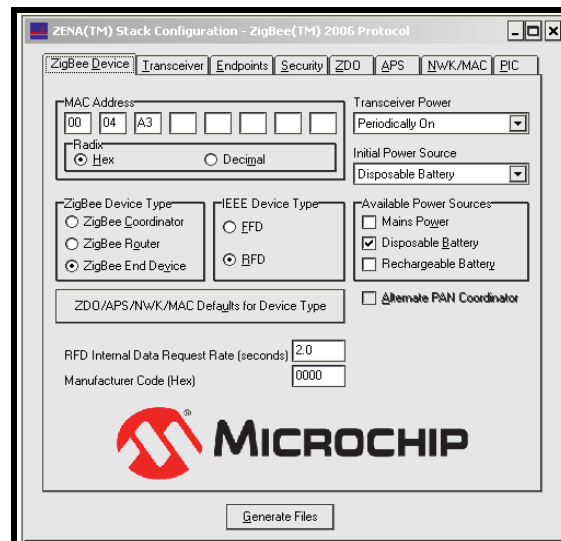


Ilustración 18: Software Zena para la programación del módulo inalámbrico¹¹

Fuente: Autores

¹¹PANEL FRONTAL DEL SOFTWARE ZENA

Diseño del firmware de los transceiver MRF24J40MA con Zena.

Mediante Zena se configura los principales parámetros necesarios en los transceivers MRF24J40MA, de una manera sencilla y en un entorno gráfico de fácil manejo para el usuario.

Como parámetros principales a tomar en cuenta en la configuración de los módulos con Zena, se destacan:

ZigBee device.

- *ZigBee device type*: selecciona el tipo de dispositivo, es decir si va a funcionar como router end device o coordinador.
- *MAC Address*: es la dirección MAC del dispositivo. Por defecto los primeros pares ya viene dados por Microchip. Aquí es donde se define el direccionamiento de todos los elementos y su interacción ordenada en la red.
- *Transceiver Power*: selecciona el tiempo de encendido del dispositivo. Puede ser permanente o periódico y está en función del tipo de aplicación, para este caso conviene que estén siempre encendidos.
- *Inicial power source*: permite seleccionar el tipo de fuente, como ser alimentación principal de la red, con pilas recargables o normales.

PIC

- *Target device*: Selecciona el microcontrolador a emplear, su frecuencia de trabajo y el *baudrate* del UART.

Cabe destacar que estos son los requerimientos fundamentales del programa, Zena posee más funciones que están fuera del alcance de este proyecto. Luego de configurar lo necesario en Zena, se genera un archivo en código C el cual se puede abrir desde MPLab y enlazarlo con el firmware del micro controlador.

Diagrama de flujo del firmware para el controlador 30f3014.

La ilustración 19 presenta un diagrama de flujo de las funciones básica que el firmware del controlador llevará a cabo.

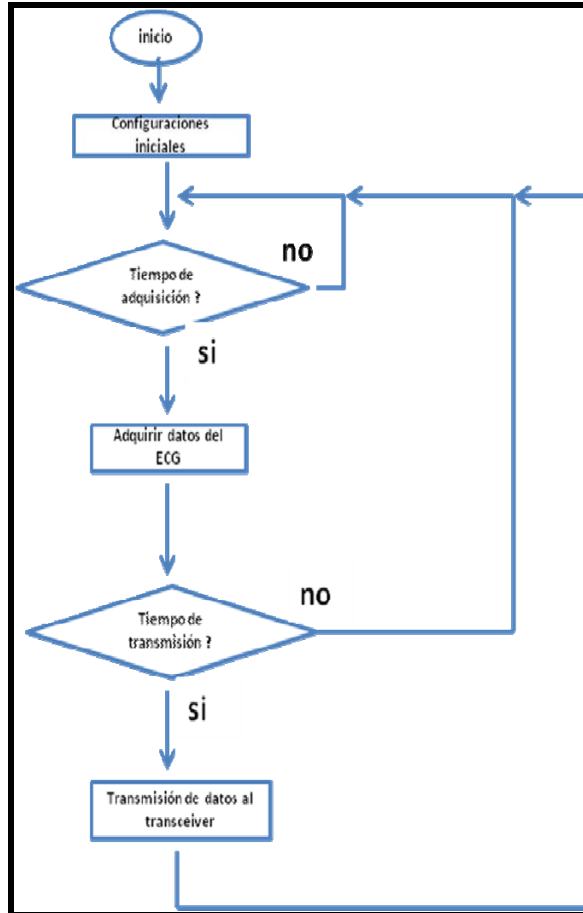


Ilustración 19: Diagrama de flujo para el dspic 30f3014¹²

Fuente: Autores

Como muestra la ilustración 19, lo que más interviene en la programación del controlador es la adquisición y transmisión de la información es decir el módulo A/D y el módulo SPI. El tiempo de adquisición de los datos del ECG se calcula con el inverso de la frecuencia de muestreo de 250 Hz, es decir cada 4 milisegundos. El tiempo de transmisión de los datos al transceiver es mucho más amplio, en un valor cercano a un segundo.

¹² Véase el anexo “ Programación del micro controlador 30F3014

4.6 Sistemas SCADA.

Para la visualización y almacenamiento de los datos adquiridos y transportados por el sistema, es necesario desarrollar un software amigable y sencillo de manejar. Es así que se optó por el ambiente visual de Labview.

El primer paso es definir las magnitudes a mostrar y almacenar, en este caso señales ECG. Como ventaja principal está el uso de variables compartidas (Shared variable), como se muestra en la ilustración 20.



Ilustración 20: Variables compartidas

Fuente: <http://personal.redestb.es/efigueras/memoria.htm>

Como características y ventajas principales del programa estarán:

- Registro Automatizado
- Motor de Alarma
- Tiempo Real y tendencia histórica
- Administrador de Seguridad
- Conectividad Empresarial
- Bases de datos

Alarmas.

Como se mencionó al inicio, las alarmas que se implementarían son para los casos extremos de bradicardia y taquicardia, cuyos valores se muestran en la tabla 9.

Parametro	Valor	Alarma
Pulsos	>80	Taquicardia
Pulsos	<60	Bradicardia

Tabla 9: Valores para alarmas

Seguridad.

Es necesario que el manejo de la información maneje un nivel de seguridad para el acceso a la misma. Es así que como parte del software se tomará en cuenta usuarios y contraseñas.

Red y conectividad.

Aunque en el presente no se realizó configuraciones para llevar la información a la red, Labview lo permite con un poco más de desarrollo e investigación.

Registro.

Los datos son almacenados en tiempo real en un archivo de reportes que puede ser tanto en Excel como un archivo de texto y que no necesita de código adicional. Además el almacenamiento será automático es decir mientras corra o este el programa en ejecución la información se estará almacenando.

El registro de la señal ECG no es continuo ya que conlleva demasiados recursos de memoria del CPU, sin embargo se plantea que la grabación de la señal sea manual y monitoreada por el usuario. Para dicha acción el panel frontal está dispuesto con la opción de grabar detener y además de mostrar el tiempo que lleva la grabación de la señal.

Se deberá almacenar los siguientes datos por cada paciente:

- *Información general*
 - o *Nombre*
 - o *Apellidos*
 - o *Teléfono*
 - o *Fecha de nacimiento*
 - o *Sexo*
- *Tabla de PATOLOGIAS que tiene los siguientes campos:*
 - o *Código de alarma*

- o Hora y día de la alarma
- o Descripción
- Tabla de INCIDENCIAS que tiene los siguientes campos:
 - o Fecha de ingreso
 - o Fecha de alta.

4.7 Presupuesto

El análisis de costo se ha basado en los siguientes índices:

- Costos de hardware.
- Costos de desarrollo.

Costos de hardware.

Los valores que se presentan a continuación fueron obtenidos en CORPOIMPEX ubicado en la ciudad de Cuenca en las calles Alfonso Jervez y la Av. Huayna-Capac. Se hizo una comparación con los precios directos de la casa fabricante mostrados en la página web de Microchip, tal como se observa en la tabla 10.

Descripción	P. unitario(Microchip)	P. en 100 unidades	P. unitario(localmente)	P. en 100 unidades
dspic30f3014	4,62	3,82	7,85	6,73
MRF24J40MA	18,95	18,95	20,75	20,75
Componentes				
placa madre	10,00	8,50	7,00	5,95
PCB placa madre	20,00	20,00	18,00	18,00
MAX 232	0,75	0,64	1,25	1,06
TOTALES /				
MÓDULO:	54,32	51,91	54,85	52,49

Tabla 10: Cotizaciones de los módulos

Fuente: Autores

Costos de desarrollo.

Se presenta en la Tabla 11 varias opciones de programadores para los micro controladores.

Descripción	P. unitario(Microchip)	P. unitario(localmente)
Pic kit II	35,00	65,00
Pic kit III	45,00	116,25
MPLABICD2	116,00	216,00

Tabla 11: Cotizaciones de los programadores

Fuente: Autores

Para el desarrollo del visor y de la base de datos es necesario plantear los costos que se muestran en la tabla 12:

Descripción	Unidades	P. unitario (\$)
Licencia de desarrollo para Labview	1	2500
Licencia de aplicación para Labview	1	
PC + monitor	1	800
Cable RS232C	1	9,00
TOTAL :		3309

Tabla 12 : Cotizaciones de licencias de software

Fuente: Autores

La tabla 13 indica los costos por mano de obra:

Descripción	Profesional 1 (\$)	Profesional 2 (\$)
Instalación	100	100
Diseño de software	500	500

Tabla 13: Cotizaciones para mano de obra

Fuente: Autores

Una vez detallados todos los costos se procede a realizar los cálculos para el presupuesto final que se muestra en la tabla 14.

Costos (unidad producida)	
<i>Materia prima</i>	
Componentes de módulos	54.85
PC + Pantalla de visualización	800,00
MPLABICD2(Quemador)	216,00
Cable RS232C	9,00
Licencias por desarrollo por computadora	**** se está prorrateando para 10 unidades de ventas proyectadas **** 250,00
Licencias para aplicación por computadora	
<i>Mano de Obra</i>	
2 Profesionales (Diseño e instalación)	1.200,00
<i>Gastos de fabricación</i>	50,00
TOTAL COSTO / UNIDAD	2.575,00
Ingresos	
<i>Precio de venta</i>	
Costo de fabricación	2.575,00
.+ 10% utilidad	257,50
TOTAL precio de venta:	2.832,50
Capacidad de producción	
2 Unidades mensuales	

Tabla 14: Presupuesto final

Fuente: Autores

El presupuesto como se muestra está diseñado para una estación de monitoreo remota, es decir para un paciente, claro que debe aumentarse el valor de \$ 54.85 por cada paciente más que se requiera.

En el mercado se encuentran diversos modelos de equipos y sistemas a los cuales el proyecto busca sustituir. Tomando como referencia el sistema Infinity Multiview Work Station de Siemens, el proyecto presenta una ventaja considerable en lo que se refiere al valor final y al valor de instalación. El sistema alemán no especifica un costo exacto únicamente del sistema de transmisión y de base de datos, el precio final incluye equipos completos, los cuales se encuentran sobre los veinte mil dólares, en comparación de los 2832 dólares de la propuesta planteada, esto representa un beneficio.

Además el proyecto está diseñado para ser implementado en equipos ya existentes, como por ejemplo en el área de clínica del hospital del IESS, en donde cuentan con equipos ECG que imprimen localmente la información. Los equipos de este hospital son Schiller at 1 como ya se dijo, cada uno tiene un costo aproximado de 1200 dólares. Lo que el proyecto busca es utilizar estos mismos equipos costosos e implementarlos para que muestren la información remotamente y conseguir un sistema automatizado usando la inversión previamente hecha. Es un valor agregado sumamente importante para los centros de salud y de gran ayuda para el personal que ahí labora.

Como se mencionó el proyecto está dispuesto para trabajar en diversas áreas de los hospitales, sin embargo se investigó que la prioridad está en las salas de Cuidados Intensivos. Por ejemplo recientemente el Hospital Vicente Corral Moscoso fue equipado por el gobierno con 12 instrumentos para la sala de cuidados intensivos. Estos equipos son sumamente caros y no tienen ningún sistema centralizado para su monitoreo, es decir no se está aprovechando al máximo las capacidades de los equipos. En el campo local de Cuenca dispone de 15 Hospitales y 14 Clínicas de los cuales casi todos tienen una sala de cuidados Intensivos o un área de clínica, es decir el mercado en Cuenca es amplio para la venta del producto. Por decir el Hospital del Río cuenta con salas de Cuidados Intensivos de neo natos, en donde las situaciones pueden volverse sumamente críticas en un segundo, por lo que un monitoreo remoto se hace imprescindible.

5. APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestra como sería la distribución dentro del hospital (ver ilustración 21) de todos los equipos que se han mencionado incluyendo los end devices (ED) el coordinador y la PC para mostrar la información.

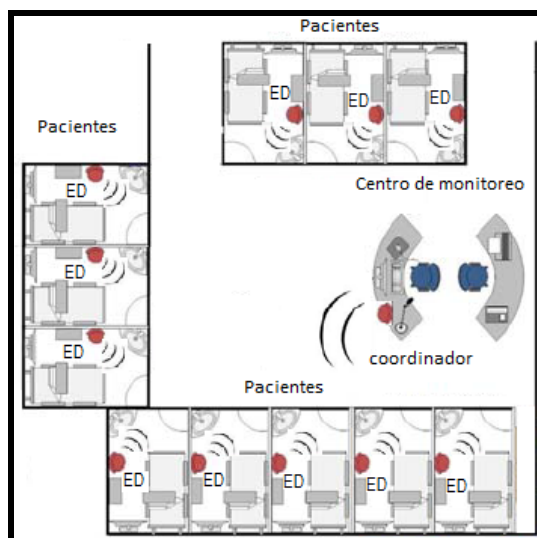


Ilustración 21: Diseño de la red en el espacio físico del hospital.

Fuente: <http://rosario2009.sabi.org.ar/uploadsarchivos/p10.pdf>

El diseño final describe varios procedimientos como son el adquirir, acondicionar y digitalizar la señal ECG. La topología de la red es en estrella como se dijo ya que 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 al dispositivo final a través de la interfaz. La conexión de los dispositivos finales con el equipo de ECG es directa, es decir la conexión con la circuitería interna del equipo y puede ser con cable multipar pero de gran calidad. En la ilustración 21 y 22 se muestra el diseño final visto sobre un plano optativo de un hospital y de cada habitación.

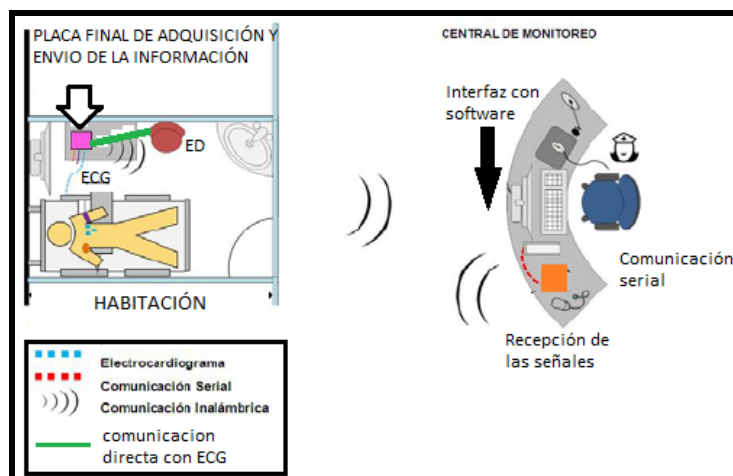


Ilustración 22: Diseño de la red en cada habitación

Fuente: <http://rosario2009.sabi.org.ar/uploadsarchivos/p10.pdf>

Una vez definida como va a ser la disposición física de los elementos, el siguiente paso es mostrar lo que podría ser el módulo final tanto el end device como el coordinador. En la figura 23, 24 y 25 se muestra el módulo final recordando que este incluye el transceiver, y el micro controlador. Además el módulo también incluye la antena pcb.

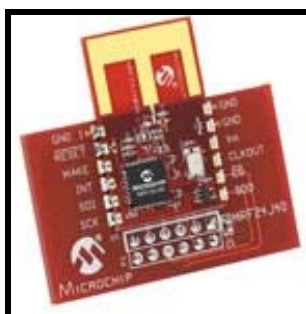


Ilustración 23: Transceiver MRF24J40MA con conexión al micro controlador

Fuente: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/944/94411386009.pdf>

Lo siguiente es una breve descripción acerca de las principales funciones que debe realizar el coordinador de la red ZigBee, y a su vez aquellos procedimientos que se deben programar específicamente para este proyecto.

Las funciones básicas que se encuentran en la programación de un coordinador para una red ZigBee son las de creación de direcciones y de la inicialización de la

unidad de control de los enlaces. La función de creación de direcciones es fundamental a la hora de inicializar la red, puesto que para que sea posible la comunicación entre un dispositivo final (ED) y coordinador (CO) ambos deben estar identificados de algún modo. También se debe mencionar que se requiere una variable que almacene estas direcciones. En segunda instancia se tiene el procedimiento de inicialización de la unidad de control para los enlaces. Aquí se realiza la configuración y calibración del controlador, tanto la velocidad de transferencia como la velocidad de procesamiento.

Una vez realizados los dos procedimientos anteriores, el nodo central está dispuesto a inicializar la red. Una vez comentados todos los procedimientos que debe realizar el CO antes de poder interactuar con los nodos de la red, se describe las otras funciones que se han programado específicamente para el proyecto. Estas dos funciones son: preparación del envío y la transmisión del mensaje (mensaje + longitud).

La primera de estas dos funciones se encarga de la preparación del envío. En este procedimiento se lee la información a ser transmitida. La segunda función realiza la transmisión de la información.

En lo que se refiere a la programación de los end devices¹³, se dirá que el primer procedimiento a realizar es la generación de direcciones e inicialización de la unidad de control para los enlaces multipunto.

Una vez realizadas estas dos operaciones, el programa creará un enlace con el nodo central de la red (coordinador). Creado el enlace ya es posible el envío de paquetes de datos.

Se debe declarar dos buffers de almacenamiento, y a su vez dos variables que indican cuál de los dos buffers se está utilizando y cuál de los dos buffers se está enviando. El motivo ha sido el poder asegurar que mientras se envían datos hacia el coordinador, los datos que siguen llegando al ED desde el ECG no se pierdan.

¹³ Dispositivo final Zigbee de características limitadas

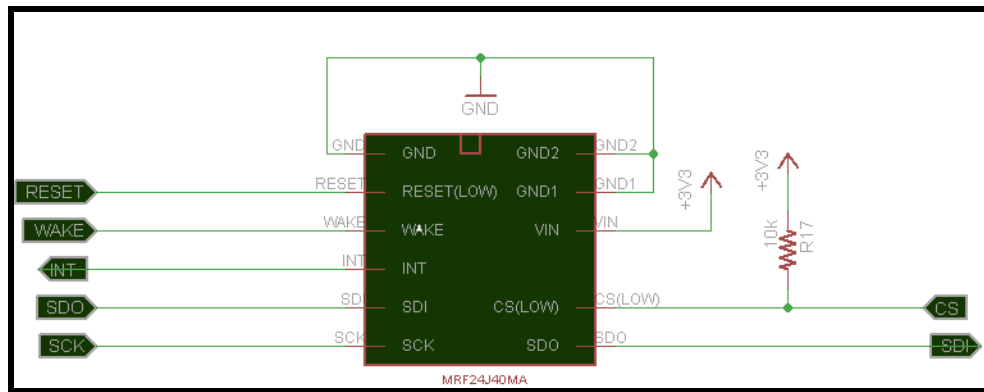


Ilustración 24: Diagrama de conexión transceiver-microcontrolador

Fuente: www.edaboard.com/ftopic386702.html

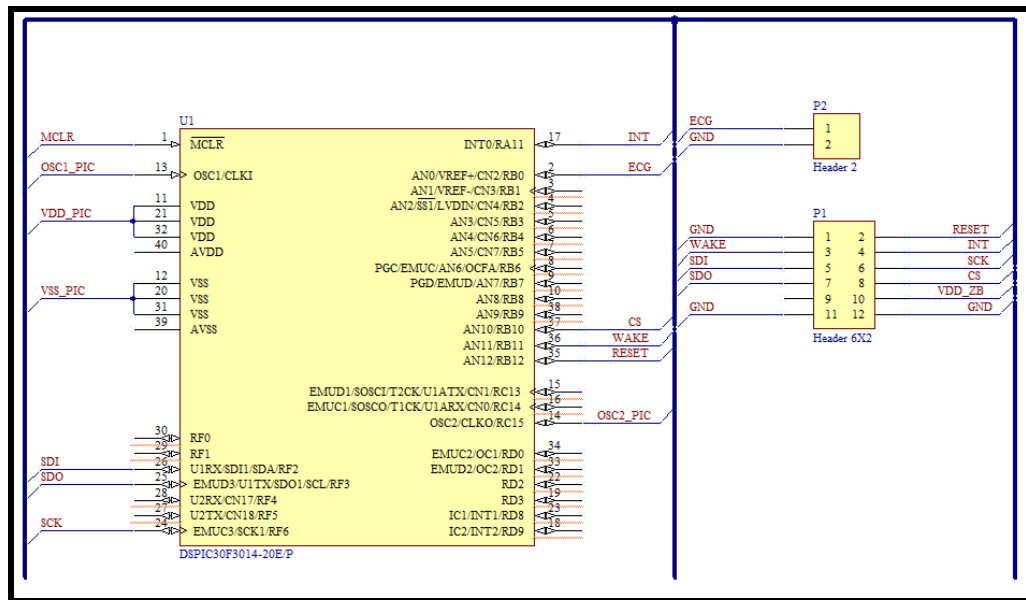


Ilustración 25: Diagrama esquemático de conexión del micro al transceiver

Fuente: Autores

El transceiver MRF24J40 necesita, además un circuito de interface¹⁴ formado en su mayoría por elementos pasivos, para su funcionamiento.

Software de monitoreo.

Como última etapa del proyecto está el desarrollo de software para la visualización y almacenamiento de la información. El programa comienza solicitando un registro

¹⁴ Véase el anexo "Circuito de interface del MRF24J40MA"

de usuario lo que se muestra en la ilustración 26. Puede clasificarse el acceso de nivel de información a mostrar de acuerdo al nivel de usuario.

Lo siguiente en ejecutarse es un cuadro de dialogo (ver ilustración 27) en donde se preguntará al usuario si desea ingresar un nuevo paciente o si desea ingresar al visor principal de todos los pacientes actuales. En caso de ingreso de nuevo paciente, se llena el formulario de la ilustración 28, al pulsar “aceptar” se grabarán los datos del paciente y consecuentemente aparecerá el visor principal, mostrado en la ilustración 29.

En el panel principal se visualiza cuantos pacientes se encuentran atendidos. En general se mostrará el nombre y número de cuarto o cama de cada uno como se muestra en la ilustración 30. Aquí también se ve la opción de almacenar la señal y el tiempo que la misma lleva almacenándose. Además en la opción historial clínico, se visualiza la información que se almacenará, de manera particular, los códigos de alarma con su descripción y datos personales del paciente, ver ilustración 34.

Paso 1: Registro

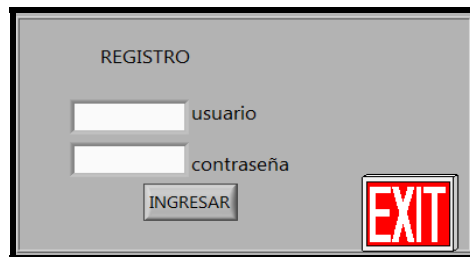
Ilustración 26 es una ventana de registro con un fondo gris. En la parte superior, el título "REGISTRO" está centrado. Debajo del título, hay dos campos de entrada de texto: el primero está etiquetado como "usuario" y el segundo como "contraseña". Debajo de estos campos, hay un botón rectangular con el texto "INGRESAR". A la derecha del botón "INGRESAR", hay un botón rectangular con el texto "EXIT" en letras blancas sobre un fondo rojo.

Ilustración 26: Seguridad de acceso para el monitoreo

Fuente: Autores

Paso 2: Opciones iniciales

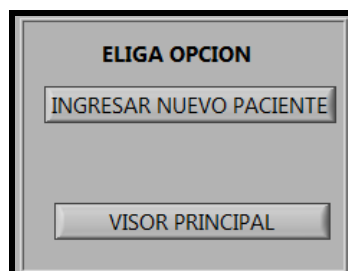
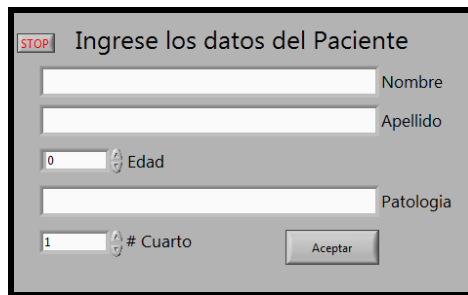
Ilustración 27 es una ventana con un fondo gris. En la parte superior, el título "ELIGA OPCION" está centrado. Debajo del título, hay dos botones rectangulares. El primer botón está etiquetado como "INGRESAR NUEVO PACIENTE" y el segundo botón está etiquetado como "VISOR PRINCIPAL".

Ilustración 27: Opciones principales

Fuente: Autores

Paso 3 (opcional): Ingreso de nuevo paciente



Formulario de ingreso de nuevo paciente. El formulario tiene un botón rojo "STOP" en la esquina superior izquierda. El título es "Ingrese los datos del Paciente". Hay campos de texto para "Nombre", "Apellido" y "Patología". Hay un campo de texto para "Edad" con un valor predeterminado de "0". Hay un campo de texto para "# Cuarto" con un valor predeterminado de "1". Hay un botón "Aceptar" en la esquina inferior derecha.

Ilustración 28: Ingreso de nuevo paciente

Fuente: Autores

Paso 4: Visor principal

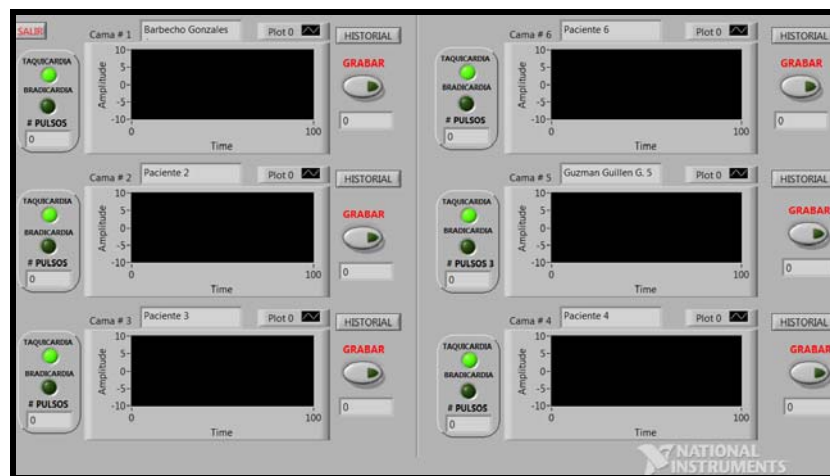
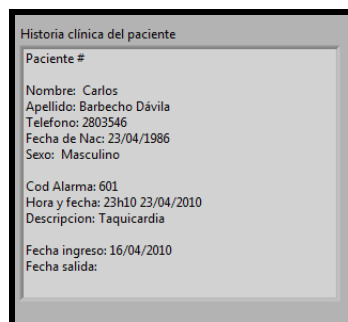


Ilustración 29: Panel principal del proyecto

Fuente: Autores

Paso 5: Información Clínica



Historial clínico del paciente. El formulario muestra la siguiente información:

- Paciente #
- Nombre: Carlos
- Apellido: Barbecho Dávila
- Telefono: 2803546
- Fecha de Naci: 23/04/1986
- Sexo: Masculino
- Cod Alarma: 601
- Hora y fecha: 23h10 23/04/2010
- Descripcion: Taquicardia
- Fecha ingreso: 16/04/2010
- Fecha salida:

Ilustración 30: Historial clínico (información a almacenar)

Fuente: Autores

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para concluir este estudio, se puede tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Desde el punto de vista tecnológico, se vio que ZigBee es el dispositivo adecuado para este tipo de proyecto, debido a su bajo costo, bajo consumo y a la tasa de bits de transmisión, lo cual, en teoría, permite conectar hasta 30 dispositivos a la vez, para su monitoreo, ya que 256kbps son suficientes para la transmisión de una señal de ECG de punto a punto.

Su implementación directa a equipos de electrocardiografía existentes, no compromete la vida de las baterías de los mismos, ya que su consumo es mínimo, y a su vez, es una alternativa económica, en comparación con las tecnologías inalámbricas competidoras.

Se escogió la solución de Microchip, debido a la facilidad que implica el desarrollo en sus dispositivos, y también que hay casas representantes en el medio, lo cual facilita su adquisición. En cuanto a sus prestaciones técnicas, se puede decir que la combinación PIC Transceiver de Microchip, consumen muy poca corriente, y cumplen con los requisitos mínimos de este proyecto, como ser:

- Distancia de propagación de 30m.
- Resolución del A/D de 12 bits.
- Módulo SPI para comunicación PIC-Transceiver.
- Módulo UART para la comunicación con la PC.

El software ZENA resulta ser una herramienta muy útil, ya que genera plantillas en el lenguaje C, las mismas que contienen toda la configuración del transceiver, esto ahorra mucho tiempo de programación.

Las ventajas de SCADA como se sabe, recaen en la forma organizada de almacenar y presentar la información, de igual manera la gestión de alarmas y seguridad, que son aspectos de suma importancia cuando se trata del cuidado de un paciente.

Se vio también que la topología más conveniente a usar es estrella, debido a la naturaleza de la red, la cual no requiere de routers para el traspaso de la información.

Los equipos existentes en el mercado, orientados a las áreas de cuidados intensivos, también transmiten otras señales, lo que los hacen más complejos y

costosos, sin embargo, en el área de clínica, no justifica tener un equipo de estos, debido a que la situación de los pacientes no amerita de tanta información.

El presente proyecto es factible, debido a que su implementación permite hacer frente a otros equipos de la misma naturaleza que existen en el mercado, los cuales pueden ser adquiridos a precios mucho mayores que la inversión requerida para desarrollar el sistema propuesto.

Actualmente ningún hospital, o clínica de Cuenca, están provistos de sistemas de monitoreo inalámbricos, por lo que el mercado para el producto aun no ha sido explotado, se espera que a futuro haya una mayor demanda de los mismos, siguiendo la línea de la evolución tecnológica.

Recomendaciones:

Este proyecto está orientado a equipos de electrocardiografía que no cuenten con una conexión de red, por lo que se recomienda hacer su adaptación en los mismos, para su uso en las áreas de clínica, que son las áreas que no cuentan con equipos de monitoreo, a diferencia de cuidados intensivos.

ZigBee es una tecnología nueva, por lo que se espera, evolucione poco a poco, como se ha visto con otras tecnologías, hasta lograr su perfección. Se recomienda su estudio más profundizado e incentivar que las futuras generaciones lo usen como solución para comunicaciones inalámbricas.

Tecnológicamente el proyecto está en la capacidad de soportar más señales, como ser oximetría, temperatura, tensiometría, y otras, por lo que sería conveniente su estudio para una futura implementación, aunque esto implique una disminución de los dispositivos finales, de la red.

ZigBee es una red WPAN, es decir que originalmente está creada para pequeñas distancias, las casas fabricantes ofrecen dispositivos que cubren distancias de hasta 100m teóricamente, pero en la práctica no se ha comprobado la factibilidad de los mismos, por lo que se sugiere buscar medios alternativos de redes inalámbricas para proyectos que requieran cubrir distancias mayores a 30m.

Se recomienda también, buscar una solución USB para la transmisión PIC-PC de los coordinadores, debido a sus prestaciones.

El software de visualización podría ser desarrollado con el módulo DSC de Labview, lo que facilitaría enormemente su programación. En este proyecto no se contempló esta opción debido a que resultan costosas las licencias para el módulo DSC, sin embargo en caso de ser necesario podría reajustarse el presupuesto para incluir dichos costos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- IEEE, 2008, DESCRIPCIÓN DEL ESTÁNDAR DE COMUNICACIONES DE ÁREA PERSONAL IEEE 802.15.4 /“ZIGBEE”, España, [en línea],
http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/815/4/T10110CA_P2.pdf
- Faudot Barneda Ivan, 2008, ZIGBEE APLICADO A LA TRANSMISIÓN DE DATOS DE SENSORES BIOMÉDICOS, Universidad Autónoma De Barcelona (España), [en línea],
<http://www.recercat.net/bitstream/2072/13081/1/PFC+Ivan+Barneda.pdf>
- Microchip, 2006, MICROCHIP AN1232A - Microchip ZigBee-2006 Residential Stack Protocol, Chicago – E.E.U.U.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/ZigBee2006%20Application%20Note%20AN1232A.pdf>
- Domodesk, 2009, A FONDO: ZIGBEE, “El zumbido de las abejas, ZigBee”, España, [en línea],
<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>
- R. Fusté, Escola Politècnica Superior de Vilanova i la Geltrú (UPC), 2008, DISEÑO DE UN DISPOSITIVO REMOTO PARA LA SUPERVISIÓN DE SEÑALES VITALES, España, [en línea],
<http://www.upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.../Artículo%20del%20proyecto.pdf>
- Cuesta Estupiñán Paola - Paredes Huertas Andrea - López Ramírez Leonardo (Universidad Militar Nueva Granada), 2009, RED INALÁMBRICA MEDIANTE LA TECNOLOGÍA ZIGBEE PARA EL MONITOREO DE SIGNOS VITALES DENTRO DE UNA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS, Argentina, [en línea],
<http://rosario2009.sabi.org.ar/uploadsarchivos/p10.pdf>
- TRACNOVA S.A, 2000, CONSTRUYENDO UN SISTEMA SCADA CON LABVIEW, España, [en línea]. Disponible en Internet,

<http://www.tracnova.com/tracnova-Pub/scada%20construido%20con%20labview.pdf>

- Solé Figueras Enric - Escola Universitària de Informàtica Sabadell, 1999, DISEÑO DE APLICACIONES SCADA CON LABVIEW, Memoria del proyecto de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas, Barcelona-España, [en línea],
<http://personal.redestb.es/efigueras/memoria.htm>
- Blumenthal Jan, Grossmann Ralf, Golatowski Frank, Timmermann Dirk - Center for Life Science Automation Friedrich-Barnewitz - University of Rostock, 2007, Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks, Rostock – Alemania, Disponible en Internet,
www.imd.uni-rostock.de/.../2007_10_05_-_WISP2007_WeightedCentroidLocalizationInZigBee.pdf
- Jineth Quiroga Daniela – Soriano Carlos Andrés, 2008, IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA BLUETOOTH BIDIRECCIONAL, APLICADA A UN MOVIL MECANICO TERRESTRE OPERADO A TRAVES DE UNA INTERFAZ HUMANO – MAQUINA DISEÑADA EN JAVA, Colombia, Disponible en Internet,
www.udistrital.edu.co/.../ieee_proyecto_de_grado_original-1.doc
- Ramón Lobillo, J. M. Maestre, E. F. Camacho - Universidad de Sevilla, 2008, SISTEMA DE LOCALIZACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA ZIGBEE: APLICACIONES A DOMÓTICA, España, Disponible en Internet,
www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXIX/pdf/231.pdf
- Editorial Borrmart, 2005, SISTEMAS INALÁMBRICOS: LA SEGURIDAD ESTÁ EN EL AIRE, España, Disponible en Internet,
www.borrmart.es/articulo_redseguridad.php?id
- Santacruz Andrés Martín, Giménez Víctor Fabián - Universidad Nacional de Asunción, 2008, MONITOR ELECTROCARDIOGRÁFICO CON TECNOLOGÍA INALÁMBRICA ZIGBEE, Paraguay, [en línea],
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/944/94411386009.pdf>

- Soma Technology INC, 2007, DRAGER INFINITI GAMMA AND GAMMA XL, E.E.U.U, [en línea],
<http://www.somatechnology.com/pdf/files/drager-infiniti-gamma-xl.pdf>
- Microchip, 2008, MICROCHIP MRF24J40MA DATA SHEET, 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4™ RF Transceiver Module, Chicago – E.E.U.U., Disponible en Internet,
<http://pdf.efind.ru/33/70329a.pdf>
- Microchip, 2008, DSPIC30F3014, DSPIC30F4013 DATA SHEET, High-Performance Digital Signal Controllers, Chicago – E.E.U.U., Disponible en Internet,
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70138F.pdf>

8. ANEXOS

ANEXO 1

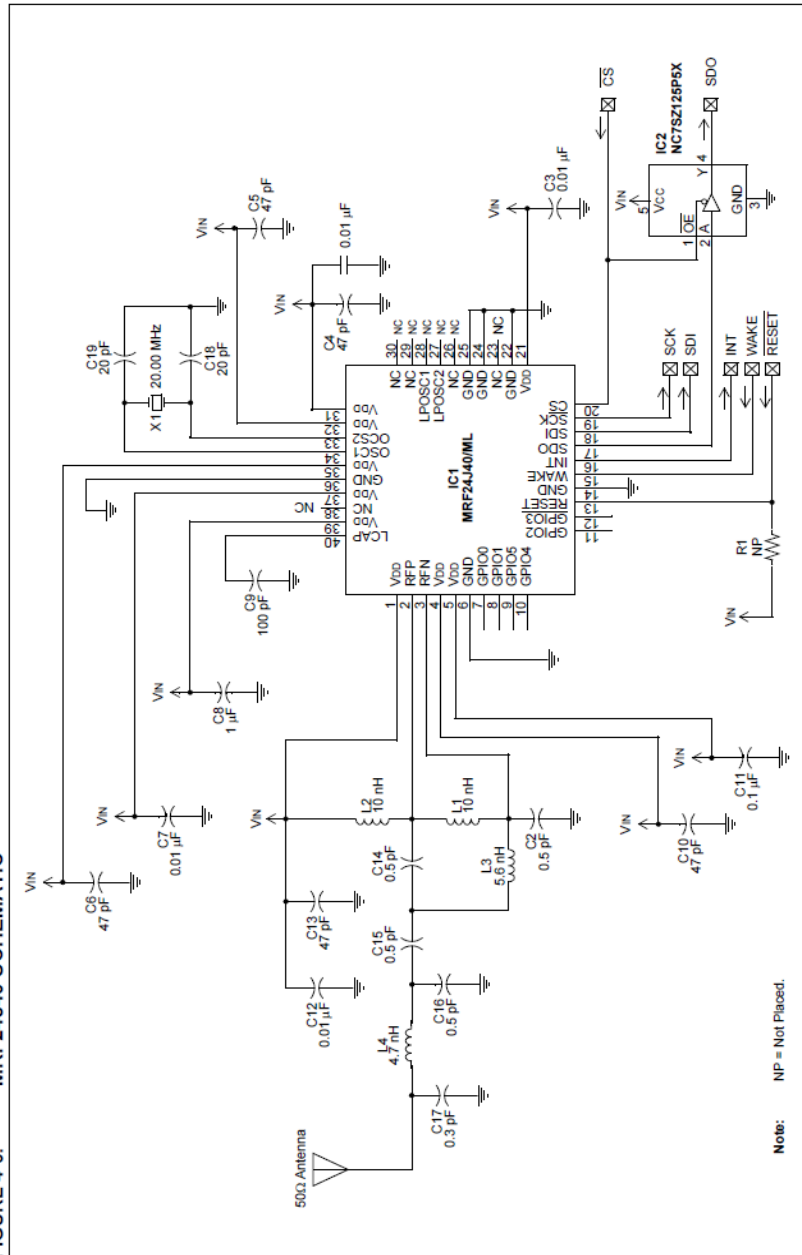
Circuito de interface del MRF24J40MA

MRF24J40

4.4 MRF24J40 Schematic and Bill of Materials

4.4.1 SCHEMATIC

FIGURE 4-6: MRF24J40 SCHEMATIC



ANEXO 2

Lista de materiales para el circuito de interface del MRF24J40MA

MRF24J40

4.4.2 BILL OF MATERIALS

TABLE 4-3: MRF24J40 BILL OF MATERIALS

Designator	Description
C2	Chip Capacitor 0402 COG 0.5P
C3	Chip Capacitor 0402 X7R 10N
C4	Chip Capacitor 0402 COG 47P
C5	Chip Capacitor 0402 COG 47P
C6	Chip Capacitor 0402 COG 47P
C7	Chip Capacitor 0402 X7R 10N
C8	Chip Capacitor 0402 X5R 1U
C9	Chip Capacitor 0402 COG 100P
C10	Chip Capacitor 0402 COG 47P
C11	Chip Capacitor 0402 X5R 100N
C12	Chip Capacitor 0402 X5R 100N
C13	Chip Capacitor 0402 COG 47P
C14	Chip Capacitor 0402 COG 0.5P
C15	Chip Capacitor 0402 COG 0.5P
C16	Chip Capacitor 0402 COG 0.5P
C17	Chip Capacitor 0402 COG 0.3P
C18	Chip Capacitor 0402 COG 20P
C19	Chip Capacitor 0402 COG 20P
IC1	MRF24J40-I/ML
IC2	Buffer, SC70 Package, NC7S7125PSX
L1	Chip Inductor 0402 10N
L2	Chip Inductor 0402 10N
L3	Chip Inductor 0402 5.6N
L4	Chip Inductor 0402 4.7N
R1	Not Placed
X1	20 MHz Crystal

Índice de Contenido

Resumen	2
Abstract	3
Resumen ejecutivo	4
1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO	8
1.1 Planteamiento del Tema y definición del alcance.....	8
1.2 Antecedentes.....	9
1.3 Justificación.....	9
1.4 Objetivo general.....	11
1.5 Objetivos específicos.....	11
2. MARCO CONCEPTUAL. BASES TEÓRICAS	11
2.1 Señal electrocardiográfica.....	11
2.2 Interpretación del ECG.....	12
2.3 Utilidades de diagnóstico del ECG.....	13
2.4 Técnica para realizar un ECG.....	14
2.5 ZigBee	15
2.6 Tipos de dispositivos.....	19
2.7 Características técnicas	20
2.7.1 Modos de funcionamiento de ZigBee	20
2.7.2 Con balizas	20
2.7.3 Sin balizas.....	21
2.7.4 Acceso al medio.....	21
2.7.5 Seguridad en el sistema.....	22
2.7.6 Topología estrella.....	22
2.7.7 Canales IEEE 802.15.4	23
2.7.8 Creación de una red.....	24
2.8 Comparativa con otros medios de transmisión de datos.....	25
2.9 Conversión ADC	28
2.9.1 Muestreo	28
2.9.2 Cuantificación.....	29
2.9.3 Codificación	29
2.10 Sistemas SCADA.....	30
2.10.1 Conceptos Fundamentales.....	30
2.10.2 Componentes de un sistema SCADA.....	31
2.10.3 Labview.....	32
2.10.4 Componentes en un sistema SCADA con Labview.....	33
3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA	33
3.1 Aspectos metodológicos	33
3.2 Etapas del proyecto	35

4. GESTIÓN DE PRODUCTOS.....	37
Procesamiento de la información levantada.....	37
4.1 Hospital del IESS	37
4.2 Conformación de la red Zigbee.	39
4.3 Elementos de procesamiento.....	44
4.4 Construcción física.....	46
4.5 Descripción funcional.	48
4.6 Sistemas SCADA.....	52
4.7 Presupuesto.....	54
5. APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
7. BIBLIOGRAFÍA.....	67
8. ANEXOS	70

Índice de tablas

Tabla 1 : Patologías cardíacas.....	14
Tabla 2: Frecuencias de canales IEEE 802.15.4	24
Tabla 3: Comparativa entre tecnologías inalámbricas	27
Tabla 4 : Cronograma de actividades	35
Tabla 5: Escalas del ECG Schiller AT-1 (IESS Cuenca).....	38
Tabla 6: Pines principales del módulo inalámbrico MRF24J40MA.....	40
Tabla 7: Descripción de pines del dspic 30f3014	46
Tabla 8: Comparativa de módulos ZigBee	48
Tabla 9: Valores para alarmas.....	53
Tabla 10: Cotizaciones de los módulos	54
Tabla 11: Cotizaciones de los programadores.....	55
Tabla 12 : Cotizaciones de licencias de software	55
Tabla 13: Cotizaciones para mano de obra	55
Tabla 14: Presupuesto final	56

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Problemática y posible solución.....	8
Ilustración 2: Diagrama de bloques del proyecto	9
Ilustración 3: Idea general del proyecto	10
Ilustración 4: Señal ECG	12
Ilustración 5: Pila de protocolos ZigBee.....	17
Ilustración 6: Topología estrella	22
Ilustración 7 : Estructura de canales IEEE 802.15.4	23
Ilustración 8: Proceso de la conversión A/D	28
Ilustración 9: Señal muestreada en el tiempo	28
Ilustración 10: Cuantificación de la señal en el tiempo.....	29
Ilustración 11: Componentes de un sistema SCADA.....	31
Ilustración 12: Equipos del Hospital IESS UCI de Cuenca.....	37
Ilustración 13: Equipo de la zona de clínica en el hospital IESS de Cuenca (Schiller AT-1)	38
Ilustración 14: Diagrama de pines del transceiver MRF24J40MA.....	39
Ilustración 15: Atenuación de dispositivos ZigBee en función de la distancia	44
Ilustración 16: Diagrama de pines del dspic 30f3014.....	45
Ilustración 17: Conexión micro controlador – módulo	48
Ilustración 18: Software Zena para la programación del módulo inalámbrico	49
Ilustración 19: Diagrama de flujo para el dspic 30f3014.....	51
Ilustración 20: Variables compartidas	52
Ilustración 21: Diseño de la red en el espacio físico del hospital.	58
Ilustración 22: Diseño de la red en cada habitación.....	59
Ilustración 23: Transceiver MRF24J40MA con conexión al micro controlador	59
Ilustración 24: Diagrama de conexión transceiver-microcontrolador.....	61
Ilustración 25: Diagrama esquemático de conexión del micro al transceiver	61
Ilustración 26: Seguridad de acceso para el monitoreo	62
Ilustración 27: Opciones principales	62
Ilustración 28: Ingreso de nuevo paciente	63
Ilustración 29: Panel principal del proyecto.....	63
Ilustración 30: Historial clínico (información a almacenar)	63