

REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN) CASO DE APLICACIÓN

UNAD
Universidad Nacional
Abierta y a Distancia

Sixto Enrique Campaña Bastidas
Harold Emilio Cabrera Meza
Álvaro José Cervelion Bastidas
Adriana Aguirre Cabrera

ISBN: 978-958-651-654-9



Davinci-UNAD
Grupo de Investigación

Rector

Jaime Alberto Leal Afanador.

Vicerrectora Académica y de Investigación

Constanza Abadía García.

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

Leonardo Yunda Perlaza.

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

Leonardo Evemeleth Sánchez Torres.

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

Edgar Guillermo Rodríguez Díaz.

Vicerrector de Relaciones Internacionales

Luigi Humberto López Guzmán.

Decana Escuela de Ciencias de la Salud

Myriam Leonor Torres

Decana Escuela de Ciencias de la Educación

Clara Esperanza Pedraza Goyeneche.

Decana Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas

Alba Luz Serrano Rubiano.

Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Sandra Milena Morales Mantilla.

Decano Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Claudio Camilo González Clavijo.

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Julialba Ángel Osorio.

Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Económicas, Contables y de Negocios

Sandra Rocio Mondragón.



**REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN) CASO DE
APLICACIÓN**

Sixto Enrique Campaña Bastidas

Harold Emilio Cabrera Meza

Alvaro Jose Cervelion Bastidas

Adriana Aguirre Cabrera

Redes de sensores inalámbricas (WSN) caso de aplicación / Campaña Bastidas, Sixto Enrique ... [et al.] -- [1.a. ed.]. Bogotá: Sello Editorial UNAD/2018. (Grupo de investigación Davinci. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI)

ISBN: e-ISBN:978-958-651-654-9

1. INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y DE LAS COMUNICACIONES 2. TECNOLOGÍA 3. SENSORES DE REDES INALÁMBRICAS I. Cabrera Meza, Harold Emilio II. Cervelion Bastidas, Alvaro José III. Aguirre Cabrera, Carmen Adriana VI. Título.

Título: REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN) CASO DE APLICACIÓN

e- ISBN: 978-958-651-654-9

©Editorial

Sello Editorial UNAD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 sur No. 14-23

Bogotá D.C

Diciembre 2018

Editado por grupo Davinci – UNAD

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons – Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 internacional. https://co.creativecommons.org/?page_id=13.



Dedicatoria

A mis padres lo mejor de mi vida, Amanda mi amor, mi hijo Sebastián el orgullo de ser papá, mi tía Rosalba bondad y cariño constantes, mis hermanos Ximena y Wilson mi familia de corazón y Juan Diego una persona excepcional...

Sixto C.

A mi familia

Álvaro C.

A mi hija y a mi esposa quienes son la luz de mi vida y hacen realidad el amor.

Harold C.

A mi familia apoyo perenne en mi vida.

Adriana A.

Contenido

INTRODUCCIÓN	12
Capítulo 1:	15
Las redes de sensores inalámbricas, arquitectura y aplicaciones	15
1.1. Definición y evolución de las redes de sensores inalámbricas	16
1.2. Elementos de una red de sensores inalámbrica	21
1.3. Protocolos y técnicas de transmisión de datos	28
1.4. Aplicaciones de las redes de sensores	44
1.5. Las Redes de sensores para el cuidado de la salud	48
1.6. Caso Especial – Preeclampsia con WSN	71
1.7. Referencias Capítulo:	76
Capítulo 2:	91
Sensores y dispositivos utilizados para el cuidado de la salud	91
2.1. Dispositivos para el cuidado de la salud	92
2.2. Dispositivos para la atención de la Preeclampsia	95
2.3. Métodos para la medición de presión arterial en la Preeclampsia	96
2.4. Dispositivos para el monitoreo de presión arterial.	102
2.5. Diseño de un prototipo de monitor de presión arterial	106
2.6. Referencias capítulo:	127
Capítulo 3	133
Monitorización remota basado en WEB, para recolección de variables transmitidas por redes de sensores inalámbricas – WSN	133
3.1. Red de Monitorización Inalámbrica con Sensores	134
3.2. Flujo de Datos en la Red de Sensores de Monitoreo.....	138

3.3. Creación del Modelado de Monitorización	141
3.4. Construcción del sistema de monitorización WEB	153
3.5. Capa de Negocio	166
3.6. Capa de Datos	170
3.7. Implementación y pruebas	173
3.8 Referencias Capítulo	174
Capítulo 4.....	177
Análisis de las señales biomédicas capturadas con WSN interpretadas con lógica difusa para pacientes con PE.....	177
4.1. Elementos de la lógica difusa	178
4.2. Estructura básica de un sistema de inferencia basado en lógica difusa (fuzzy).....	186
4.3. Generación de reportes de PE con lógica difusa	197
4.4. Referencias del capítulo	205

INTRODUCCIÓN

La tecnología es una aliada importante en todas las actividades que realizan las personas, los nuevos avances y desarrollos en este campo, han permitido que muchos aspectos que antes no podían ser controlados ahora lo sean sin mayor dificultad. Entre las tecnologías más importantes con el desarrollo convergente se encuentran las redes de sensores, los sistemas y ambientes inteligentes, Internet de las cosas, sistemas ciberfísicos, entre otras. En este libro principalmente se habla de las redes de sensores inalámbricas o Wireless sensor network en inglés, de donde se obtiene la sigla WSN, muy utilizada en los entornos de desarrollo tecnológico; enfocándose principalmente en la descripción de este tipo de tecnología; los elementos que la componen; las aplicaciones más comunes; los dispositivos que utiliza y las formas en que se pueden analizar los datos que se capturan mediante el uso de la misma.

Acorde a lo anterior este libro se ha estructurado en cuatro capítulos: el primero que relaciona todos los aspectos técnicos de las WSN, partiendo de la definición de esta tecnología, describiendo la arquitectura de la misma, protocolos y normas que la rigen, hasta llegar a la descripción del uso de las WSN en diferentes situaciones y aplicaciones de la vida del hombre, analizando de manera especial las aplicaciones que tienen que ver con el cuidado de la salud y como caso de aplicación específico en el monitoreo de pacientes con Preeclampsia (PE), que es una patología de tipo sistémico, que se presenta en mujeres embarazadas, la cual se describe con más detalle en el capítulo en mención.

En el segundo capítulo se encuentra la descripción de los dispositivos y métodos de recolección de información que se aplican en el cuidado de la salud, se habla acerca de algunos casos de aplicación en este tema, haciendo énfasis principalmente en el caso de señalado en el capítulo uno, el cual relaciona la PE. El capítulo termina con la descripción del prototipo que propone la investigación relacionada con WSN y PE que realizó el grupo Davinci de la UNAD, como apoyo en el monitoreo de pacientes con PE.

El tercer capítulo está relacionado con la parte de sistematización de la información que requiere un sistema de seguimiento y monitoreo de pacientes con WSN, en esta sección del libro se habla de los modelos de software que se requieren, los que se aplicaron y el resultado que se propone como complemento a la parte de hardware que se describe en el capítulo dos. Es importante mencionar que el diseño propuesto en el capítulo tres fue construido y probado en la investigación que realizó el grupo Davinci de la UNAD y se presenta como una alternativa de aplicación para quienes deseen adentrarse en el estudio de la implementación de WSN en el cuidado de la salud.

El cuarto y último capítulo del libro presenta la forma en que se sugiere analizar los datos que se capturan con una WSN, para ello acorde con la investigación que generó como resultado este libro, se propone el uso de la lógica difusa, la cual amplía el abanico de posibilidades de interpretación y generación de un diagnóstico con los datos que capturan los sensores ubicados en una paciente con PE. El capítulo parte de la definición de la lógica difusa, los elementos que la componen y forma de uso, terminando con la descripción de cómo se aplica esta variante matemática en el caso propuesto, que relaciona todo el libro y que se refiere a la PE.

Capítulo 1:

Las redes de sensores inalámbricas, arquitectura y aplicaciones

Las redes de sensores inalámbricas (WSN), son una tendencia tecnológica que cada día cuenta con más aplicaciones, las características de sus nodos, los protocolos que utilizan y la versatilidad de sus configuraciones, las hacen como una opción importante dentro del mundo tecnológico. Actualmente no es extraño encontrar en un hospital una WSN que haga seguimiento a un paciente con una determinada patología; como tampoco es fuera de lo común que en algunas granjas tecnificadas, las WSN ayuden a controlar el cultivo de la plantas que allí se producen; también es posible que alguien que haya viajado recientemente en un sistema de transporte masivo, haya experimentado que el bus mostraba en una pantalla la ubicación del mismo y la

próxima estación que cubriría, lo mismo sucede con los aeropuertos, los bancos, etc.; es decir son tantas las aplicaciones que hoy existen alrededor de esta tecnología que su estudio es casi obligado y un referente importante para el desarrollo de nuevas soluciones que propendan por el mejoramiento de las condiciones de vida de las personas.

En el presente capítulo se hace una reseña de la definición de las WSN, sus orígenes y aplicaciones. Luego se estudia los elementos que hacen parte de una WSN, las características de los mismos y se profundiza en la descripción técnica que contiene este tipo de redes. Por último, se presenta un acercamiento de la aplicación de las WSN con el cuidado de la salud y se cierra el capítulo con la descripción de un caso específico, relacionado con una patología denominada "Preeclampsia".

1.1. Definición y evolución de las redes de sensores inalámbricas

Para iniciar el estudio de las redes de sensores inalámbricas, en esta primera sección, se parte de varias definiciones importantes, tanto para aquellos que tienen conocimiento previo en las temáticas de redes y telecomunicaciones, como para quienes apenas se inician en este mundo tecnológico.

1.1.1. Definición de Red de Sensores Inalámbrica: En el contexto de informática y telecomunicaciones existen diferentes definiciones de "red", como la que propone Salinas (Salinas, 1995), donde considera

como red a dos o más computadores que comparten recursos, sean de tipo físico (hardware) como discos duros, impresoras, etc., o de tipo lógico (software), tales como directorios de archivos, programas, entre otros; definición que los expertos en informática y telecomunicaciones generalmente comparten sin ninguna objeción. Pero también existen otras definiciones como la de Moya y Huidrobo (Moya & Huidrobo, 2006), que hacen referencia al concepto desde el punto de vista de las telecomunicaciones, donde se define a una red como un conjunto de sistemas de transmisión, conmutación y demás recursos que permiten la transmisión de señales entre puntos fijos que están conectados, ya sea por cable, medios ópticos o de otra índole. Para efectos de los temas que conciernen en este libro se tomará la definición de red desde un punto de vista informático, pero con tendencia a las telecomunicaciones, en especial a aquellas que utilizan medios no guiados para la transmisión de señales. Es importante acotar que la red a definir tiene unos elementos específicos que la componen y son los "dispositivos sensores", que según Aakvaag, y Frey (Aakvaag & Frey, 2006), son dispositivos que actúan como unidades autónomas con un microcontrolador, una fuente de energía, un radio transceptor y un elemento sensor. También hay otra particularidad en la definición de esta red y es que su medio de transmisión es inalámbrico, lo que reduce el abanico de posibilidades para centrarse en los medios no guiados específicamente. A continuación, se expone la definición de red de sensores que se adopta en este libro.

1.1.2. Definición WSN: Una red de sensores inalámbrica, es un conjunto de nodos (sensores), que están interconectados entre sí, con el fin de transmitir señales de los eventos que hacen seguimiento o

controlan y de la información relacionada con los aspectos técnicos de la misma, compartiendo uno o varios canales para la transmisión de datos, utilizando diferentes tecnologías y protocolos de tipo inalámbrico con un fin específico y definido por el usuario. Es importante mencionar también en la definición de este tipo de redes, el acrónimo que se utiliza para referirse a ellas y que viene de sus siglas en inglés, que corresponden a WSN, que significan: Wireless Sensor Network o red de sensores inalámbrica en español.

1.1.3: Origen y Evolución de las WSN: Las WSN tienen su origen en las redes de sensores (sensor networks), cuyo inicio, al igual que muchos otros adelantos tecnológicos, nace a partir de iniciativas militares, tomando como referencia a Wikipedia, que alberga aportes y conceptos de toda índole, se encuentra que uno de los proyectos que impulsó el desarrollo de las redes de sensores fue el denominado "SOSUS (Sound Surveillance System)"¹, impulsado como se dijo anteriormente por un organismo militar, en este caso del gobierno de los Estados Unidos, cuyo nombre de la agencia es conocido para quienes han estudiado los inicios de Internet y corresponde a DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), que en las décadas de los 70 y 80 del siglo pasado correspondía al departamento de defensa de los EEUU. El proyecto consistía en la instalación de boyas² sumergidas en las costas de dicho país con sensores de sonido, con el fin de monitorear el estado de las mismas e identificar la posible presencia de submarinos; esta actividad

1 <http://en.wikipedia.org/wiki/SOSUS>

2 Es una baliza flotante situada en un río o en el mar y generalmente anclada al fondo, que puede tener diversas finalidades, principalmente para la orientación de las embarcaciones y señalización de objetos sumergidos.

se desarrolló durante la guerra fría y para los anales de la historia se considera que fue la primera red de sensores que ha existido.

1.1.4. Orígenes de la comunicación inalámbrica: Como un referente importante en el inicio de las comunicaciones inalámbricas, se tiene el invento de Graham Bell y Summer Tainter, quienes crearon un aparato interesante y revolucionario para la época, denominado fotófono (Bell, 1876). Este dispositivo consistía en reflejar un haz de luz solar sobre una celda de selenio incorporada a un circuito telefónico. El haz se reflejaba mediante un espejo que estaba ubicado en un diafragma, el cual vibraba al ser activado con la voz; la resistencia eléctrica del selenio se modulaba con la luz y reproducía la voz que había sido transmitida en el receptor telefónico (Marín, 2008). Este sería el invento que, adelantándose muchos años a la era moderna, se constituiría en el primer dispositivo utilizado para comunicaciones inalámbricas, que, si bien no alcanzaba grandes distancias, fijó una pauta para los desarrollos que vendrían en los años siguientes. En 1888, fue Rudolf Hertz (Landt, 2005), quien realizó investigaciones que llevaron a realizar la primera transmisión inalámbrica con ondas electromagnéticas, usando un oscilador como medio de transmisión y un resonador como receptor, pero fue en 1896 cuando Marconi (Landt, 2005), logró una transmisión inalámbrica de mayor alcance, conectando puntos distantes a través del océano Atlántico, cambiando de esta manera la concepción de transmisión para siempre. Con esta evolución se lograría en los años siguientes significativos inventos que harían posible lo que hoy se conoce como transmisiones inalámbricas.

1.1.4. La primera red local inalámbrica: Aunque el desarrollo de transmisiones inalámbricas se logró a finales de siglo XX, no fue sino

hasta 1971 cuando se tuvo una red local (LAN: Local Area Network), completamente inalámbrica, esta red se desarrolló bajo la dirección de Norman Abramson (Abramson, 1970), quien dirigió un grupo de investigadores y crearon la primera WLAN (Wireless Local Area Network), denominada ALOHAnet (Abramson, 1970).

ALOHAnet, de acuerdo con (Romero, 2013), esta red estuvo constituida por siete (7) computadoras, ubicadas en diferentes islas, administradas por el grupo de investigadores de la Universidad de Hawái. Esta red funcionaba de forma autónoma, donde cada equipo se conectaba a una computadora central y podían enviar información en cualquier momento. El medio de transmisión era no guiado, es decir trabajaban por radio, por lo que no había costos en el uso de este tipo de transmisión. Pero no todo funcionaba como se deseaba y desde aquella época aparecerían los problemas que hasta la fecha siguen siendo vigentes. Por ejemplo, uno muy común, si dos computadores transmitían al mismo tiempo, las señales de datos colisionarían y los datos que transmitían se perdían (Romero, 2013). Este problema sin embargo dio paso a un estándar, que hasta hoy es vigente en la transmisión de datos y manejo de la información en la capa de acceso al medio (MAC), denominado CSMA (Ziouva & Antonakopolulos, 2002), que significa: Acceso múltiple con detección de portadora (Carrier Sense Multiple Access), el cual trabaja con el fin de sensor o verificar si el canal esta libre antes de una transmisión y si es así transmitir, pero no siempre funciona como se quiere y en algunos casos, dos o más nodos pueden sensor el medio y determinar que está libre, lo que supone que pueden transmitir y los dos o más nodos lo hacen al mismo tiempo generando una colisión. Con el fin de solucionar este nuevo problema se desarrolló otro algoritmo

denominado Backoff (Ziouva & Antonakopolulos, 2002), el cual de forma resumida se puede decir que hace que los nodos en contienda por transmitir tomen un tiempo aleatorio de espera antes de transmitir, solucionando de esta manera de forma temporal el problema presentado. Las definiciones más precisas de estas formas de transmitir se tratan más adelante.

1.2. Elementos de una red de sensores inalámbrica

Una red de sensores inalámbrica al igual que la red de datos o de comunicaciones tradicional, se compone de diferentes elementos, los cuales le permiten establecer una comunicación entre los nodos que la conforman y acorde con el fin para el cual se haya implementado. Según (Martinez et al, 2009), este tipo de redes se componen de nodos sensores, puerta de enlace, estación base y canal de transmisión inalámbrico, a continuación, se explican estos elementos.

1.2.1. Nodos Sensores: Son dispositivos electrónicos configurados a nivel de hardware y software para obtener información del medio donde sean ubicados. Un nodo sensor puede ser tan pequeño como sea necesario, y estará supeditado a la aplicación por la cual se haya creado, es decir actualmente existen nodos sensores para la agricultura, para la medicina, para el sector industrial, para la meteorología, entre muchas otras aplicaciones. En cada situación cumplen con una función específica, obtener información del medio, con el fin de permitir la toma de decisiones, identificar la necesidad de aplicar un cambio, detectar un comportamiento anómalo, etc., de allí que se haya dicho que un nodo

sensor está configurado a nivel de hardware y software, es decir estos dispositivos cuentan con elementos de hardware que se adaptan a la aplicación donde se utilicen y cuentan con un código de programación (software), que les permite ejecutar la acción que se haya planeado. En la figura 1.1 se puede observar algunos ejemplos de nodos sensores.



Figura 1.1. Ejemplos de nodos sensores

Fuente:

[http://cdn3.grupos.emagister.com/imagen/tipos de sensores 430139_t0.jpg](http://cdn3.grupos.emagister.com/imagen/tipos%20de%20sensores%20430139_t0.jpg)

1.2.1.1. Elementos de Hardware de un nodo sensor: Tomando como referencia a (Aakvaag & Frey, 2006), a nivel de hardware un nodo sensor se compone de: Sensores, Radio, Procesador, Memoria y Fuente de energía, ver figura 1.2

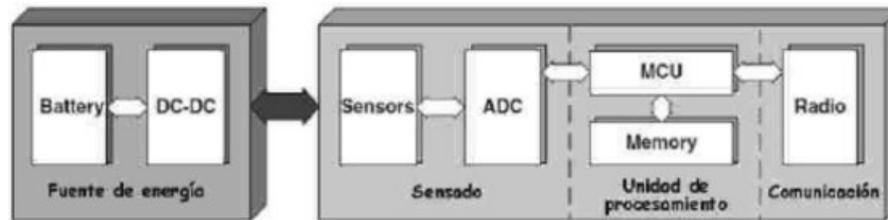


Figura 1.2. Elementos nodo sensor

Fuente:

https://www.researchgate.net/profile/Demetrio_Ovalle/publication/220527384/figure/fig1/AS:305443307048964@1449834767477/Fig-2-Arquitectura-de-un-nodo-sensor-generico.png

1.2.1.1.1. Sensores: Son dispositivos de hardware que han sido creados para capturar información del entorno donde se ubiquen, actualmente existen miles de posibilidades, se los encuentra en muchas aplicaciones, por ejemplo: en un teléfono celular, en un sensor de huella, en sensores de movimiento, en sensores de temperatura, etc.; en los automóviles, para la cámara de reversa, para identificar la cantidad de gasolina disponible, para detectar fallas en el motor, etc.; en la agricultura y medio ambiente, para medir la temperatura ambiental, la humedad del terreno, la velocidad del viento, etc.; para aplicaciones médicas, para medir la temperatura corporal, para medir los signos vitales, etc.; y así se podría seguir nombrando opciones, aplicaciones y diferentes tipos de sensores. En términos más simples se puede decir que un sensor es el elemento electrónico que captura señales del medio donde se ubique con el fin de ser procesadas.

1.2.1.1.2. Radio: El elemento radio, que se ha especificado como parte de un nodo sensor, es el dispositivo electrónico que permite establecer la comunicación con otros nodos o con la puerta de enlace de la WSN que se esté configurando. Este elemento es el que permite acceder a un canal de transmisión para poder comunicarse con otros elementos de la red. En términos de (Martinez et al, 2009), es un dispositivo de comunicación que permite enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos dentro de su rango de transmisión. El radio de un sensor trabaja generalmente dentro de bandas no comerciales en transmisiones de radio frecuencia (RF), el rango más común de frecuencias se encuentra entre 433 Mhz y 2.4 Ghz (Martinez et al, 2009). En términos de funcionamiento un radio puede establecer el estado en el que se encuentre un nodo sensor, los cuales son: Activo, enviando información; Activo, recibiendo información; Inactivo, durmiendo e Inactivo, apagado. Estados que influirán de manera directa con el consumo de energía y tiempo de vida de funcionamiento de los nodos sensores. Las tecnologías de hardware más comunes en la construcción de este tipo de dispositivos son según (Iacono et al, 2010): Freescale, Digi, Texas Instrument y Croosbow, ver tabla 1.1.

Tabla 1.1.

Tecnologías de hardware para radio sensores

Sensor	Tecnología	Tipo
 <p>Fuente: https://www.nxp.com/assets</p>	Freescale	Sensor de presión

[/images/en/dev-board-image/KIT3VSOPXBRD BD.jpg](#)



Fuente:
<https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/boxed-rf-modems-adapters/xbee-sensors/product-images/xbee-sensor>

Digi

Radio sensor Xbee



Fuente:
<http://www.ti.com/content/dam/ticom/images/products/ic/microcontrollers/simplelink/chip/simplelink-sub-1ghz-cc1310-chip.png>

Texas Instrument

Radio Sensor MCU



Fuente:
<http://disal.epfl.ch/page-32511-en.html>

Croosbow

Radio Sensor

1.2.1.1.3. Procesador: Es el dispositivo que hace parte del nodo sensor y que se refiere al microcontrolador, el cual tiene las capacidades de procesamiento para poder implementar un protocolo de comunicación en la WSN. En términos más simples este dispositivo es un chip o circuito integrado que hace parte de una tarjeta con los demás elementos del nodo sensor. Su tamaño dependiendo de su funcionalidad y uso puede ser muy pequeño. Existen microcontroladores (Iacono et al, 2010), de Freescale, como los HCS08; en Digi, se tiene los EM250; de Texas Instrument son muy comunes los CC2430, CC2480, 8051, entre otros; de Croosbow se puede identificar el TPR2400 y el MICAz; entre otros. En la figura 1.3, se puede observar un micontrolador de Texas Instrument.



Figura 1.3. Microcontrolador de Texas Instrument.

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/33647-4066031.jpg

1.2.1.1.4. Memoria: Los nodos sensores también disponen de elementos de memoria que les permiten guardar la información que capturan, esta memoria puede ser de tipo temporal, como la memoria RAM, que generalmente se constituye en un chip adherido a la tarjeta principal del nodo sensor, o en otros casos puede tratarse de memorias

removibles como las "SD card", "Memorias USB", "Discos Duros", entre otras posibilidades.

1.2.1.1.5. Fuente de energía: Es el elemento que permite el funcionamiento eléctrico del nodo sensor, se refiere a las baterías o fuentes que alimentan los circuitos internos del nodo y les permite cumplir con el objetivo por el cual fueron diseñados. Hay diferentes tipos de fuente de energía: de baterías recargables, de baterías solares, con alimentación eléctrica, con alimentación mediante conectores USB, entre otros. Este elemento es fundamental en el diseño de una WSN, por cuanto si se conoce la capacidad o tiempo de funcionamiento de un nodo sensor, se podrá planear y establecer el trabajo y función que desempeñará el mismo.

1.2.2. Puerta de enlace: Es un dispositivo dentro de una WSN que permite recibir la información que han capturado los nodos sensores, y enviar la misma a un centro de datos u otro dispositivo dentro de la red. En algunos casos una puerta de enlace puede ser otro nodo sensor, o puede tratarse de un dispositivo capa tres (según el modelo OSI), que corresponde a un router o tratarse de un computador que recibe los datos en un determinado tipo de protocolo y los convierte en otro. Lo importante de este elemento es señalar que se trata del dispositivo que permite recibir los datos de los sensores y redirigirlo a otra instancia, ya sea para guardarlo o para generar una alerta.

1.2.3. Estación base: Se refiere al equipo que guardará la información que se capture mediante los nodos sensores, en algunos casos la estación base está conectada a una WSN directamente, situación que

puede darse mediante algún medio guiado o inalámbrico, pero que tiene la característica de estar en un mismo espacio físico, junto a una WSN. En otros casos, la estación base esta físicamente en un lugar distinto a la WSN y envía los datos a la misma través de la puerta de enlace. En los casos que este elemento está ubicado remotamente, puede tratarse de un espacio en la nube, de un servidor remoto interconectado a la WSN mediante un ISP (Proveedor de servicios de Internet), entre otras posibilidades. En resumen, se refiere al equipo que guarda y administra los datos de la WSN.

1.2.4. Canal de transmisión inalámbrico: Es el medio físico por el cual se transmite la información, que acorde con la naturaleza de la red que se está trabajando, corresponde al espacio físico abierto, es decir se trata de un medio no guiado. Este canal de transmisión hace parte del conjunto de frecuencias que componen el espectro electromagnético y de acuerdo con las características del protocolo de WSN que se utilice, se ubicará en una determinada frecuencia, el rango más común de frecuencias de tipo libre, se encuentra entre 433 Mhz y 2.4 Ghz (Martinez et al, 2009).

1.3. Protocolos y técnicas de transmisión de datos

A continuación, se nombran algunas posibilidades de estándares y protocolos de las redes de sensores inalámbricas, que según (Garbarino & Echeverría, 2012), son las más comunes en este tipo de redes: Bluetooth, WIFI – IEEE 802.11x, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, ZigBee y WirelessHart.

1.3.1. Bluetooth: Es una de las tecnologías con mayor información en Internet, con diversas descripciones y aplicaciones. En este libro, se ha tomado los aspectos que caracterizan a esta tecnología como una WSN, los cuales según (Holger & Andreas, 2005) son (Ver tabla 1.2):

Tabla 1.2.

Características Bluetooth como WSN

Característica	Descripción
A nivel de nodo coordinador	Requiere de un nodo (Maestro) que constantemente realice las operaciones de consulta a los otros sensores, este método se denomina polling. Lo anterior significa que el nodo esclavo estará siempre encendido esperando algún requerimiento del nodo maestro.
Cantidad de nodos en la WSN	La cantidad de nodos conectados al nodo maestro es limitada (siete) y no es completamente fiable. Si un octavo nodo quiere conectarse a un maestro, su solicitud será rechazada.
Nodos maestros	Si se quiere una red de gran tamaño se requerirán muchos nodos maestros, manejando los nodos esclavos.
Sincronización	Se debe realizar una sincronización estricta entre nodos maestros y nodos esclavos, con el fin de determinar los roles de los nodos, esta sincronización y conexión no son estables.

Como se puede deducir del contenido presentado en la tabla 1.2, la tecnología Bluetooth permite la configuración de WSN, pero tiene

muchos limitantes a la hora de configurarla, principalmente en relación con la cantidad de nodos y sincronización, pero en algunas situaciones específicas podría ser una opción.

1.3.2. WIFI: Es una tecnología de gran aceptación actualmente, su nombre viene de las palabras en inglés: “*Wireless Fidelity*”, que se creó como resultado de un consorcio de empresas que trabajan con el protocolo IEEE 802.11.x. En la tabla 1.3, se pueden observar las características que presenta esta tecnología con respecto al uso de la misma como WSN, según (Holger & Andreas, 2005).

Tabla 1.3.

Características WIFI como WSN

Característica	Descripción
En cuanto al medio de transmisión	Funcionan con la tecnología CSMA/CA, que significa que están revisando continuamente el medio antes de poder transmitir.
En cuanto a la necesidad de energía.	Son redes que manejan grandes volúmenes de transmisión de datos a grandes velocidades, lo que ocasiona que se requiera de fuentes de alimentación energética con alto poder, con el fin de soportar el volumen de datos y velocidad de transmisión que manejan.
En cuanto tiempo real	Como se mencionó anteriormente

trabajan con CSMA/CA, lo que significa que su transmisión se realiza generalmente con el mejor esfuerzo, pero no garantizan canales libres y efectivos para la transmisión en tiempo real.
--

Este tipo de tecnología es el de mayor uso a nivel mundial en lo relacionado con conexiones inalámbricas, pero para la configuración de WSN, como se puede observar a partir de la información consignada en la tabla 1.3, no es la mejor opción, principalmente por la necesidad de capacidad energética que requieren sus dispositivos. Sin embargo, en la configuración de WSN, el uso de WIFI puede dar soporte en la configuración de los elementos que refieren a puerta de enlace y estación base que hacen parte de una WSN.

1.3.3. El Estándar IEEE 802.15.4: De acuerdo con (Yang et al, 2009), es un protocolo de radio frecuencia, de naturaleza inalámbrica. Con respecto a las redes de sensores inalámbricas (WSN), se puede considerar como el principal referente y la base de otras tecnologías como Zigbee, Wireshart, entre otras. Autores como (Quiroz, 2013), definen a este estándar como un conjunto de protocolos de alto nivel, abiertos y globales para la comunicación inalámbrica en las redes de área personal (PAN) y (WSN). A continuación, se describe las características que definen este estándar.

1.3.3.1. Características generales de IEEE 802.15.4: Según (Quiroz, 2013), este estándar se compone de diferentes características

que lo hacen importante y referente en las WSN, entre las principales se tienen las siguientes, ver tabla 1.4.

Tabla 1.4.

Características IEEE 802.15.4 como WSN

Característica	Descripción
Frecuencias de trabajo	Este protocolo puede trabajar en diferentes frecuencias, principalmente en: 2.4 Ghz y 868/915 Mhz.
Tasa de transmisión.	Su tasa puede verse baja, pero dada la necesidad de lectura que manejan los sensores, puede ser suficiente. La tasa de transmisión es de hasta 250kbps en 2.4 Ghz, 40Kbps en 915Mhz y 20Kbps en 868 Mhz.
Acceso al medio	Pueden utilizar igual que WIFI, CSMA/CA, pero también tienen acceso al medio sin contención con una técnica denominada GTS, la cual puede garantizar tiempo real a un número determinado de sensores.
Latencia y rendimiento	Es quizá su principal característica, es decir pueden transmitir a una velocidad importante y reducir la latencia en la transmisión, hasta garantizar en algunos casos tiempo real. Por otra parte el manejo de sus sensores le puede permitir que estos duerman o estén inactivos cuando no estén transmitiendo, lo que reduce el consumo de energía.

Potencia de equipos	Requieren baja potencia, sus equipos trabajan con mínimos requerimientos de energía y potencia.
Cantidad de nodos	Pueden manejar gran cantidad de nodos en la configuración de sus dispositivos.
Espacios de tiempo garantizados	Permiten el manejo de espacios de tiempo o time-slot, lo que puede permitir el manejo de transmisiones en tiempo real.

1.3.3.2. Topologías para IEEE 802.15.4: Dependiendo de la aplicación que se desee implementar, este tipo de tecnología, maneja dos tipos de topologías: Estrella y Malla. La estrella que corresponde a una topología típica de un nodo central y varios nodos conectados al mismo, es el más común para transmisiones en tiempo real. También está la topología en malla que corresponde a una configuración donde hay varios nodos sensores interconectados con otros, identificándose varios coordinadores y nodos finales, este tipo de redes es muy útil y común en campos dispersos y medición de variables del medio ambiente, cultivos, volcanes, etc. En la figura 1.4, se puede observar los tipos de topología referenciados.



Figura 1.4. Topologías IEEE 802.15.4

Fuente: (Quiroz, 2013)

A partir de las dos topologías antes referenciadas, puede resultar un tercer tipo, también común en algunos casos de aplicación, dicha topología se denomina "Cluster-Tree" (Quiroz, 2013). En la figura 1.5. se puede observar este tipo de topología.

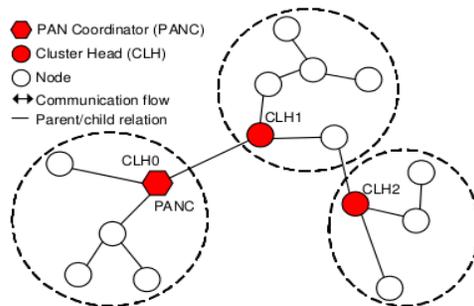


Figura 1.5. Cluster-tree topology

Fuente (Quiroz, 2013)

1.3.3.3. Tipos de dispositivos para IEEE 802.15.4: Como se ha mencionado anteriormente, las WSN se conforman de unos elementos denominados nodos sensores, los cuales según IEEE 802.15.4, pueden ser de dos tipos (Quiroz, 2013): Dispositivos de función completa (FFD: Full function device) y Dispositivos de función reducida (RFD: Reduced function Device). A continuación, se da una definición de los mismos.

1.3.3.3.1. Dispositivo de función completa (FFD): Es el dispositivo que puede encargarse de coordinar la red, lo que constituye en sincronizar los nodos al inicio del proceso y si se trabaja en topología estrella, recibir los datos de los otros nodos para ser enviados por la puerta de enlace a la estación base. También se encarga de enviar beacon o tramas de información a los nodos de la red para notificarles el envío de datos o para informar algún cambio en la misma. Este tipo de

dispositivos también pueden funcionar como un nodo final que sólo capture datos y envíe al nodo coordinador.

1.3.3.3.2. Dispositivo de función reducida (RFD): Son los dispositivos que se encargan de capturar los datos del medio o entorno donde se hayan ubicado y de enviar los datos al nodo coordinador. Es decir, son dispositivos que no pueden trabajar como nodos coordinadores o FFD, su trabajo es limitado y se suele especificar en sólo lectura de los datos para los cuales fueron programados. Son los dispositivos que más tiempo permanecen en reposo y se despiertan sólo cuando el coordinador los necesita o el tiempo para leer una variable se ha cumplido. Su nombre también suele ser "End Device" o dispositivo final.

1.3.3.4. Capa de Acceso al Medio del Protocolo IEEE 802.15.4: Los dispositivos mencionados en el apartado anterior se ubican en la parte eléctrica, electrónica y de configuración básica para establecer la conectividad entre los diferentes sensores de una WSN y conforman en conjunto con sus características propias la denominada capa física. Mientras que los procesos que comprenden el acceso al medio y la transmisión de datos a otros dispositivos de nivel intermedio (para que luego dicha información llegue a las aplicaciones finales), se dan en la denominada capa de acceso al medio o MAC.

La capa MAC funciona mediante dos mecanismos para acceder al canal de comunicaciones (Campaña & Londoño, 2014), los cuales corresponden a:

1.3.3.4.1. Mecanismo de contención básico CSMA/CA: Es la forma por defecto para acceder al medio, donde un nodo sensor (RFD o FFD) hace el sensado al canal antes de iniciar una transmisión. Este modo se define con dos variables de estado: BE que es el exponente utilizado por el algoritmo de *backoff* y NB que es el número de *backoffs* asociados a la transmisión activa. Con estas dos variables opera el mecanismo que buscará encontrar el canal libre para transmitir, donde en caso de no encontrar disponibilidad de canal libre, intentará nuevamente el proceso mediante la ampliación de un tiempo aleatorio, acorde con la expresión 2^{BE-1} , hasta obtener un canal libre y poder transmitir. En este mecanismo pueden existir colisiones cuando dos nodos acceden al mismo tiempo y en esos casos se aplica el algoritmo de *backoff* (*de tiempo aleatorio*), Ver figura 1.6.

1.3.3.4.2. Modo Beacon-Activo: En este modo el coordinador de la red, que es un dispositivo FFD y único en la WSN, se encarga de administrar y sincronizar los nodos, enviando periódicamente pequeñas tramas a los dispositivos RFD, denominadas *beacons*, las cuales permiten a cada nodo identificarse y sincronizarse con el nodo coordinador en la WSN. El procedimiento anterior basa su funcionamiento en una estructura denominada *Supertrama* la cual está constituida por dos partes: una denominada ACTIVA que la componen un campo de Beacon y 16 time-slots de igual tamaño; y la otra llamada INACTIVA, en la cual el dispositivo entra en reposo o modo dormido. El límite entre una supertrama y otra lo definen los *beacons*, los cuales siempre se envían al inicio de la mismas.

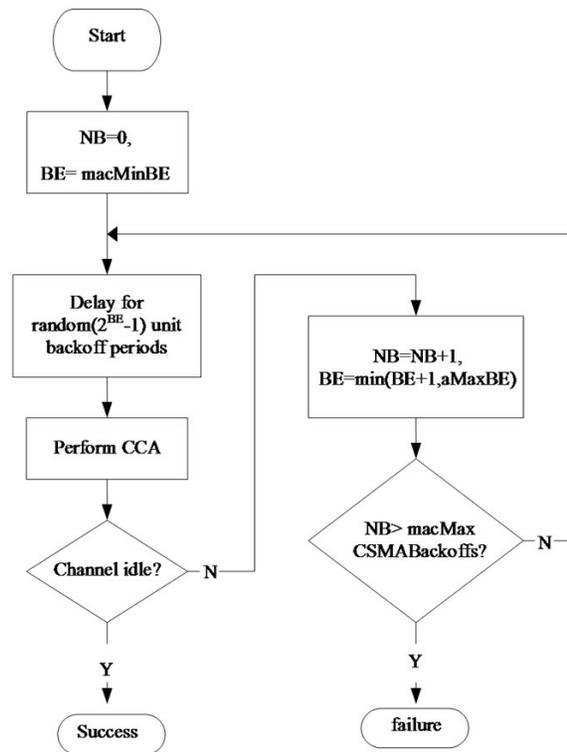


Figura 1.6. Protocolo CSMA/CA

Fuente: <http://file.scirp.org/Html/4-6101103/e562cd97-95af-4c8a-b1c6-d7ee2ae9f2e5.jpg>

La parte activa se divide en dos periodos en los que se utilizan distintos métodos de acceso al medio: por contención (CAP: *Contention Access Period*) y libre de contención (CFP: *Contention Free Period*). El periodo CAP utiliza CSMA/CA como mecanismo de acceso al medio, mientras que en el acceso CFP se utiliza una técnica denominada intervalo de tiempo garantizado o GTS (*Guaranteed Time Slots*). Para esto, el estándar IEEE 802.15.4 reserva hasta 7 segmentos GTS, los cuales se asignan de manera directa por el coordinador de la red, ya sea en una topología estrella o malla. En una transmisión que opera en el modo beacon-activo, pueden habilitarse sólo el acceso CAP, el acceso CFP o ambos,

según lo defina el nodo coordinador. En la figura 1.7 se pueden identificar las partes antes mencionadas:

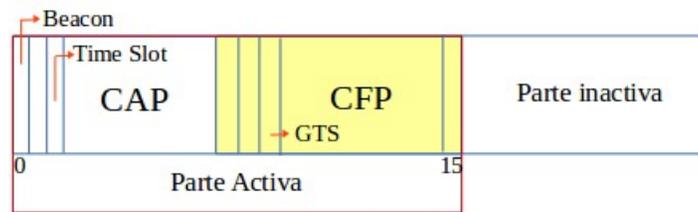


Figura 1.7 Estructura Supertrama IEEE 802.15.4

Fuente: (Campaña & Londoño, 2015)

En el modo beacon-activo se definen los parámetros que determinan el tamaño y tiempo de la supertrama, que también establecen las características de los slots. Según (Haque & Rahman, 2014), estos parámetros son: BI (*Beacon Interval*), que corresponde al intervalo de beacon y es el tiempo total que dura la supertrama. Esta variable se define con la siguiente expresión:

$$\mathbf{BI = 960 \text{ Símbolos} * 2^{BO}}$$

Donde Beacon Order (BO) es un valor entre 0 y 14, el cual determina el tamaño del intervalo de *beacon* y se define al configurar la red.

Otra variable que interviene en este proceso es Superframe Duration (SD), la cual determina la longitud de la parte activa de la supertrama (dada en símbolos), esta variable se define con la siguiente expresión:

$$\mathbf{SD = 960 \text{ Símbolos} * 2^{SO}}$$

Donde *Superframe Order* (SO), es un valor entre 0 y 14, que determina el tamaño y tiempo de los slots que componen la parte activa. Al igual que BO es una variable configurable en el nodo coordinador.

Las dos variables anteriores (SO y BO), están supeditadas al cumplimiento de la siguiente restricción:

$$0 \leq SO \leq BO \leq 14$$

El símbolo es una parte importante de las expresiones antes mencionadas, que está directamente relacionado con la tasa de transmisión del estándar IEEE 802.15.4 y permite calcular el valor del tiempo de la supertrama y del intervalo de *beacon* (BI). Tomando como referencia a (Digi, 2010) y (Ramos et al, 2015), un símbolo tiene una equivalencia a 4 bits, valor que permite realizar los cálculos correspondientes para obtener la longitud y el tiempo de duración de la supertrama (SD).

El periodo de símbolo depende de la frecuencia con la cual trabaja el estándar, que a su vez define la tasa de transmisión permitida, por ejemplo: para la frecuencia 2.4 Ghz se tiene una tasa de transmisión de 250 kbps, lo que significa que dicho valor transformado a símbolos es 62.500 símbolos y el valor en segundos de un periodo de símbolo 0,000016 sg, como se evidencia en las siguientes expresiones.

$$250 \text{ kbps} = 62.500 \text{ símbolos /seg}$$

$$P_s = 0,000016 \text{ seg}$$

En la tabla 1.5 se puede apreciar los periodos de símbolo de acuerdo con las frecuencias y tasas de transmisión que permite el estándar IEEE 802.15.4.

Tabla 1.5

Periodos de símbolo IEEE 802.15.4

Frecuencia	No. Canales Permitidos	Tasa de Transmisión	No. Bits por símbolo	Periodo de símbolo
868 Mhz	1	20 kbps	4	0,2 ms
915 Mhz	10	40 kbps	4	0,1 ms
2,4 Ghz	16	250 kbps	4	0,016 ms

Cuando el nodo coordinador establece que se trabajará con CFP, se puede hacer uso de la asignación de GTS, donde de acuerdo con el estándar IEEE 802.15.4, pueden existir hasta máximo siete (7) GTS, los cuales agrupan varios time-slot. Si se utilizan todos los slots para GTS puede desaparecer CAP y el nodo coordinador trabajará sólo en modo CFP. Mediante el modo CFP se puede garantizar la latencia en la transmisión, dado que se asigna de manera directa uno o más *time-slot* para un dispositivo que requiera transmitir información prioritaria, evitando la variabilidad inherente al acceso al medio, que se presenta cuando se hace por medio de los protocolos por contención. El proceso descrito implica que sea necesario el análisis de los recursos con los que se cuenta en la red y la forma en que serán asignados dichos recursos.

1.3.3. ZigBee: Por otro lado, ZigBee es una tecnología que se basa en las capas física y de acceso al medio de IEEE 802.15.4, aparte de las cuales también define las capas de servicios de red, aplicación y seguridad. ZigBee al igual que WIFI, es un consorcio de varios fabricantes de tecnologías para WSN, su base como se mencionó es IEEE 802.15.4.

1.3.4. IEEE 802.15.6: Se refiere en especial a las WSN denominadas: redes de sensores de área corporal (WBAN: Wireless Body Area Network) (Kwak & Ullah, 2010), es decir son una variante de las redes de sensores inalámbricas, pero con una aplicación específica en temas de salud para el ser humano. En este nuevo estándar se proponen nuevas capas física y de enlace. La capa física no es una sola, sino que tiene tres alternativas, dependiendo de la necesidad o aplicación donde se utilice (Vargas, 2017): Narrowband (NB), Ultra wideband (UWB) y Human Body Communications (HBC). Por otro lado de acuerdo con (Kwak & Ullah, 2010), la capa de enlace o MAC utiliza también tres métodos para acceder al canal y transmitir datos: modo beacon con límites de supertramas; modo sin beacon con límites de supertramas y modo sin beacon sin límites de supertramas; encontrando como una gran diferencia con respecto al estándar IEEE 802.15.4, que no utiliza GTS, aunque persiste el uso de time-slot de igual tamaño, supertramas y el uso de CAP con el control de acceso de CSMA/CA, incorporando también Aloha, es decir en lugar de utilizar la técnica de transmisión en tiempo real que ofrece el estándar de la WSN, las WBAN utilizan varias alternativas para lograr minimizar la latencia, pero aun enfatizando en procesos de contención. También es importante mencionar que mientras las WSN son de aplicación general, las WBAN son más de aplicaciones dirigidas a la biomedicina (Vargas, 2017). en la tabla 1.6, se pueden apreciar algunas diferencias entre IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6.

Tabla 1.6

Diferencias IEEE 802.15.4 e IEEE 802.15.6

Característica	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.6
Nodos	Pequeños con posibilidad de cambiar sus baterías, con recursos de memoria y procesamiento bajos.	Mucho más pequeños y con recursos más limitados en cuanto a memoria y procesador que los usados en IEEE 802.15.4.
	Existen tres tipos: Coordinador, Dispositivos finales y routers.	Sólo existen dos tipos: sensores y coordinadores.
	Los nodos pueden tener varias funcionalidades al tiempo: coordinador o sensor.	Cada tipo de nodo sólo puede ejercer el rol que le corresponde.
Despliegue y densidad	Se utilizan nodos redundantes en la medición de las variables que utilizan, en algunos contextos importa mucho la ubicación en otros no es significativa. Mucha densidad de nodos generalmente.	Los nodos generalmente se ubican de forma estratégica en diferentes partes del cuerpo. Poca densidad de nodos.
Tasas de	Sus dispositivos	Se requieren dispositivos de alta

transmisión	generalmente son homogéneos y manejan tasas que están generalmente en máximo los 250kbps.	fiabilidad y bajo retardo, son a menudo heterogéneos. Las tasas van desde los 10kbps hasta los 10Mbps.
Escala	Rango amplio, hasta kilómetros.	Rango limitado: desde milímetros hasta centímetros.
Ambientes de trabajo	Expuestos a condiciones extremas de clima, ruido y otros factores	Expuestos a entornos más predecibles, con problemas aún en el manejo de nodos móviles.
Topología	Probabilidad de estructura fijas o estáticas.	Variable de acuerdo variación complejidad del cuerpo.
Acceso a sensores	Fácilmente reemplazables, incluso desechables.	Dificultad cuando son implantados, además pueden ser más costosos de acuerdo a lo que sensen en el cuerpo humano.

Fuente (Vargas, 2017)

1.3.5. WirelessHART: su sigla significa: Wireless Highway Addressable Remote Transducer, y según (Song et al, 2008), corresponde al primer estándar abierto de comunicación inalámbrica específicamente diseñado para aplicaciones de control de procesos, liberado en el año 2007. Este estándar se compone de las siguientes capas: Física, Enlace (MAC), Red, Transporte y Aplicación. En cuanto a los nodos que componen una red con WirelessHART se tiene: dispositivos de campo, dispositivos de mano, gateway y administrador de red. Soporta topologías en estrella y malla principalmente. Este estándar se diseñó pensando en características de robustez y confiabilidad para aplicaciones industriales,

pero, según (Lennvall & Svensson, 2008), no es recomendado para procesos con tiempo real.

1.4. Aplicaciones de las redes de sensores

Teniendo en cuenta que el capítulo se centra en la definición de WSN y su aplicación en el cuidado de la salud, es importante revisar algunas aplicaciones que se han realizado con este tipo de redes, pero teniendo en cuenta principalmente la transmisión de datos en tiempo real, que es una de las características importantes y necesarias en este tipo de situaciones.

Las variables que inciden en la transmisión de datos se comportan en algunos casos de forma diferente de acuerdo al espacio donde se apliquen, no es lo mismo enviar un paquete por el espacio abierto en una cancha de fútbol que en el auditorio de un edificio, hay interferencias importantes que se pueden presentar en cada caso y problemas como la atenuación se evidenciarán más fácilmente en ciertas situaciones, acorde a lo anterior en la tabla 1.7 se mencionan algunos estudios que involucran a las WSN y su comportamiento con entornos cerrados. Por otra parte, las redes de sensores inalámbricas, pueden diseñarse para unos cuantos nodos hasta miles de ellos, dependiendo de la aplicación. Pero siempre será un factor fundamental determinar la cantidad de nodos que compone una WSN, al igual que conocer la potencia de los sensores y la distancia que estarán separados unos de otros, dado que se analizan casos donde las WSN trabajan con tiempo real, un estudio significativo relacionado con este ítem, también se puede encontrar en la tabla 1.7. Por último, en la identificación de estudios relacionados con aspectos importantes en el diseño de WSN

para transmisión de datos en tiempo real, se tiene el ítem que tiene que ver con la topología, por ello en la misma tabla (1.7) se han presentado algunos estudios que tienen en cuenta este aspecto.

Tabla 1.7.

Estudios de aplicaciones de las WSN

Titulo Estudio	Características
<p>Redes de sensores y actuadores inalámbricos: una caracterización y caso de estudio para aplicaciones médicas en espacios cerrados Fuente (Martinez et al, 2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio que presenta una caracterización de aplicaciones WSN para los sectores médicos, medioambiental, agrícola e industrial. • Hace énfasis en el caso de aplicación de WSN para detección de arritmias cardiovasculares. • Analiza las aplicaciones de acuerdo a si son para entornos cerrados y abiertos. • Las aplicaciones estudiadas trabajan con WSN con la frecuencia libre de 2.4Ghz, nodos fijos y móviles y utilizan principalmente el radio CC2420 de Texas Instrument.
<p>Plataforma SHIMMER Sensing Health with Intelligence, Modularity, Mobility Fuente (Gonzalez et al, 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se trata de una plataforma de sensores ideada por Intel para aplicaciones portátiles de WSN para el cuidado de la salud. • Maneja principalmente BSN (Body Sensor Network) con procesadores de 8 Mhz de Texas Instrument. • Trabaja con la norma IEEE 802.15.4 en

	<p>la frecuencia 2.4 Ghz.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La topología propuesta en este tipo de aplicación es malla.
<p>An Emergency-Adaptive Routing Scheme for Wireless Sensor Networks for Building Fire Hazard Monitoring Fuente(Zeng et al, 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es una aplicación para entornos cerrados cuyo fin es monitorear edificios para la prevención contra incendios. • Su diseño está dirigido para trabajar en tiempo real. • Se basa en estudios de simulación, principalmente utilizando el software denominado NS2.
<p>Interference characterization and mitigation in large-scale wireless sensor networks Fuente: (Liang & Jan, 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es un estudio que analiza las WSN desde el punto de vista de las interferencias que puedan afectarlas. • Analiza las interferencias externas, dentro de la red y a nivel de protocolo. • Un aporte importante del estudio se relaciona con el análisis que hace acerca de la posible interferencia entre redes que utilizan el estándar IEEE 802.11 y el estándar IEEE 802.15.4.
<p>Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo Xbee de Digi Fuente (Girod, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es un estudio que relaciona el diseño de una WSN para la lectura de condiciones medio ambientales como la temperatura en espacios cerrados. • Este estudio utiliza sensores tipo Xbee de Digi. • El estándar que aplican es ZigBee.

<p>Experimental study of concurrent packet transmission in wireless sensor networks using tmote sky devices Fuente (Morparia et al, 2007)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es una aplicación que utiliza sensores de Texas Instrument • Maneja el sistema operativo para sensores denominado TinyOS. • Analiza la relación señal-interferencia-ruido. • Su objetivo es lograr la eficiencia en transmisiones concurrentes con WSN. • Es un estudio importante en el análisis de la ubicación de los sensores en una WSN.
<p>Estado actual de las Comunicaciones por Radio Frecuencia Fuente (Mayné, 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Este estudio describe las características básicas de las WSN a nivel de: sistemas de radio frecuencia, Bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical). • Analiza el comportamiento de las WSN por debajo y encima de 1Ghz. • Analiza las soluciones que utilizan tecnologías mencionadas anteriormente como Freescale, Texas Instrument entre otras.
<p>Monitoreo ubicuo de salud en tiempo real con WBSN Fuente (Kaschel & Perez, 2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se describe un diseño integrado de vigilancia ubicua de salud en tiempo real utilizando WBSN (Wireless Body Sensor Network) • Relaciona el estudio de WSN y su articulación con otras tecnologías como M2M (Machine to Machine) y

	<p>computación en la nube.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la solución considera un servidor médico inteligente ubicado en la nube y un dispositivo móvil inteligente que actúa como router y coordinador o concentrador virtual en el lado cliente-paciente. • Es una solución para pacientes que requieren monitoreo continuo. • La topología que maneja es estrella.
<p>Evaluación de las topologías Físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales para el G.E.A.A-Epoch Fuente (Villafuerte, 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es un estudio que analiza las topologías estrella, árbol y malla para las WSN. • Los aspectos que analiza en el estudio de las topologías son: potencia, pérdida de paquetes y retardo en la transmisión principalmente. • El estudio considera que una de las mejores topologías para lograr mejores rendimientos en aplicaciones WSN es la estrella.

1.5. Las Redes de sensores para el cuidado de la salud

1.5.1. Aplicaciones de WSN para el cuidado de la salud: Son muchas las aplicaciones en las cuales han contribuido las redes de sensores inalámbricas (WSN) y también son diferentes los campos en los cuales han incursionado de manera efectiva, en este apartado se

mencionan algunos estudios que principalmente relacionan el aspecto médico. Antes de iniciar con la mención de los estudios de WSN que relacionan temas del cuidado de la salud, es importante conocer los retos y dificultades que afrontan este tipo de redes entre los cuales se tienen los siguientes, acorde con (Delicato et al, 2010), ver tabla 1.8.

Tabla 1.8

Retos y dificultades WSN

Reto / Dificultad	Descripción
Manejo y gestión de la energía para el funcionamiento de los sensores (Gómez & Carmona, 2006).	Es un problema muy importante desde el inicio de este tipo de redes y del mismo depende la masificación de los sensores para una mayor aplicabilidad de las WSN.
Enrutamiento de la información (Kumar et al, 2012)	Si bien es cierto que se han desarrollado diferentes algoritmos para ello, aún sigue siendo un problema el control del nodo principal y la optimización en el envío de datos. Este problema reviste importancia por la arquitectura de las WSN que es dispersa, lo cual significa que los nodos no obedecen a una organización de agrupamiento específica, sino que pueden estar enmarcados por la necesidad del contexto, lo que hace que definir el nodo coordinador pueda ser un problema y esto también puede suponer que la forma en que los demás nodos identificaran al mismo no

	sea tan sencilla.
El software desarrollado aún tiene predominio de ser propietario (Mottola & Pietro, 2008)	Es un problema que hace dependiente el dispositivo (sensor) del fabricante. Ya se han desarrollado unas pocas aplicaciones de middleware abiertas, pero aún es un tema por desarrollar y abordar por los investigadores y programadores amantes del código abierto.
Desarrollo de sensores con mayor inteligencia (Acedo et al, 2008)	Es un problema en el cual no se ha avanzado mucho, los sensores sólo detectan señales y a lo sumo envían un valor de una variable específica, otros son actuadores y responden generalmente a una acción mecánica, esta situación supone un reto latente para los fabricantes de sensores, donde las aplicaciones tengan mayor ámbito de acción en los problemas que se han enmarcado y que los sensores hagan parte complementaria y efectiva en el desarrollo de la solución de los mismos.
La seguridad es otro reto para los investigadores (Cusack & Kyaw, 2012)	Hay diferentes investigaciones que sostienen que este tema está limitando el desarrollo e implementación de las WSN, sobre todo por la búsqueda de protocolos de seguridad necesarios para el umbral entre las capas física y de enlace. Este problema es importante y va de la mano con el desarrollo de todo el contexto de aplicación de las

	WSN, sobre todo para llegar a convertirse en una red fiable y de gran uso.
--	--

Teniendo en cuenta lo anterior, ahora se pueden nombrar algunas aplicaciones que relacionan directamente a las WSN y el aspecto médico y cuidado de la salud, ver tabla 1.9.

Tabla 1.9

Aplicaciones médicas con WSN

Título Estudio	Características
Wireless Sensor Networks for Healthcare (Ko et al, 2010)	Es un documento que expone el estado del arte de las aplicaciones WSN con la salud y medicina hasta el año 2010, habla acerca de los retos y dificultades que presenta este tipo de estudios hasta la fecha de publicación del mismo.
High-Confidence Medical Devices (NCO, 2009):	Se refiere a un encuentro médico e ingenieril relacionado con el análisis de la aplicación de los dispositivos electrónicos, como sensores en el cuidado de la salud. El compendio de artículos que hace referencia esta cita es de un congreso médico, pero hace evidente la necesidad del uso de la tecnología en el mejoramiento del cuidado de la salud para las personas con el apoyo de la misma.
M2M Communications for Healthcare (Cheng,	Propuesta de diseño de una aplicación tecnológica para el uso de sensores en

<p>2012)</p>	<p>situaciones médicas. Este estudio tiene la particularidad de una nueva tendencia y es el M2M o también llamado: "Machine to Machine", que refiere a la comunicación directa entre dispositivos sin la intervención humana.</p>
<p>Medical applications of wireless sensor networks current status and future directions (Kresimir et al, 2012)</p>	<p>Estudio detallado de los BASN, estado del arte de las aplicaciones médicas y retos a futuro en este campo. El documento permite conocer el estado del desarrollo de las aplicaciones WSN en el campo médico y cuidado de la salud en general.</p>
<p>Cardio Sentinel: A 24-hour Heart Care and Monitoring System (Min et al, 2012)</p>	<p>Aplicación con sensores para monitoreo remoto de señales cardíacas con teléfonos inteligentes (smartphones) activo las 24 horas del día. Este estudio refiere a un control continuo de pacientes con problemas cardíacos y toda la infraestructura necesaria para actuar en un determinado momento, en la arquitectura de este sistema se incorpora el uso de teléfonos inteligentes y sensores ECG principalmente.</p>
<p>E-Doctor: A Real Time Home Monitoring and Mobile Healthcare Plataform (Zhang & Zhang, 2011)</p>	<p>Plataforma que pretende implementar un sistema en tiempo real de monitoreo y control de pacientes, usa como red de transmisión de datos Bluetooth, donde cada paciente tiene un teléfono inteligente como puerta de enlace (gateway) y un sensor</p>

	como detector de señales y variables médicas.
Assessment of a telemetry monitoring system (Movicorde) developed in Cuba (Rivero et al, 2012):	Estudio controlado de pacientes con problemas cardiovasculares durante un periodo de tres años con asistencia periódica a un centro de investigación acondicionado como gimnasio, la novedad de este sistema es que captura de manera inalámbrica hasta 8 señales de pacientes al mismo tiempo y procesa la información en una base de datos para su posterior análisis. Hasta ahora se ha desarrollado para trabajo local con una red LAN (Local Area Network).
Monitor de señales de electrocardiografía y frecuencia cardiaca mediante un teléfono móvil con el protocolo de comunicación Bluetooth (Becerra et al, 2012)	Es un estudio que propone la captura de datos con un sensor ECG para el análisis de señales cardíacas, que envía los datos del sensor al celular del usuario, hasta el momento ese es el máximo grado de amplitud, a futuro los investigadores esperan que se use la red de telefonía celular para difusión de la información capturada.
Monitoramento Remoto de Pacientes em Ambiente Domiciliar (Carvalho et al, 2011)	Aplicación que propone el uso de dos sensores para monitorear a pacientes sobre diferentes aspectos médicos, con un sensor se analiza datos fisiológicos y con el otro datos de movimiento, esta aplicación trabaja con la red Internet para el envío de datos a una central remota, de manera local usa una

	red LAN y supone el uso de celulares o equipos de cómputo para hacer las veces de puerta de enlace (gateway).
Using Heterogeneous Wireless Sensor Networks in a Telemonitoring System for Healthcare (Corchado et al, 2010)	Es un modelo de aplicación que propone una arquitectura que use múltiples protocolos, que trabaje con sensores fisiológicos (Physiological sensors) y sensores biocinéticos (Biokinetic sensors), los gateways también serán múltiples y se podrá tratar a varios pacientes al mismo tiempo.
Application of Virtual Mobile Networking to Real-Time Patient Monitoring (Rehunathan, 2010)	Es una aplicación piloto que utiliza el protocolo Bluetooth, como Gateway un teléfono inteligente y trabaja con sensores fisiológicos de un paciente.
Using Smart Phones and Body Sensors to Deliver Pervasive Mobile Personal Healthcare (Crilly & Muthukkumarasamy, 2010)	Es una aplicación experimental que usa un teléfono inteligente como Gateway, el protocolo Bluetooth, sensores fisiológicos, específicamente ECG (para monitorear el ritmo cardíaco), la red Internet para transmitir datos al centro remoto. El prototipo simula los datos que debería generar el sensor.
Unobstructive Body Area Networks (BAN) for Efficient Movement Monitoring (Felisberto et	Aplicación piloto simulada, trabaja con el protocolo Bluetooth y Zigbee (802.15.4), propone un sistema redundante en caso de que falle un protocolo, utiliza sensores

<p>al, 2012)</p>	<p>fisiológicos y sensores biocinéticos.</p>
<p>Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores (Cervantes de Avila et al, 2012)</p>	<p>Aplicación investigativa que trabaja con sensores fisiológicos, protocolo Zigbee (802.15.4) con puente hacia WiFi y como Gateway utiliza un computador personal.</p>
<p>Robust medical adhoc sensor networks (MASN) with wavelet-based ECG data mining (Hue et al, 2008)</p>	<p>Es una de las aplicaciones clásicas que junto con otras como "Codeblue" de la Universidad de Harvard y MEDiSN (Egbogah & Fapojuwo, 2011) fueron las precursoras de los tratamientos médicos y control de enfermedades con la tecnología y específicamente con el uso de sensores. Esta aplicación ha seguido innovando y su enfoque hacia la transmisión en tiempo real la hace vigente, utiliza diferentes protocolos y diferentes sensores.</p>
<p>Real Time Health care System for Patient with Chronic Diseases in Home and Hospital Environments (Mohan & Sinciya, 2013)</p>	<p>Es una aplicación que propone la captura de datos en tiempo real mediante sensores fisiológicos, se comunica al Gateway que puede ser un teléfono inteligente o un computador personal.</p>
<p>Resource-aware Secure ECG Health care Monitoring Through Body Sensor Networks [(Wang</p>	<p>Prototipo de desarrollo de una aplicación inalámbrica para el monitoreo de señales cardíacas en un paciente con redes WSN, trabaja con sensores fisiológicos, con</p>

et al, 2010)	protocolos de red de la familia IEEE 802.11, como Gateway propone teléfonos inteligentes.
Ubiquitous health care service using Zigbee and mobile phone for elderly patients (Lee et al, 2009),	Aplicación piloto dirigida a 29 pacientes para el control de signos vitales en pacientes de edad avanzada, utiliza sensores fisiológicos, el protocolo elegido es el Zigbee (802.15.4) y como Gateway utiliza un teléfono inteligente.

El anterior compendio de estudios e investigaciones son una parte de la gran cantidad de aplicaciones que existen alrededor del uso de las WSN, lo cual da una línea de base importante para aplicaciones futuras. Por otro lado, se debe destacar los aspectos comunes de las investigaciones enunciadas y los temas que generan nuevos desafíos alrededor del campo de estudio propuesto, donde se pueden destacar los siguientes desafíos, ver tabla 1.10.

Tabla 1.10

Desafíos WSN para el cuidado de la salud

Seguridad, incluyendo la integridad, privacidad y el control de acceso (Ko et al, 2010)
La integridad entendida como la garantía que deben dar los sistemas para el envío de información sin que ocurra que esta sea adulterada o interferida por otro dispositivo que actúe en el mismo rango de acción. La privacidad, como la garantía contra el posible robo de información y mal uso de esta con fines poco éticos. El control de acceso, entendido como el conjunto de políticas y mecanismos para

que solo el personal autorizado tenga acceso a la información. El tema de la seguridad siempre será transversal al desarrollo de aplicaciones inteligentes para la salud y otras áreas.

Escasez de recursos (Ko et al, 2010)

Esta situación va asociada a la necesidad de nuevos desarrollos en el tema de hardware y software que permitan potencializar las WSN y su aplicabilidad con la medicina y el cuidado de la salud.

Comunicación en tiempo real

Si bien es cierto que se ha logrado el monitoreo remoto de aspectos médicos que antes era imposible hacerlo, el tiempo de respuesta y acción sobre el problema presentado, aún sigue siendo bajo y esto debido principalmente a la falta de aplicaciones con respuesta en tiempo real.

Consolidación y correlación de información de muchos pacientes

A excepción de ciertos trabajos como (Rivero et al, 2012), que propone el trabajo con 8 pacientes al tiempo, son pocas las investigaciones que relacionan un sistema distribuido con aplicación y análisis de datos de varios pacientes simultáneamente.

Sistemas de minería de datos aplicados al análisis de información capturada por sensores y WSN

Este es otro campo con mucho futuro por explorar, y va de la mano con el desarrollo de los anteriores desafíos, por cuanto permitirá establecer patrones relativos a las señales vitales de grupos de pacientes que puedan tener la misma patología.

Sensores especializados con mayor capacidad de

procesamiento

En el campo de la electrónica el reto de mejorar los dispositivos de captura y procesamiento de datos de las WSN es una tarea con mucho futuro, este tipo de redes se están convirtiendo en populares y de gran aplicación, esto trae consigo la necesidad de mejorarlas día a día.

1.5.2. Sensores para WSN en el cuidado de la salud y control de enfermedades: un aliado y elemento principal en las WSN son los sensores, estos dispositivos que pueden ser utilizados desde aplicaciones tan sencillas como medir la temperatura, detectar la humedad, la velocidad del viento, hasta el cuidado delicado de los signos vitales de una persona, son fundamentales para los propósitos de la medicina moderna y cuidado de la salud presente y futuro. En esta parte del documento se trata a los más comunes y sobre todo a los relacionados con el tema que atañe.

En el campo de la medicina y cuidado de la salud se han desarrollado una serie de sensores que pueden estar asociados a diferentes situaciones que afectan al ser humano, al conjunto de estos sensores que podrían hacer parte del cuerpo humano de una determinada persona se le denomina: red de sensores del cuerpo humano (su sigla en inglés: BASN), El listado de sensores puede ser muy grande y continuamente se están desarrollando nuevos, tanto en la industria como en investigaciones científicas, tomando como referencia a (Hanson et al, 2009), se pueden identificar tres grandes categorías de sensores aplicados en la medicina y cuidado de la salud:

1.5.2.1. Sensores fisiológicos (Physiological sensors): en este grupo están los relacionados con los que miden la presión arterial, medición de la glucosa en la sangre, electrocardiografía, electroencefalograma, etc.

1.5.2.2. Sensores biocinéticos (Biokinetic sensors): en este grupo se encuentran los sensores que registran los movimientos del cuerpo humano.

1.5.2.3. Sensores ambientales (Ambient sensors): este grupo lo conforman aquellos que miden los fenómenos ambientales como la humedad, la luz, el nivel de presión sonora y la temperatura.

Acorde a lo anterior, a continuación, se relacionan algunos ejemplos de estos grupos de sensores que se encuentran referenciados en (Pantelopoulos, 2010), ver tabla 1.11.

Tabla 1.11

Tipos de sensores WSN

Sensor	Nombre	Descripción
 <p>Fuente: http://www.naylampmechatronics.com/1305/sensor-de-pulso-fotoelectrico.jpg</p>	<p>Sensor Electrocardiograma - ECG</p>	<p>Es un sensor de electrodos que se ubica en el pecho y funciona enviando las señales cardíacas.</p>



Fuente:

http://oppressus.info/images/differential-pressure-sensor-2_1.jpg

Sensor para la presión arterial (Bloodpressure)

Es un sensor que se ubica en el brazo y se refiere a la fuerza ejercida por la circulación de la sangre en las paredes de los vasos sanguíneos, especialmente las arterias.



Fuente:

<https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1e.rmIFXXXbBXpXXq6xXFXXXd/ysi-400-reusable-human-body-temperature-sensor.jpg>

Sensor de temperatura corporal

Funciona como un termómetro para el cuerpo



Fuente:

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQbQgvqBXtq49rsSJw1iWQUwco6ea7V4JnXVx3vh2G7CrMFLPAjGw>

Sensor para medir la tasa de respiración (Respiration rate)

Indica los valores de inspiración y espiración por unidad de tiempo



Fuente:

<https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1eSRVLXXXXXaHXFXXq6xXFXXXN/waist-oximetry-blood-oxygen-saturation-monitor-gray.jpg>

Sensor para medir la saturación de oxígeno (Oxygen saturation)

Es un sensor que trabaja con la sangre del cuerpo humano y determina los niveles de oxígeno de la misma.

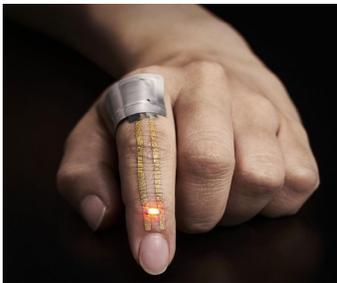


Fuente: [https://encrypted-tbn0.gs](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQeM5AZ0fdN1glfxP5JOOBqQIsTrGPHU0VG2M48tDEMJ4vycN15)

[tatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQeM5AZ0fdN1glfxP5JOOBqQIsTrGPHU0VG2M48tDEMJ4vycN15](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQeM5AZ0fdN1glfxP5JOOBqQIsTrGPHU0VG2M48tDEMJ4vycN15)

Sensor para medir la frecuencia cardíaca (Heart rate)

Mide la frecuencia del ciclo cardíaco.

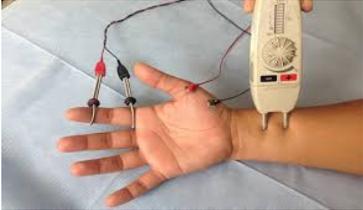


Fuente : [http://www.r](http://www.revisor.com/sensor-wearable-soluble/)

[.com/sensor-wearable-soluble/](http://www.revisor.com/sensor-wearable-soluble/)

Sensor para la transpiración de la piel

Permite determinar el comportamiento del cuerpo con respecto al sudor

 <p>Fuente: https://es.aliexpress.com/channel/cheap-fetal-heart-sounds-doppler.html</p>	<p>Sensor para detectar los sonidos del corazón (Heart sounds)</p>	<p>Funciona como un fonocardiograma</p>
 <p>Fuente: http://www.gestarsalud.com/tres-adelantos-para-las-personas-con-diabetes</p>	<p>Sensor para medir la glucosa en la sangre (Bloodglucose)</p>	<p>Es complementario a los sensores que trabajan con la sangre, este mide la cantidad de glucosa en la sangre</p>
 <p>Fuente: http://www.gestarsalud.com/tres-adelantos-para-las-personas-con-diabetes/</p>	<p>Sensor Electromiograma – EMG</p>	<p>Sensor para medir la capacidad física de los músculos del cuerpo humano</p>
 <p>Fuente: http://www.gestarsalud.com/tres-adelantos-para-las-personas-con-diabetes/</p>	<p>Sensor Electroencefalograma – EEG</p>	<p>Este sensor trabaja señales eléctricas que genera el cerebro</p>

ps://www.taringa.net/posts/noticias/4253735/Practico-lector-de-ondas-cerebrales.html		
 <p>Fuente: https://www.pinterest.cl/explore/detector-movimiento/</p>	<p>Sensor de movimiento (Body movements)</p>	<p>Permite registrar los movimientos del cuerpo humano en una determinada área.</p>

En los últimos años estos dispositivos han ido aumentando considerablemente a la medida de las necesidades y nuevas investigaciones, por ello se estima desde ya una nueva generación de sensores para el cuerpo humano, tal y como lo afirman (Ashraf & Hassanien, 2011), quienes nombran 4 nuevos grupos:

- **Dispositivos que no incomodan o perturban (Non-Obtrusive Devices):** se trata de la mejora que deben tener los actuales sensores que son molestos para el cuerpo humano, ya sea por su tamaño, su peso o la radiación de energía que emiten. La nueva generación tiene el reto de hacerlos más pequeños, con mayor duración y mejor alcance, aunque dada su necesidad en aspectos específicos que requieren cierto volumen, no serán del todo pequeños.
- **Dispositivos parásitos (Parasitic Devices):** son sensores que ya se usan en las BASN, pero que aún requieren mayor evolución, estos

dispositivos no deben ser sentidos por el usuario (paciente), deben permitir el normal desarrollo del movimiento por quien los lleva, su volumen deberá ser muy pequeño y el consumo de energía de estos dispositivos debe ser de unos pocos milivatios.

- **Dispositivos simbióticos (Symbiotic Nodes):** estos sensores son de corte invasivo y ya se ha dado algunos avances en los mismos, estos dispositivos ingresan al cuerpo humano, por ende, su tamaño es muy pequeño, casi microscópico y a futuro se busca que sean biocompatibles con el cuerpo que los aloja.
- **Dispositivos Bio-inspirados (Bio-InspiredNodes):** este es el avance que se espera de los sensores, a futuro serán más inteligentes y serán uno sólo con el cuerpo que los contiene. Este tipo de dispositivos hará uso de la nanotecnología y biología molecular para su desarrollo. Estos dispositivos funcionarán de manera autónoma, alimentada por las reacciones químicas inspirados en sistemas biológicos.

También existen algunos desafíos y problemas que deben afrontar los sensores para lograr un óptimo rendimiento y un buen acoplamiento en la solución de las necesidades que día a día aparecen en el campo médico para el cuidado de la salud y control de enfermedades, para (Ashraf & Hassanien, 2011), estos desafíos son:

- **De tipo físico:** principalmente en lo relacionado con el tamaño de los sensores, donde se debe mejorar en la sensibilidad de los mismos, manejo óptimo y eficiente de la energía necesaria para su funcionamiento; así como también se debe mejorar en la forma de

capturar y transmitir datos; tener mayor compatibilidad entre sensores sin importar el fabricante y manejo de ancho de banda.

- **En la parte de capa de enlace:** el desafío es mejorar en la calidad del servicio.
- **En la capa de red:** el desafío esta en las mejoras que se puedan hacer en cuanto al enrutamiento, con lo cual se podría contar con una mejor optimización del consumo de energía y mayor velocidad de procesamiento.
- **En la capa de transporte:** se requiere pensar ya en un protocolo fiable de entrega de la información, situación que hoy no sucede y que es vital para el campo de la salud, sobre todo para saber si la información llegó correctamente para poder actuar acorde a la situación.
- **En la capa de aplicación:** los desafíos son hacia el desarrollo de sistemas cada vez más inteligentes, automáticos y que permitan el auto aprendizaje.
- **Desafíos generales de los sensores para el campo de la salud y control de enfermedades:** en (Ashraf & Hassanien, 2011), resaltan que las mejoras continuas que se exigen ese campo son las relacionadas con la seguridad de la información, la privacidad de los datos, así como con el secreto médico. También se debe tener en cuenta la facilidad en el uso de los sensores, la facilidad en la implementación y escalabilidad de los mismos y por último la movilidad, que debe facilitar el desplazamiento de los usuarios, independientemente que tengan o no un sensor.

Como se puede notar el tema de sensores es muy amplio y extenso, hasta ahora se han mencionado las categorías que existen, los sensores más comunes, las nuevas generaciones que se proponen y los desafíos

que enfrentan ahora y a futuro. Este tema es muy dinámico y en la medida que avance la tecnología las condiciones irán cambiando.

1.5.3. Situaciones médicas y cuidado de la salud que pueden requerir el uso de WSN en tiempo real: Existen algunos aspectos dentro de la medicina y el cuidado de la salud que requieren más atención que otros, puesto que de los mismos puede depender la vida de una persona, como ejemplo de estas situaciones se tiene el monitoreo constante del corazón a pacientes con problemas cardíacos, monitoreo a pacientes mayores que padecen problemas de memoria y en general el monitoreo de situaciones que puedan poner en peligro la vida de las personas sino se tratan a tiempo.

Se podría decir que todo aspecto médico es susceptible de un control y monitoreo con la ayuda de la tecnología, pero hay algunos que requieren más ayuda tecnológica que otros y hay unos cuantos en los que es imprescindible que se cuente con un apoyo mayor para poder salvar una vida, a continuación se referencia a los aspectos médicos más relevantes que se han enfocado hacia el uso de sistemas que se apoyan en la telemedicina y que acorde con el tema de este libro están relacionados con las WSN.

- Cuidado de pacientes mayores y niños: Este tipo de cuidado reviste mucha importancia y requiere de controles específicos en ciertas áreas, en algunos casos no tienen una enfermedad asociada como tal, sino que requieren de un control acerca de la movilidad de este tipo de pacientes y cuidado de los peligros que por su edad temprana o avanzada puedan estar expuestos.

- Enfermedad de Alzheimer (EA) y situaciones mentales: Es una enfermedad crónica, progresiva y degenerativa del cerebro. El curso de la EA es variable y dura entre 5 y 20 años. Representa entre 60% y 80% de todos los casos diagnosticados de demencia, siendo por tanto el más frecuente. La demencia, problemas de personalidad bipolar, entre otros también son importantes y a tener en cuenta a la hora de monitorear a pacientes que las padezcan.
- Las enfermedades cardiovasculares (ECV): Las enfermedades cardiovasculares son un conjunto de trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos. Se clasifican en: hipertensión arterial (presión alta), cardiopatía coronaria (infarto de miocardio), enfermedad cerebro vascular (apoplejía), enfermedad vascular periférica, insuficiencia cardíaca, cardiopatía reumática, cardiopatía congénita y miocardiopatías (OMS, 2013).
- Enfermedad de Parkinson (EP): Esta enfermedad es una patología neurodegenerativa causada por la pérdida de células dopaminérgicas en la sustancia negra mesencefálica. Esto produce una disfunción de los núcleos basales que se manifiesta con síntomas motores como temblor, rigidez y bradicinecia, entre otros (Aguilar et al, 2011).
- Cáncer: Es uno de los grandes retos de la medicina moderna y busca su detección y control a tiempo, el desarrollo de nuevos sensores podría ayudar a detectarlo aún sin necesidad de biopsias.
- Asma: El asma es un trastorno respiratorio crónico que se caracteriza por ataques recurrentes de disnea y sibilancias. Algunas causas y

desencadenantes son comunes a todas las personas que sufren la enfermedad, pero hay también diferencias individuales. Aunque las causas últimas del asma no se conocen del todo, los factores de riesgo más importantes son productos inhalados, entre los que cabe citar los siguientes: alérgenos en espacios cerrados (por ejemplo, los ácaros del polvo presentes en la ropa de cama, las alfombras y los muebles tapizados, la contaminación y la caspa de los animales domésticos); alérgenos en espacios exteriores (como pólenes y mohos); humo de tabaco, y; productos químicos irritantes en el lugar de trabajo. Otros factores desencadenantes pueden ser el aire frío, una emoción extrema, de enfado o miedo, y el ejercicio físico (OMS, 2013).

Los anteriores aspectos se podrían considerar los más relevantes, pero no los únicos en el campo médico y cuidado de la salud que actualmente tienen algún tipo de ayuda o propenden por la inclusión de las tecnologías como las WSN, sensores y transmisión de datos en tiempo real, para un monitoreo y control continuo de los mismos, y por ende una mejora en el campo de la salud.

En consonancia con los anteriores requerimientos médicos que necesitan atención y ayuda de la tecnología para un óptimo control y monitoreo de los mismos, a continuación, se nombran algunas aplicaciones en los temas antes señalados:

1.5.3.1. Aplicaciones para enfermedades cardiovasculares:

- Diseño de un prototipo de pulsímetro inalámbrico para la monitorización de pacientes pediátricos (Llamoca, 2012): Aplicación que permite transmitir de manera inalámbrica las mediciones de

frecuencia cardíaca de un paciente pediátrico. El trabajo es más desde el punto de vista electrónico y se enfoca hacia el desarrollo del pulsímetro. Es de uso local y no permite un control remoto del paciente en tiempo real.

- Hybrid wireless sensor network for home care monitoring of chronic patients (Dobrescu et al, 2009): Aplicación híbrida que utiliza sensores fijos en la casa y sensores en el cuerpo del paciente, su enfoque busca la transmisión en tiempo de real de las situaciones que pueda experimentar el paciente que está siendo monitoreado, particularmente está dirigido al control de la apnea de sueño, control del ritmo cardíaco y alertas acerca de la cotidianidad médica que debe tener el paciente.
- Mobile Telecare System for Real Time Medical Emergency Care (Rivera et al, 2012): Aplicación que propone la creación de un centro de asistencia remota a pacientes con situaciones de emergencia médica, principalmente monitorea signos vitales y transmisión en tiempo real de la situación.
- Implementation of an automated ECG-based diagnosis algorithm for a wireless body sensor platform (Rincón et al, 2009): Aplicación para el control en tiempo real de señales cardíacas con sensores ECG.

1.5.3.2. Aplicaciones para el cuidado de niños y personas mayores:

- The Hermes Shoe Platform (Wendt & Potkonjak, 2011): Aplicación que utiliza una serie de sensores en los zapatos de los pacientes, con

el fin de monitorear los movimientos de los mismos y la estabilidad que presenta la persona que usa dichos sensores.

- Wireless Health care Monitoring with RFID Enhanced Video Sensor Networks (Alemdar, 2010): Sistema de vigilancia remoto a pacientes mayores, utiliza las redes WSN y RFID para el monitoreo continuo.

1.5.3.3. Aplicaciones para la enfermedad de Alzheimer(EA) y otras enfermedades mentales:

- PSYCHE: Personalised Monitoring Systems for Care in Mental Health (Paradiso et al, 2010): Aplicación que permite el monitoreo de pacientes con trastornos de estado de ánimo, específicamente trastornos bipolares, la aplicación recolecta información mediante sensores que están ubicados en el cuerpo del paciente y también en la ropa del mismo, con el fin de analizar los datos y saber la tendencia posible del paciente, así como los avances en el tratamiento aplicado a la enfermedad que padece.
- Non-intrusive Patient Monitoring of Alzheimers Disease Subjects Using Wireless Sensor Networks (Avvenuti et al, 2010): Sistema de monitoreo para pacientes que padecen Alzheimer, permite hacer seguimiento a los movimientos del paciente y genera alertas en situaciones predeterminadas.

Como se puede observar la unión tecnología y medicina están evolucionando a favor de los usuarios, lo que permitirá mejores procesos y mayor campo de aplicación, sin embargo, los retos y problemas a solucionar también son importantes y estos hacen que el desarrollo no sea tan rápido como se quisiera. También se puede

identificar que la mayoría de las aplicaciones médicas con el uso de WSN están enfocadas hacia el monitoreo de enfermedades cardiovasculares y de movilidad de las personas principalmente, lo cual hace que en este campo las mejoras sean más evidentes y la evolución de los sensores también sea importante. En otros campos de la salud como el de la demencia y el Parkinson aún el desarrollo es bajo, pero ya se tienen antecedentes que pueden marcar la ruta para un mayor desarrollo.

1.6. Caso Especial – Preeclampsia con WSN

1.6.1. La preeclampsia (PE): Esta patología médica se define como una condición física de hipertensión en mujeres gestantes, de tipo heterogéneo y multisistémico (afectación difusa y generalizada de la enfermedad que puede afectar otros órganos), definida también como una hipertensión arterial (HTA) sostenida en la mujeres embarazadas la cual puede ser leve o grave (Solis, 2013), de acuerdo a la siguiente condición clínica: Leve cuando la presión arterial es de al menos 140/90 mmHg (PAS/PAD: Presión arterial sistólica / Presión arterial diastólica) , después de la semana 20 de gestación y proteinuria (Exceso de proteína en la orina) significativa de más de 2 g/24h (en un periodo de medición de 24 horas), edema moderado y volumen urinario mayor a 500 ml. Grave, cuando la presión arterial es mayor que 160/90 mmHg a partir de la semana 20 de gestación; tensión arterial sistólica mayor de 60 mmHg sobre el valor basal; tensión arterial diastólica mayor de 30 mmHg sobre el valor basal; proteinuria mayor de 5 g/24h, edema masivo, oliguria, síntomas sistémicos como edema de pulmón, cefalea, alteraciones visuales, dolor en hipocondrio derecho, elevación de las enzimas hepáticas o trombocitopenia. La aparición de una convulsión en pacientes con signos y síntomas de preeclampsia sin datos de

traumatismos o enfermedad neurológica identifica a la paciente con eclampsia.

1.6.2. Protocolo para diagnosticar la preeclampsia (PE): Según (Gutierrez et al, 2002), el proceso que se debe realizar ante una posible paciente con PE es el siguiente:

- Toma de la presión arterial (PA) de la paciente. Se debe hacer por lo menos en dos ocasiones seguidas. La PA se compone de la presión arterial sistólica (PAS) y la presión arterial diastólica (PAD).
- Si la PA es alta y por fuera de los rangos normales para la paciente (PAS mayor a 140 mmHg o PAD mayor a 90 mmHg). Se recomienda hacer una toma de muestra de orina de la paciente.
- Realizar el examen físico a la paciente para determinar un posible edema en la misma.
- Si la mayoría o todas las pruebas anteriores son valores positivos fuera de lo normal, se evalúa el tipo de preeclampsia que puede tener la paciente, para lo cual se tiene en cuenta: a) PE Leve si PAS está entre 140 y 160 mmHg y PAD se encuentra entre 90 y 110 mmHg; Proteinuria entre 2 g/24h y 5 g/24h; Sin edemas. b) PE grave si PAS es mayor que 160 mmHg y PAS mayor que 110 mmHg; Proteinuria mayor que 5 g/24h y existen edemas identificados.
- De acuerdo con el tipo de preeclampsia identificado del personal médico tratante determinara el procedimiento a seguir con la paciente.

Hasta ahora el procedimiento anterior se lo realiza en un puesto de salud o en un hospital según sea el caso, aun el sistema de salud actual no contempla estas pruebas en la casa de las pacientes o mediante elementos que puedan monitorear y advertir ante posibles señales de preeclampsia y menos aún con lecturas amigables y entendibles para las usuarias, acorde a lo anterior se tomó este caso como una oportunidad de aplicar las WSN en este tipo de situaciones.

1.6.3. Marco del problema: El monitoreo de señales biomédicas, tales como el pulso cardiaco (Gomez & Castaño, 2012), la presión arterial (Gao et al, 2012), la temperatura y la respiración principalmente (Rojas & Romero, 2013), se constituyen como un proceso que puede ser rutinario en una revisión médica, pero es una necesidad constante cuando una persona tiene una afección que puede generar riesgos para su vida, los cuales se pueden minimizar gracias al uso de sistemas de monitoreo que faciliten este proceso. Los reportes o alarmas generados por el sistema de monitoreo, deben resumir sus conclusiones de forma interpretable, permitiéndole al personal médico a cargo o al usuario, tomar las acciones del caso con la mayor certeza posible. Acorde a lo anterior, el caso descrito, requiere que se facilite la generación e interpretación de los reportes que se desarrollan a partir de los flujos de datos capturados por los sensores biomédicos y dispositivos que tiene una persona en un centro médico, o en su hogar, para el monitoreo de una enfermedad o situación médica específica. En el caso de estudio que se relaciona en este libro hace referencia a la patología denominada preeclampsia y las variables médicas que se han estudiado para monitorear la misma, que son: presión arterial y niveles de proteinuria. A continuación, se describen: la variable médica a monitorear y los tipos de sensores y dispositivos requeridos. Más adelante en otros

capítulos de este libro se habla acerca de otras variables y elementos que se han utilizado para proponer una solución al caso planteado.

1.6.4. Variables medicas a monitorear: Una de las variables que debe ser monitoreada cuando los casos médicos se refieren a la PE, es la presión arterial (PA) (que, si bien no es la única, es muy importante dentro de este tipo de enfermedades), la cual debe ser monitoreada y controlada para evitar que la enfermedad alcance otros estados más traumáticos (Solis, 2013), o incluso cause la muerte. Para la atención y monitoreo de esta variable se han estudiado algunos protocolos obstétricos relacionados con la PE (Gutierrez et al, 2002). Por otro lado, y de manera relacional con las medidas que se deben tomar en el monitoreo de la PA, también aparece la proteinuria, la cual en pacientes con esta patología debe ser monitoreada (Gomez, 2000), y para efectos del presente caso de estudio tomado en este libro, es la segunda variable que se ha analizado, que, si bien no es tan relevante como la presión arterial, es significativa y complementaria para el control médico de la patología en estudio.

1.6.5. Sensores para la presión arterial y métodos de detección de proteinuria: Con la evolución y posicionamiento de las redes de sensores inalámbricos (WSN) y en general con la IoT (Want et al, 2015), es muy común encontrar diferentes proyectos y productos que relacionen el desarrollo de un sensor para algún tipo de señal biomédica, así como para otras actividades que atañen al hombre. Para el caso que concierne existen sensores de tipo artesanal o prototipos, como los mencionados por (Llano et al, 2007) (Londoño et al, 2012), (Lopez, 2006), (Myilvaganan, 2014) y (Menenes, 2013), que son de tipo no invasivo, portátil y caseros principalmente, hasta los de tipo

comercial como el monitor de presión arterial (Blood Pressure Monitors) de iHealth³, que funcionan con teléfonos inteligentes. Independientemente del tipo de dispositivo que se utilice, los valores que entregará el sensor para este tipo señal biomédica son: la presión sistólica (PAS) (Refiere a las contracciones del ventrículo izquierdo) y presión diastólica (PAD) (Resistencia que oponen las arterias al paso de sangre), ambas medidas en milímetros de mercurio (mmHg).

La otra variable que se consideró es la proteinuria, que según (Escalante, 2007) se define como presencia anormal de proteínas en la orina, que para el caso de estudio relacionado puede indicar que la patología puede tener una afectación multisistémica, específicamente asociada con problemas de los riñones entre otros órganos principalmente. Para esta variable no se han diseñado sensores, dado que su medición se realiza mediante la evaluación de muestras de orina de la paciente en monitoreo, generalmente una al inicio de la revisión y otra, 24 horas después de la primera muestra. Para esta medición existen diferentes métodos, los que se realizan directamente en el laboratorio de los centros médicos, o mediante tiras reactivas (Laboratorio Urine, 2000), que se pueden utilizar en el hogar de la paciente.

En el siguiente capítulo se encuentra el dispositivo propuesto para el control de la variable PAS/PAD antes mencionada y la forma en que aplicó.

3 <https://ihealthlabs.com/blood-pressure-monitors/>

1.7. Referencias Capítulo:

(Aakvaag & Frey, 2006) Aakvaag, N., & Frey, J. E. (2006). Redes de sensores inalámbricos. Revista ABB, 2, 39-42.

(Abramson, 1970) Abramson, N. (1970, November). THE ALOHA SYSTEM: another alternative for computer communications. In Proceedings of the November 17-19, 1970, fall joint computer conference (pp. 281-285). ACM.

(Acedo et al, 2008) ACEDO, M., MOLINA, M., SILVA, R., MARCIANO, M. y PORTILLA, R. Revisión del proceso de identificación de nodos en las wireless sensor networks. CIDETEC-IPN. Departamento de Posgrado. Área de Telemática. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. C.P. 07700, México, D.F., MÉXICO, 2008.

(Aguilar et al, 2011) AGUILAR Oscar, SOTO Camila, and ESGUERRA Mauricio. Neuropsychological changes associated with deep brain stimulation of parkinson disease: Theoretical review. 18(2), 2011.

(Alemdar, 2010) ALEMDAR, Hande, DURMUS, Yunus, y ERSOY, Cem. Wireless health care monitoring with rfid-enhanced video sensor networks. 2010(473037), 2010.

(Ashraf & Hassanien, 2011) ASHRAF, Darwish y HASSANIEN, Aboul Ella. Wearable and implantable wireless sensor network solutions for healthcare monitoring, 2011.

(Avvenuti et al, 2010) AVVENUTI, M., BAKER, C., LIGHT, J., TULPAN, D. y VECCHIO, A. Nonintrusive patient monitoring of alzheimers disease subjects using wireless sensor networks, 2010.

(Becerra et al, 2012) BECERRA, LUNA Brayans, DÁVILA GARCÍA, Rodrigo, SALGADO RODRÍGUEZ, Paola, MARTÍNEZ MEMIJEÁ, Raúl y INFANTE VÁZQUEZ, Óscar. Monitor de señales de electrocardiografía y frecuencia cardiaca mediante un teléfono móvil con el protocolo de comunicación Bluetooth. ELSEVIER DOYMAN - Archivos de cardiología de México, 82:197–203, 2012.

(Bell, 1876) Bell, A. G., Telephone United States Patent No. 174, 465, (1876)

(Burrell & Beckwith, 2004) BURRELL, J., BROOKE, T. y BECKWITH, R. Vineyard computing: Sensor networks in agricultural production. IEEE Pervasive Computing, page 3, 2004.

(Cabrera, 2011) CABRERA Quiroz, Laura Cristina. Diseño de un simulador para redes inalámbricas de sensores con nodos CRTECMOTE. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería electrónica. Costa Rica. 2011.

(Campaña & Londoño, 2014) Campaña, S. E., & Londoño, J. M. (2014). A Characterization of data transfer modes in Wireless Sensor Networks based on IEEE 802.15. 4 in Real-time. IEEE LATINCOM.

(Carvalho et al, 2011) CARVALHO, Sergio T., ERTHAL, Matheus, MARELI, Douglas, SZTAJNBERG, Alexandre, COPETTI, Alessandro y LOQUES, Orlando. Monitoreo remoto de pacientes em ambiente domiciliar. Instituto de Computacao Universidade Federal Fluminense (UFF) - Instituto de Informática Universidade Federal de Goiás (UFG) - Universidade de do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 2011.

(Cervantes de Avila et al, 2012) CERVANTES DE AVÍLA, Humberto, NIETO, Juan Iván, SÁNCHEZ, LÓPEZ Juan de Dios, MARTÍNEZ, Miguel Enrique, ROSAS, Memijea y HAWA CALVO, Aram. Arquitectura de e-salud basada en redes inalámbricas de sensores. 6(2), 2012.

(Cheng, 2012) CHENG, Kwang. Machine-to-machine communications for healthcare. Journal of Computing Science and Engineering, 6:119–126, 2012.

(Chipcon, 2004) CHIPCON as SmartRF. CC2420 Preliminary Datasheet (rev 1.2). Datasheet. 2004.

(Corchado et al, 2010) CORCHADO, Juan M., BAJO, Javier, TAPIA, Dante I. y ABRAHAM, Ajith. Using heterogeneous wireless sensor networks in a telemonitoring system for healthcare. 14(2), 2010.

(Corral & Belen, 2005) CORRAL Ignoto, Ana Belén. Diseño e implementación de un entorno de simulación para redes de sensores

inalámbricos. Escuela técnica superior de ingeniería de telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena. España. 2005.

(Crilly & Muthukkumarasamy, 2010) CRILLY, Patrick y MUTHUKKUMARASAMY, Vallipuram. Using smart phones and body sensors to deliver pervasive mobile personal healthcare, 2010.

(Cusack & Kyaw, 2012) CUSACK, Brian y KYAW, ArKar. Forensic readiness for wireless medical systems. In 10th Australian Digital Forensics Conference, Novotel Langley Hotel, Perth, Western Australia, 3rd-5th December, 2012.

(Delicato et al, 2010) DELICATO, F., PIRES, P., PIRMEZ, L. y BATISTA, T. Wireless sensor networks as a service. In 17th IEEE International Conference and Workshops on Engineering of Computer-Based Systems, 2010.

(Digi, 2010) módulos XBee serie 2 que es de 84 bytes (Digi, 2010) - Digi Internacional Inc. XBee ® / XBee-PRO ® ZB RF Modules Digi International Inc.

(Dobrescu et al, 2009) DOBRESCU, Radu, POPESCU, Dan, NICOLAE, Maximilian y MOCANU, Stefan. Hybrid wireless sensor network for homecare monitoring of chronic patients. 3, 2009.

(Egbogah & Fapojuwo, 2011) EGBOGAH, Emeka E. y FAPOJUWO, Abraham O.A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks, 2011.

(Escalante, 2007) Escalante-Gomez C., Zeled Sanchez F. and Ulate-Montero G. Proteinuria, fisiología y fisiopatología aplicada. Acta Costarricense. 2007; 49:83 – 89.

(Felisberto et al, 2012) FELISBERTO, Filipe, COSTA, Nuno, RIVEROLA, Florentino Fdez y PEREIRA, António. Unobstructive body area networks (BAN) for efficient movement monitoring, 2012.

(Gao et al, 2012) Gao M., Zhang Q., Ni L., Liu Y., and Tang X. Cardiosentinal: A 24-hour heart care and monitoring system. Journal of Computing Science and Engineering. 2012; 6(1):67-78.

(Garbarino & Echeverria, 2012) Garbarino, J., & Echeverria, A. (2012). Protocolos Para Redes Inalámbricas de Sensores. Editorial Académica Española.

(Girod, 2012) GIROD, Fortuño Antón. Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo Xbee de Digi. Universitat Rovira Virgili. Escola Tècnica Superior Enginyeria. 2012.

(Godoy et al, 2012) GODOY, Pablo & IACONO, Lucas & CAYSSIALS, Ricardo & GARCÍA, Carlos. Simulación de Redes de Sensores Inalámbricos Mediante Autómatas Celulares. Instituto Universitario para las tecnologías de la información y la comunicación UNCuyo. Laboratorio de Investigación y Desarrollo para la producción integrada por computadora. ITU. Universidad de Mendoza. Universidad Nacional del Cuyo. 2012.

(Gomez, 2000) Gomez Sosa E. Trastornos hipertensivos durante el embarazo. Revista cubana de obstetricia y ginecología. 2000; 26(2):99-114.

(Gómez & Carmona, 2006) GÓMEZ, B. y CARMONA, ¿J.V. Sabes quién soy abuelo?, 2006.

(Gomez & Castaño, 2012) Gomez J.A. and Castaño L.M. Desarrollo de un sistema de monitoreo inalámbrico para señales biomedicas. 2012.

(Gonzalez et al, 2009) GONZALEZ, Alejandro Ascensio & NUÑEZ, Arturo Miguel & GARCIA, Javier Pascual. Diseño de un simulador para redes de sensores. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Informática. 2009.

(Gutierrez et al, 2002) Gutierrez A., Herraiz M., Bellon M., Martell N. and Escudero M. Protocolo de actuación ante la preeclampsia. Nuestra experiencia. 2002.

(Hanson et al, 2009) HANSON, Mark A., POWELL, Harry C., BARTH, Adam T., RINGGENBERG, Kyle, CALHOUN, Benton H., TAYLOR, James H.yLACH, John. Body area sensor networks: challenges and opportunities. 2009.

(Hartung et al, 2006) HARTUNG, C., HAN, R., SEIELSTAD, C. y HOLBROOK, S. Firewxnet: A multi-tiered portable wireless system for

monitoring weather conditions in wild land fire environments. Proc. of the 4th Int. Conf.on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys), 2006.

(Haque & Rahman, 2014) Haque, S. A., Aziz, S. M., & Rahman, M. (2014). Review of cyber-physical system in healthcare. international journal of distributed sensor networks.

(Holger & Andreas, 2005) Holger, Karl & Andreas, Willig. (2005). Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. Wiley.

(Hue et al, 2008) HU, Fei, JIANG, Meng, CELENTANO, Laura y XIAO, Yang. Robust medical adhoc sensor networks (masn) with wavelet-based ECG data mining, 2008.

(Kaschel & Perez, 2014) KASCHEL Cárcamo, Héctor & PÉREZ Bahamondes, José. Monitoreo ubicuo de salud en tiempo real con WBSN. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. Vol. 22 No 2. 2014. pp 169-176. Chile. 2014.

(Ko et al, 2010) KO, Jeong Gil, LU, Chen yang, SRIVASTAVA, Mani B., STANKOVIC, John A., TERZIS, Andreas y WELSH, Matt. Wireless sensor networks for health care. IEEE 2010, 98, 2010.

(Kresimir et al, 2012) KRESIMIR, Grgic, DRAGO, Zagar y VISNJA, Krizanovic. Medical applications of wireless sensor networks current status and future directions. MEDICINSKI GLASNIK Official publication of

the Medical Association of Zenica-Doboj Canton, Bosnia and Herzegovina, 9:23–31, 2012.

(Kumar et al, 2012) KUMAR, P., SINGH, M.yTRIAR, U. A review of routing protocols in wireless sensor network. National Institute of Technology Patna, Bihar, India. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 1, 2012.

(Kwak & Ullah, 2010) Kwak, K. S., Ullah, S., & Ullah, N. (2010, November). An overview of IEEE 802.15. 6 standard. In Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), 2010 3rd International Symposium on (pp. 1-6). IEEE.

(Laboratorio Urine, 2000) Laboratorios W. Urine Strip - Tiras Reactivas. Wiener Lab. 2000.

(Landt, 2005) Landt, J. (2005). The history of RFID. IEEE potentials, 24(4), 8-11.

(Lee et al, 2009) LEE, Hak Jong, LEE, Sun Hee, HA, Kyoo-Seob, JANG, HakChul, CHUNG, Woo-Young, KIM, Ju Young, CHANG, Yoon-Seok y YOO, Dong Hyun. Ubiquitous healthcare service using zigbee and mobile phone for elderly patients, 2009.

(Lennvall & Svensson, 2008) Tomas, Lennvall & Stefan, Svensson. (2008). A Comparison of WirelessHART and ZigBee for Industrial Applications. Factory Communication Systems, pages 85–88.

(Liang & Jan, 2011) MIKE Liang, Chieh-Jan. Interference Characterization And Mitigation In Large-Scale Wireless Sensor Networks. Johns Hopkins University. Baltimore. Maryland. 2011.

(Llamoca, 2012) LLAMOCA, CHAHUA, KIOKO, Yessenia. Diseño de un prototipo de pulsímetro inalámbrico para la monitorización de pacientes pediátricos, 2012.

(Llano et al, 2007) Llano L., Zapata G. and Ovalle D. Sistema de inferencia difuso para identificar eventos de falla en tiempo real del sistema usando registros soe. fuzzy inference system to identify faults events in real time using soe registries. Revista Avances en Sistemas e Informatica. 2007; 4(2).

(Lopez, 2006) Lopez Herrera A.G. Modelos de sistemas de recuperación de información documental basados en información lingüística difusa. 2006.

(Londoño et al, 2012) Londoño J.G., Duque J.D. and Valdivieso A.M. Diseño de un dispositivo portátil e inalámbrico para el monitoreo ambulatorio de la presión arterial no invasiva. 2012.

(Lynch & Loh, 2006) LYNCH, J. y LOH, K. A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring. Shock and Vibration Digest, 2006.

(Marín, 2008) Marín, E. (2008). Escuchando la luz: breve historia y aplicaciones del efecto foto acústico. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol, 2(2), 209.

(Martínez et al, 2008) MARTINEZ, Diego & BLANES, Francisco & SIMO, José & CRESPO, Alfonso. *Redes de Sensores y Actuadores Inalámbricas: Una Caracterización y Caso de Estudio para Aplicaciones Médicas en Espacios Cerrados*. Universidad Autónoma de Occidente. Universidad Politécnica de Valencia. Colombia – España. 2008.

(Mayné, 2009) MAYNÉ, Jordi. Estado actual de las Comunicaciones por Radio Frecuencia. *SILICA An Avnet Divison. Comunicaciones inalámbricas*. 2009.

(Menenes, 2013) Meneses G. and Lemos J. Consideraciones de diseño para la integración de dos metodos no invasivos de medición de la presión arterial en un dispositivo portable. In *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB*. Springer. 2013; Habana, Cuba, pp 834-837.

(Min et al, 2012) MIN, Gao, QIAN, Zhang, LIONEL, Ni, YUNHUI, Liu y XIAOXI, Tang. *Cardiosentinal: A 24-hour heart care and monitoring system*. *Journal of Computing Science and Engineering*, 6:67–78, 2012.

(Mohan & Sinciya, 2013) MOHAN, Gouri y SINCIYA, P. O. *Real time health care system for patient swith chronic diseases in home and hospital environments*, 2013.

(Morparia et al, 2007) MORPARIA, Kunal & SHAH, Priyen & SHAH, Bhanik. Experimental Study of Concurrent Packet Transmission in Wireless Sensor Networks using Tmote Sky devices. EE652 - Wireless Sensor Networks, Fall-2007.

(Mottola & Pietro, 2008) MOTTOLA, Luca y PIETRO, PiccoGian. Programming wireless sensor networks: Fundamental concepts and state of the art. ACM Journal Name, V, 2008.

(Moya & Huidrobo, 2006) Moya, J. M. H., & Huidobro, J. M. (2006). Redes y servicios de telecomunicaciones. Editorial Paraninfo.

(Myilvaganan, 2014) Mayilvaganan M. and Rajeswari K. Health care analysis based on fuzzy logic control system. Blood pressure. 2014; 180(110):70.

(NCO, 2009) NCO/NITRD. National coordination office.high-confidence medical devices: Cyber-physical systems for 21st century health care.Prepared by the High Confidence Software and Systems Coordinating Group of the Networking and Information Technology Research and Development Program, 2009.

(OMS, 2013) OMS. Enfermedades cardiovasculares, 2013.

(Pantelopoulos, 2010) PANTELOPOULOS, Alexandros y BOURBAKIS, Nikolaos G. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics part C: Applications and Reviews, 40, 2010.

(Paradiso et al, 2010) PARADISO, R., BIANCHI, A. M., LAU, K. y SCILINGO, E.P. Psyche: Personalised monitoring systems for care in mental health. 2(10), 2010.

(Pham, 2012) PHAM, Congduc. VideoSense: a simulation model of image sensors under OMNET++/Castalia. Université de Pau et des Pays de L'adour. Ressacs. 2012.

(Quiroz, 2013) Quiroz, S. A. A., & Telecomunicaciones-UPB, E. E. Redes De Sensores Inalámbricos Utilizando Zigbee/802.15. 4.

(Ramos et al, 2015) Ramos, R. D. L., Ariza, L. L. C., & Delgado, B. M. (2015). Análisis del rendimiento de redes basadas en el estándar IEEE 802.15. 4. Revista UIS Ingenierías, 14(1).

(Rehunathan, 2010) REHUNATHAN, Devany BHATTI, Saleem. Application of virtual mobile networking to real-time patient monitoring, 2010.

(Rincón et al, 2009) RINCÓN, Francisco J., GUTIÉRREZ, Laura, JIMÉNEZ, Mónica, DÍAZ, Víctor, KHALED, Nadia, ATIENZA, David, SÁNCHEZ, Marcos, RECAS, Joaquín, y DE MICHELI, Giovanni. Implementation of an automated ECG based diagnosis algorithm for a wireless body sensor platform, 2009.

(Rivera et al, 2012) RIVERA RODRÍGUEZ, R., SERRANO SANTOYO, A., TAMAYO FERNÁNDEZ, R. y ARMENTA RAMADE, A. Mobile telecare system for realtime medical emergency care. 13(1), 2012.

(Rivero et al, 2012) RIVERO VARONA, Martha Mireya, RIVAS, Eduardo, CARTAYA LOPEZ, Mary Eugenia, VALLES CRUZ, Juliette, MEISSIMILLY GONZÁLEZ, Gay, HERNÁNDEZ, Susana y ARMAS ROJAS, Nurys B. Assessment of a telemetry monitoring system (movicorde) developed in Cuba. Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular – Órgano Oficial de la Sociedad Cubana de Cardiología, 18, 2012.

(Rojas & Romero, 2013) Rojas Ochoa K.B., Romero C. and Romero P. Modelo de procesamiento digital de señales cardíacas desarrollado en matlab. Telematique. 2013; 12(2):21-36.

(Romero, 2013) Romero Kanashiro, W. R. (2013). Redes inalámbricas y simulación de WLAN mediante OPNET (Bachelor's thesis, Universitat Oberta de Catalunya).

(Saigua & Villafuerte, 2013) SAIGUA, Silvia & VILLAFUERTE, Maria. Evaluación de las topologías Físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales para el G.E.A.A-Epoch. Escuela superior politécnica de Chimborozao. Riobamba. Ecuador. 2013.

(Salinas, 2005) Salinas, J. (1995). Las redes: ordenadores y telecomunicaciones en la enseñanza secundaria. Aula de innovación educativa, 4(40-41), 10-14.

(Sheth, et al, 2005) SHETH, A., TEJASWI, K., MEHTA, P., PAREKH, C., BANSAL, R., MERCHANT, S., SINGH, T., DESAI, U., THEKKATH, C. y TOYAMA, K. Senslide: A sensor network based landslide prediction system. Proc. of the 3rd Int. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), 2005.

(Soli, 2013) Soli S.B. Presentación y evolución de las pacientes ingresadas en la unidad de cuidados intensivos con diagnóstico de preeclampsia-eclampsia. 2013.

(Song et al, 2008) Jianping, Song, Song, Han, Aloysius, Mok, Deji, Chen, Mike Lucas, Mark Nixon & Wally Pratt. (2008). WirelessHART : Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control. Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, pages 377–386.

(Sosa, 2011) SOSA, Eduardo. Contribuciones al establecimiento de una red global de sensores inalámbricos interconectados. Phdthesis, facultad de informática – Universidad Nacional de La Plata Argentina, 2011.

(Stehlik, 2011) STEHLÍK, Martin. Comparison of Simulators for Wireless Sensor Networks. Masarik University. Faculty of Informatics. Brno, spring. 2011.

(Vargas, 2017) Averos Vargas, J. E. (2017). Estudio del Estándar IEEE 802.15. 6 y Simulación de los Parámetros de Transmisión en una Red de Área Corporal en la Banda de Frecuencia de 2.4 GHz (Doctoral dissertation, Quito, 2017.).

(Wang et al, 2010) WANG, Honggang, PENG, Wei Dongming, WANG, Dartmouth, SHARIF, Hamid, CHEN, Hsiao-Hwa y KHOYNEZHAD, Ali. Resource-aware secure ECG healthcare monitoring through body sensor networks, 2010.

(Want et al, 2015) Want R., Schilit B.N. and Jenson S. Enabling the internet of things. Computer. 2015; (1):28-35.

(Wendt & Potkonjak, 2011) WENDT, James B. y POTKONJAK, Miodrag. Medical diagnostic based sensor selection.3(11), 2011.

(Yang et al, 2009) Gill, K., Yang, S. H., Yao, F., & Lu, X. (2009). A zigbee-based home automation system. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 55(2).

(Zeng et al, 2011) ZENG, Yuanyuang & SREENAN, Cormac & SITANAYAH, Lanny & XIONG, Naixue & HYUK Park, Jong & ZHENG, Guilin. An Emergency-Adaptive Routing Scheme for Wireless Sensor Networks for Building Fire Hazard Monitoring- OPEN ACCESS SENSOR. ISSN. 1424-8220.

(Zhang & Zhang, 2011) ZHANG, Jin y ZHANG, Qian. E-doctor: A real time home monitoring and mobile healthcare plataform. IEEE COMSOC MMTCE-Letter, 6, 2011.

(Ziouva & Antonakopolulos, 2002) Ziouva, E., & Antonakopoulos, T. (2002). CSMA/CA performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis. Computer communications, 25(3), 313-321.

Capítulo 2:

Sensores y dispositivos utilizados para el cuidado de la salud

Los avances tecnológicos han permitido mejorar la calidad de vida de las personas, puesto que facilitan la optimización de múltiples procesos de la vida cotidiana. El área de la salud no es la excepción, puesto que se han desarrollado diversos dispositivos y aplicaciones que ayudan en el trabajo del personal médico, posibilitando procedimientos más confiables y seguros para los pacientes y análisis de los resultados de los procedimientos en los cuales se utilizan. Por lo anterior en este capítulo se revisa la clasificación de la tecnología en el cuidado de la salud, enfocándose en dispositivos electrónicos existentes y en la posibilidad de desarrollo de nuevos dispositivos, específicamente tomando como referencia la patología mencionada al final del capítulo anterior: la preeclampsia.

En este capítulo se hace referencia a la descripción del procedimiento médico para la atención de pacientes con preeclampsia, en donde se

específica que dentro de los procedimientos importantes que requiere el manejo de esta patología, es necesario realizar pruebas de orina y monitoreo de la presión arterial de las pacientes que la padecen. Usualmente, para un análisis de orina es necesario realizar pruebas de laboratorio, pero hoy en día existen dispositivos y elementos tecnológicos que entregan resultados confiables de forma ambulatoria, algunos de estos dispositivos se mencionan en este apartado. Con respecto a los métodos para la medición de presión arterial, se nombran diversos instrumentos existentes, mencionando sus características, ventajas y desventajas. Un elemento diferenciador que tiene el capítulo es que se mencionan los dispositivos existentes y la evolución que han tenido los mismos, acorde con el desarrollo tecnológico evidente en el mundo; pasando de métodos manuales a automáticos y de dispositivos grandes y robustos a pequeñas manillas para monitoreo continuo.

En la parte final de este capítulo, se detallan los tipos de medición de presión arterial que existen y la variedad de sensores que se utilizan en la medición de esta magnitud, cerrando este estudio con la descripción de la propuesta de un prototipo de monitor de presión arterial que se ha diseñado y es el resultado de varias investigaciones del grupo Davinci, en donde se describe cada una de las etapas que lo componen, con el objetivo de proponer a futuro un dispositivo de permita realizar un control óptimo de presión arterial en pacientes con preeclampsia.

2.1. Dispositivos para el cuidado de la salud

Es evidente que los grandes avances en la tecnología han mejorado la calidad de vida de las personas. Las telecomunicaciones, transporte, agricultura y educación, son algunas de las áreas en donde la tecnología

realiza su aporte, permitiendo optimizar procedimientos. El cuidado de la salud no es ajeno a estos avances, con la creación de nuevos dispositivos y aplicaciones, facilitando el acceso a más personas, con mayor exactitud y por lo tanto elevando la calidad de vida de las mismas (Aguilar, 2012). La tecnología dentro de la medicina se puede clasificar de la siguiente manera:

2.1.1. Tecnologías preventivas: su propósito es evitar enfermedades, favoreciendo el sostenimiento de la vida de las personas. Un ejemplo de esta tecnología es la mamografía, que consiste en una radiografía de los senos, la cual permite detectar cáncer antes de que la paciente presente síntomas, haciendo que enfermedad pueda llegar a ser más tratable.

2.1.2. Tecnologías de diagnóstico: su objetivo es la detección de enfermedades en un paciente. En esta tecnología se encuentra la tomografía axial computarizada o TAC, que permite a través del uso de rayos X obtener imágenes radiográficas del interior del organismo, con el fin de detectar enfermedades y su condición.

2.1.3. Tecnologías de terapia o rehabilitación: se encargan de los cuidados médicos con el fin de tratar la enfermedad en un paciente. Los electro estimuladores son un ejemplo de esta tecnología, estos dispositivos se utilizan para la rehabilitación de los músculos por medio de la transmisión de impulsos eléctricos.

Algunas de las aplicaciones de la tecnología en el cuidado de la salud son las siguientes (Migala, 2015):

2.1.4. Aplicaciones de salud: Son miles las aplicaciones que existen en la web que se encargan de diversas funciones, como recordatorio para la toma de medicamentos, registrar signos vitales como pulso y presión arterial. Son ideales para la administración de medicamentos y en el tratamiento de enfermedades crónicas. Una de estas aplicaciones es "fooducate", que se trata de una APP⁴ que permite planear la dieta alimenticia con el fin de bajar de peso, mejorar la salud y estado físico, por medio de dietas balanceadas.

2.1.5. Portales médicos electrónicos: Facilitan la interacción entre el paciente y la entidad prestadora de salud, permitiendo gestionar citas, la entrega de resultados de laboratorio y la solicitud de medicamentos. Uno de estos portales muy popular en Estados Unidos de América es "MyChart", que se constituye en una herramienta de administración de salud en línea, permitiendo contactar con el equipo de atención médica de la Clínica de Cleveland las 24 horas del día.

2.1.6. Monitoreo de enfermedades en el hogar: Son herramientas que permiten a los pacientes llevar un control de sus enfermedades sin la necesidad de asistir constantemente al consultorio médico. En este punto se encuentran los monitores portátiles de signos vitales, presión arterial y monitores cardíacos.

2.1.7. Telemedicina: Es una modalidad del servicio médico, que en el caso de emergencias o que el médico no se encuentre disponible en el centro hospitalario, el paciente puede recibir un concepto o tratamiento de forma remota. Hay muchas opciones de este servicio en el mundo,

⁴ APP: es una abreviatura de la palabra en inglés aplicación, entonces cuando se habla de APP se refiere a un programa, la diferencia está en que este término se utiliza para referirse a programas para dispositivos como teléfonos inteligentes, y tabletas digitales principalmente.

en Colombia se cuenta con la AIT (Asociación Colombiana de Telemedicina), que impulsa la implementación de esta modalidad. Un ejemplo exitoso a nivel internacional es “Telestroke”, que es un servicio para tratar accidentes cerebrovasculares, el cual permite a un neurólogo proporcionar un tratamiento remoto.

2.2. Dispositivos para la atención de la Preeclampsia

Como se mencionó anteriormente en el capítulo uno de este libro, el caso de aplicación que se trabajó a nivel de investigación con las redes de sensores inalámbricas (WSN), fue el monitoreo de pacientes que padecen una patología denominada preeclampsia; donde las pruebas más comunes que se realizan para diagnosticar dicha patología son la medición de los niveles de proteína en la orina y monitoreo de la presión arterial. Para la primera prueba, relacionada con establecer los niveles de proteína en la orina o proteinuria de las pacientes, se puede realizar un examen de microalbuminuria, que permite determinar la cantidad de la proteína albúmina que se encuentra en la orina, si el nivel de esta proteína sobrepasa ciertos límites puede indicar posibles daños renales. Actualmente, existen en el mercado dispositivos para realizar el examen de microalbuminuria bajo el principio Point Of Care (POC). Este principio tiene como objetivo realizar exámenes de precisión y calidad al lado del paciente. Uno de estos dispositivos es el analizador Albumin 201 de la marca Tecnomed, que se muestra en la figura 2.1. El Albumin 201 es un analizador portátil que requiere de una gota de orina para su funcionamiento; la muestra se introduce en el dispositivo en una película de parafina y 90 segundos después se obtienen los resultados.



Figura 2.1. Analizador Albumin 201.

Fuente: (Tecnomed, Albumin 201®, 2017)

Otra alternativa para determinar la albúmina en la orina se presenta en la figura 2.2, se trata del analizador Afinion ACR de la marca Alere. Este dispositivo entrega resultados en cinco minutos, lo que permite determinar patologías renales en pacientes con hipertensión, facilitando cambios oportunos en los tratamientos.



Figura 2.2. Analizador Afinion ACR.

Fuente: (Alere, 2017)

2.3. Métodos para la medición de presión arterial en la Preeclampsia

Según (Usaid, 2011), la hipertensión ocurre aproximadamente en el 10% de embarazos después de 20 semanas de gestación. Una presión arterial elevada registrada en un intervalo de 4 horas, puede indicar

hipertensión crónica, preeclampsia o eclampsia. En muchos casos en donde no es posible realizar una prueba de proteinuria el diagnóstico y el tratamiento están sujetos a la medición precisa de la presión arterial (Usaid 2011). Para realizar este proceso es importante que la paciente se encuentre sentada como mínimo 5 minutos antes de realizar la medición, el brazalete debe ajustarse al diámetro del brazo, cuando se utilicen equipos electrónicos, estos deben recibir calibración periódica (Bogotá Humana, 2013). Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se especifican los diferentes métodos para la medición de presión arterial, en el caso mencionado (PE). Encontrándose dos métodos para realizar la medición de presión arterial, el invasivo y no invasivo, los cuales se describen a continuación:

2.3.1. Método de medición invasivo: Consiste en la medición directa de la presión arterial mediante la inserción de un catéter en una arteria el cual está conectado a un transductor de presión (Nummelin, 2015). Por lo anterior, este método se utiliza en ambientes hospitalarios y dificulta su uso en la práctica diaria. La ventaja de este tipo de monitoreo es que es la forma más precisa de medir la presión arterial, además de que permite una monitorización continua, pero tiene un alto riesgo de infecciones y complicaciones.

2.3.2. Método de medición no invasivo: En este caso la medición se realiza de forma indirecta por encima de la piel utilizando diferentes técnicas cada una con algunas ventajas y desventajas (Chaithanya, Kishore, & Srinivasulu, 2014). Los métodos utilizados se describen a continuación:

2.3.2.1. Métodos Manuales: Son métodos que requieren de la intervención humana en la utilización de las herramientas que hacen la medición.

2.3.2.1.1. Método de palpación: En este método se infla un brazalete ubicado en el brazo hasta que el pulso radial desaparezca (Escobar, 2012). Luego, mediante palpación de la misma manera que se toma un pulso, lentamente se deja salir el aire hasta que el pulso retorne, en este punto el primer latido que se registre corresponde a la presión sistólica y se continúa la descompresión del brazalete percibiéndose de esta forma un latido cada vez más intenso y vibrante hasta un máximo, a partir del cual desciende la intensidad del latido. Las desventajas de este método son que la presión diastólica no puede determinarse, lo que lo hace bastante inexacto.

2.3.2.1.2. Método auscultatorio: En este método se infla un brazalete alrededor del brazo, el cual está unido a un sistema de mercurio donde se mide la presión arterial (Sorvoja, 2006). Además, se usa un fonendoscopio para auscultar los ruidos de Korotkoff, estos ruidos reflejan los cambios en el flujo sanguíneo a través de la arteria a medida que se desinfla el brazalete, lo que permite establecer los valores de la presión arterial sistólica y diastólica.

2.3.2.2. Métodos Automáticos: Corresponde a métodos donde se utilizan dispositivos que hacen el proceso de medición sin intervención humana directa.

2.3.2.2.1. Método oscilométrico: En este método en lugar de usar el fonendoscopio y el oído de un experto, el brazalete se conecta a un compresor de aire y a un sensor de presión electrónico, como el MPX5050 de Freescale Semiconductor (López, 2012). Inicialmente el brazalete se infla hasta que se alcanza una presión de alrededor de 240 mmHg, luego, durante un periodo de 30 segundos el brazalete es desinflado lentamente. Cuando el brazalete se desinfla aparecen pulsaciones que representan la presión arterial, que se calcula usando algoritmos computacionales implementados en sistemas con microprocesadores. En la figura 2.3, se muestra la onda característica del método oscilométrico. El punto (1) indica el valor de presión sistólica, mientras que el punto (2) muestra el valor de la presión diastólica.

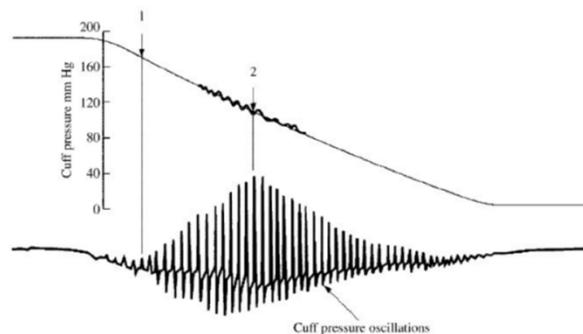


Figura 2.3. Onda Característica del método oscilométrico.

Fuente: (Webster, 1998)

2.3.2.2.2. Fotopletismografía: En este método el objetivo es medir el cambio de volumen sanguíneo en los tejidos (Chaithanya, Kishore, & Srinivasulu, 2014). Este cambio de volumen sanguíneo genera pulsaciones que tienen una relación directa con la presión arterial. Este método basa su funcionamiento en el concepto de reflectancia, que se define como la capacidad de un cuerpo de

reflejar la luz. Para ello se utiliza un sensor de reflectancia como el PD70-01C/TR7 de Everlight, que se compone de una fuente de luz infrarroja que ilumina el tejido y un fotodetector que recibe la luz reflejada, la cual aumenta con el incremento del flujo sanguíneo. La forma de onda obtenida se utiliza para encontrar la presión arterial (Zneid, Al-zidi, & Al-kharazi, 2014). Según (Celi, Rocha, & Yapur, 2015), existen tres técnicas para la captura de la señal, las cuales se presentan en la figura 2.4. Estas técnicas son: Trans-iluminado, en la cual el receptor percibe la luz que atraviesa el tejido; Reflexión de luz, en donde el receptor detecta la luz reflejada por el tejido y fibra óptica, en donde el sensor no se ubica en el tejido, sino que emite y recibe la luz a través de la fibra.

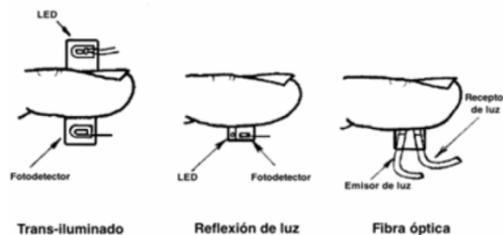


Figura 2.4. Técnicas de captura en Fotopletoisgrafía.

Fuente: (Celi, Rocha, & Yapur, 2015)

Indistintamente de la técnica utilizada, la forma de onda es la misma y se ilustra en la figura 2.5. En esta onda el periodo de la señal corresponde a una pulsación del corazón, el pico más alto representa la presión sistólica (PS), el segundo pico indica el inicio de la presión diastólica (PD) cuyo valor es el mínimo de la curva.

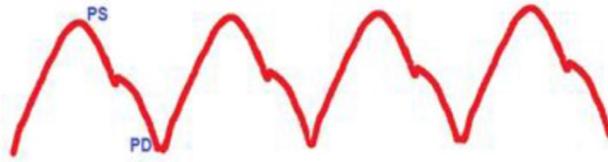


Figura 2.5. Señal característica de la Presión sanguínea.

Fuente: (Celi, Rocha, & Yapur, 2015)

2.3.2.2.3. Método de tonometría: En este método se utilizan sensores de presión de pequeño tamaño y alto rendimiento como el SCB10H de Murata, que se ubican presionando una arteria, generalmente se trata de la arteria radial, que está situada cerca de la superficie del cuerpo. Con este método, la parte superior del vaso sanguíneo se hace plana en donde la tensión funciona en ángulo recto con la dirección de la detección de presión del sensor como se indica en la figura 2.6. Con este método, la presión sanguínea puede medirse directamente porque la fuerza medida por el sensor de presión es igual a la presión sanguínea. Según (Dohi, 2015), este método es fácil de usar y permite la medición de presión arterial con una carga baja sobre el paciente. La principal desventaja de este método es su baja precisión de medición, que ocurre cuando el sensor no se presiona paralelamente al vaso sanguíneo o cuando la parte superior del vaso sanguíneo no llega a ser suficientemente plana.

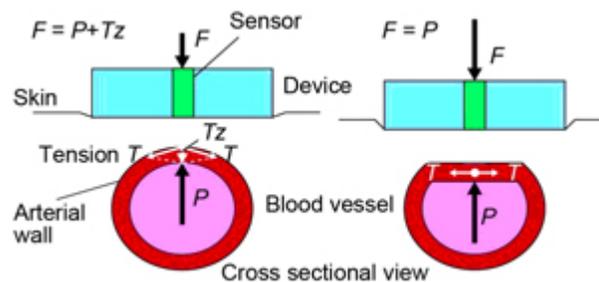


Figura 2.6. Mecanismo de medida en el Método de Tonometría.

Fuente: (Emant, 2017)

2.4. Dispositivos para el monitoreo de presión arterial.

2.4.1. Esfigmomanómetro: Es el dispositivo más común para la medición de la presión arterial. Como se muestra en la figura 2.7, consta de un brazalete inflable, una unidad de medición como un manómetro de mercurio o aneroides y una pera como mecanismo de inflado manual. La unidad habitual de medición de la presión arterial es milímetros de mercurio (mmHg) (Emant, 2017).



Figura 2.7. Esfigmomanómetro.

Fuente: (Emant, 2017)

2.4.2. Tensiómetro semiautomático: En este dispositivo se reemplaza el manómetro de mercurio por un sensor de presión electrónico como se indica en la figura 2.8. En este caso el brazalete se infla manualmente, pero se desinfla automáticamente como se muestra en la figura 2.9. El valor de presión arterial se calcula con la ayuda de un software y se representa por medio de un sistema de visualización digital (Harmant, 2017).



Figura 2.8. Tensiómetro Semiautomático con sensor electrónico.

Fuente: (Hartmann, 2017)



Figura 2.9. Método de inflado en Tensiómetro semiautomático.

Fuente: (Hartmann, 2017)

2.4.3. Tensiómetro Automático: Este dispositivo se muestra en la figura 2.10, con este dispositivo se registran y evalúan las oscilaciones en las arterias. Estas oscilaciones presentan una curva muy típica, como se pudo observar anteriormente en la figura 2.3, y se producen cuando se interrumpe el flujo sanguíneo y se reanuda nuevamente. Los valores de presión sistólica y diastólica se calculan con la ayuda de un algoritmo y los valores calculados se visualizan por medio de una pantalla digital (Hartmann, 2017).



Figura 2.10. Tensiómetro Automático OMRON.

Fuente: (OMRON, M7 Intelli IT, 2017)

2.4.4. Tensiómetro de Brazo: El tensiómetro de brazo se muestra en la figura 2.11. Estos monitores son una versión mejorada de los tensiómetros automáticos. En este caso se ha reducido el tamaño, puesto que los componentes electrónicos se encuentran en el mismo brazalete, obteniendo como resultado un dispositivo más portable. Según (Omron, 2017), este monitor permite almacenar la información que se registra y luego enviarla al médico a través de una aplicación (APP) por medio de un teléfono inteligente.



Figura 2.11. Tensiómetro de Brazo.

Fuente: (Omron, 2017)

2.4.5. Tensiómetro de Muñeca: Este dispositivo se muestra en la figura 2.12, como se observa, tiene el aspecto de un reloj inteligente convencional, da la hora, mide la distancia recorrida, cuenta calorías, e incluso monitorea el sueño. Estos tensiómetros son recomendados para

pacientes que sufren hipertensión, dado que permiten realizar un monitoreo permanente (Beckley, 2016).



Figura 2.12. Tensiómetro de muñeca.

Fuente: (Beckley, 2016)

2.4.6. Monitor Continuo de presión arterial: Este dispositivo utiliza el método de tonometría de pulso. Basa su funcionamiento en un grupo de sensores de presión microscópicos que se ubican en la arteria radial de la muñeca, como se indica en la figura 2.13. De acuerdo con la definición de tonometría antes descrita, la desventaja de este método es que se pueden generar lecturas erróneas si el sensor no se ubica exactamente sobre la arteria radial. Por lo anterior se utiliza un grupo de sensores, cuando se inicia una medición el dispositivo detecta que sensor percibe más presión, lo que indica que esta sobre la arteria y de esta manera se realiza la medición con base a la información de dicho sensor.

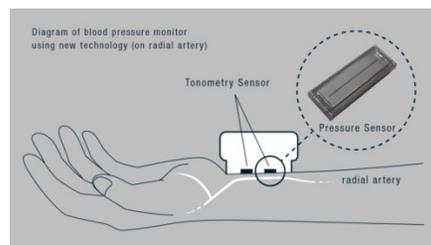


Figura 2.13. Ubicación de sensores en monitor continuo de presión.

Fuente: (Omron, 2017)

2.5. Diseño de un prototipo de monitor de presión arterial

Según (Chaithanya, Kishore, & Srinivasulu, 2014), el procedimiento para la lectura de la presión arterial no es complejo, pero el control de esta medición no es tan fácil como parece, ya que implica un monitoreo constante del paciente y por ende la presencia de personal médico, la toma de lecturas de presión arterial debe realizarse en tiempos programados, con el fin de garantizar un buen tratamiento. Además, la mayoría de los monitores de presión arterial basan su funcionamiento en el brazalete, el cual presenta varios inconvenientes, algunos mencionados anteriormente y otros que de acuerdo con (Nummelin, 2015) son los siguientes: en primer lugar, estos monitores suelen ser voluminosos, por lo cual no son fáciles de transportar; en segundo lugar, son incómodos de utilizar puesto que bloquean el flujo de la sangre y sólo son capaces de lograr una medición después de varios segundos, por lo tanto, no es posible realizar un monitoreo constante del paciente. Por otra parte, los métodos invasivos son capaces de entregar información de la presión arterial de manera continua, pero deben ser implantados y necesitan al menos un acceso abierto a la vena del paciente, lo que se constituye en una limitante importante a la hora de elegir esta opción.

Con respecto al tratamiento de la hipertensión, existen algunas barreras (Zneid, Al-zidi, & Al-kharazi, 2014), como la falta de datos detallados acerca de las lecturas de presión arterial a través del tiempo, infraestructura deficiente para entregar la información, falta de formación sobre cómo y cuándo tomar lecturas fiables, entre otros aspectos.

Por lo anterior, y con base en los procesos investigativos que ha desarrollado el grupo Davinci de la UNAD, en este apartado se describe la propuesta de un diseño de prototipo de monitor de presión arterial, dirigido principalmente a pacientes con preeclampsia, donde se ha buscado que dicho dispositivo sea portátil, que no requiera estar conectado a la energía eléctrica, ni dependa exclusivamente de un teléfono inteligente o un computador para funcionar. El prototipo propuesto es para un monitoreo constante, por lo tanto, por medio de recordatorios configurables se informa a la paciente para que realice sus propias mediciones a la hora exacta, de manera sencilla y sin que requiera del apoyo de personal médico. Los almacenamientos de los datos recolectados se apoyan de un módulo de comunicación inalámbrica, el cual permite el envío de la información a un centro local de cómputo para su almacenamiento y posterior análisis por parte del personal médico a cargo del monitoreo configurado.

En cuanto a la ubicación, el prototipo está diseñado para utilizarse en la muñeca de la paciente, como se muestra en la figura 2.14. El dispositivo propuesto busca que mediante un monitoreo constante se logre reducir la incidencia de la preeclampsia en los embarazos, que oscila entre el 2% y 10% a nivel mundial (Vargas, Acosta, & Moreno, 2012) y que para el caso de Colombia es del 8% (Unal, 2016).

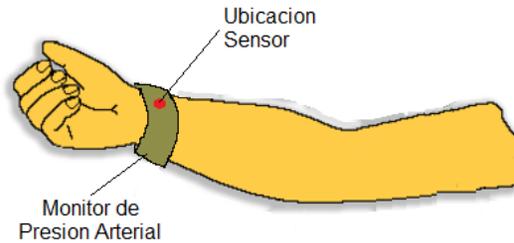


Figura 2.14. Ubicación del Prototipo de Monitor de Presión Arterial.

Para el diseño del prototipo, se ha partido de un análisis previo de las diferentes etapas que conformaron su desarrollo. Precisamente en este estudio inicial se observó que el elemento que tuvo mayor atención fue el "sensor" a utilizar, puesto que las etapas que continuaron en el diseño del dispositivo propuesto estuvieron sujetas a esta elección. La mayoría de los monitores de presión arterial que existen en el mercado utilizan un sensor de presión, dado que son fáciles de emplear y entregan una señal eléctrica fácil de procesar, por lo tanto, se perfilaron en la búsqueda inicial, como una buena opción y elección para el diseño realizado. De acuerdo a lo anterior, se hizo necesaria la revisión de diferentes tipos de sensores de presión que a la fecha de publicación de este libro existían en el mercado, esto con el fin de determinar cuál cumplía con los requerimientos del prototipo en desarrollo. A continuación, se describe los tipos de sensores investigados.

2.5.1. Sensores para presión arterial: La presión es una fuerza por unidad de superficie y cada vez que se ejerce se produce una deflexión, una distorsión o un cambio de volumen o dimensión según (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015). Un sensor de presión es un dispositivo que transforma la magnitud física de presión en una magnitud eléctrica proporcional a la presión aplicada sobre él. De acuerdo con el tipo de medición que realice el sensor de presión se puede clasificar de la siguiente manera:

2.5.1.1. Presión absoluta: El sensor de presión absoluta detecta y mide la presión con referencia al valor cero del vacío absoluto, como se indica en la figura 2.15. Este tipo de sensores son ampliamente utilizados en el sector automotriz, para detectar la presión de aire en la admisión de los vehículos, lo que permite regular la mezcla de aire y gasolina.

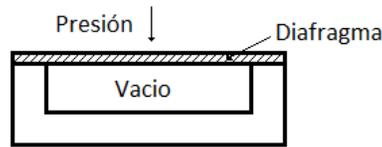


Figura 2.15. Sensor de presión absoluta.

Fuente: (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015)

2.5.1.2. Presión diferencial: El sensor de presión diferencial, cuyo esquema de funcionamiento se presenta en la figura 2.16, consiste en la medición de presión arterial, en relación a una presión de referencia conocida. Este sensor mide la diferencia entre la presión aplicada y la presión de referencia. Se utilizan cuando se requiere conocer la diferencia de presión existente entre dos puntos, en aplicaciones como sistemas de ventilación en edificaciones o monitorización de filtros, cuando el filtro está muy sucio la caída de presión aumenta considerablemente, lo que puede activar una alarma.

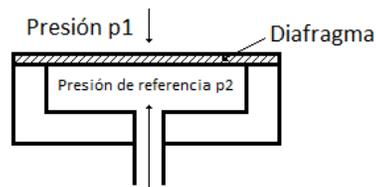


Figura 2.16. Sensor de presión diferencial.

Fuente: (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015)

2.5.1.3. Presión manométrica: El sensor de presión manométrica, cuyo esquema de funcionamiento se presenta en la figura 2.17, opera con el mismo principio que el sensor de presión diferencial, pero detecta y mide la presión con referencia a la presión atmosférica. Según (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015), este tipo de sensores tienen una amplia gama de aplicaciones, como medir el nivel de líquido en un tanque abierto, sin embargo, las mediciones podrían no ser precisas, debido a que la presión de referencia (presión atmosférica) varía de acuerdo a la altitud.

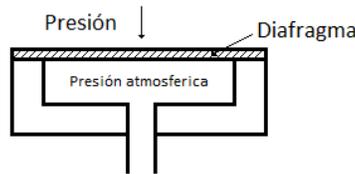


Figura 2.17 Sensor de presión atmosférica.

Fuente: (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015)

Por otro lado, los sensores de presión también se pueden clasificar de acuerdo al elemento de detección utilizado. De esta manera se clasifican así:

2.5.1.3.1. Sensor piezorresistivo: El sensor de presión piezorresistivo, cuyo funcionamiento se presenta en la figura 2.18, y que según (Kumar & Singh, 2013) utiliza el efecto piezorresistivo para detectar la presión aplicada, se refiere a que hacen uso de los cambios de resistividad de ciertos materiales semiconductores cuando estos se someten a una tensión mecánica. Tienen una amplia variedad de aplicaciones, en la industria automotriz se emplean para indicar niveles de aceite y gas, en la medicina se utilizan en dispositivos para la medición de presión arterial.

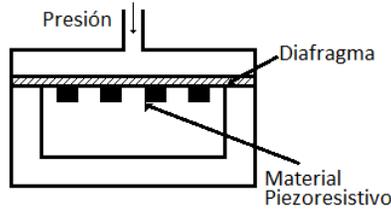


Figura 2.18. Sensor de presión Piezorresistivo.

Fuente: (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015)

2.5.1.3.2. Sensor piezoeléctrico: El sensor de presión piezoeléctrico basa su funcionamiento en el efecto piezoeléctrico, como lo describe (Mohammadi et al, 2009), este fenómeno se produce en determinados cristales como el cuarzo, que al ser sometidos a una tensión mecánica producen una polarización eléctrica en su superficie. Los elementos que componen este sensor se indican en la figura 2.19. Son ampliamente utilizados en los teléfonos inteligentes para detectar fuertes golpes y en los denominados “crash test dummy”, que son maniqués empleados para realizar pruebas de choques en seguridad para automóviles.

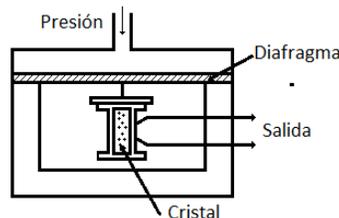


Figura 2.19. Sensor de presión Piezoeléctrico.

Fuente: (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015)

2.5.1.3.3. Sensor capacitivo: Este sensor, cuyo funcionamiento se muestra en la figura 2.20, se basa en el principio del capacitor, el cual consta de dos superficies conductoras separadas por un material dieléctrico (Shahiri, Ganji, & Sabbaghi, 2012). La capacitancia se puede

alterar cambiando la naturaleza del material dieléctrico, el área de las superficies conductoras o la separación entre las placas. En este sensor cuando se aplica una presión se modifica la separación entre placas y por ende cambiará la capacitancia. Se utilizan para el monitoreo en almacenamiento de gases, en líneas de gas natural, en túneles de viento y dinamómetros.

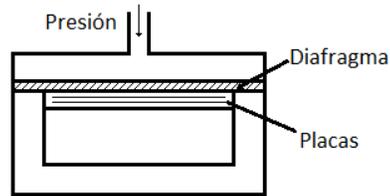


Figura 2.20. Sensor de presión capacitivo.

Fuente: (Amziah, Abdul, Sulaiman, Faezah, & Kai, 2015)

2.5.2. Etapas del prototipo de monitor de presión arterial: Luego de haber enunciado los diferentes tipos de sensores que pueden medir la presión arterial, en este apartado se describen los componentes electrónicos que conforman cada una de las etapas del diseño del prototipo de monitor de presión arterial propuesto, que como se ha mencionado anteriormente ha sido resultado de las investigaciones del grupo Davinci de la UNAD en este campo.

En primera instancia, para medir la presión se ha elegido la técnica de "tonometría de pulso", debido a que permite medir directamente la presión sobre una arteria, a diferencia de otras técnicas como la fotopleletismografía, en la cual la señal recibida se debe interpretar para obtener el valor de presión. En la tonometría se mide el desplazamiento de la piel causada por el movimiento de la pared del vaso sanguíneo, debido a la sobrepresión en su interior, como se muestra la figura 2.21. En este caso el sensor se debe ubicar sobre la arteria radial, que es

adecuada para este procedimiento gracias a que cuenta con suficiente soporte óseo.

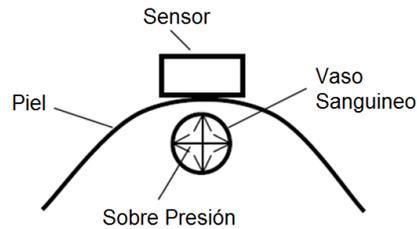


Figura 2.21. Principio de medición de presión arterial por desplazamiento de superficie.

Fuente: (Kirstein et al, 2005)

En la figura 2.22, se indican las etapas del diseño del prototipo de monitor de presión arterial realizado, las cuales se describen en detalle a continuación.

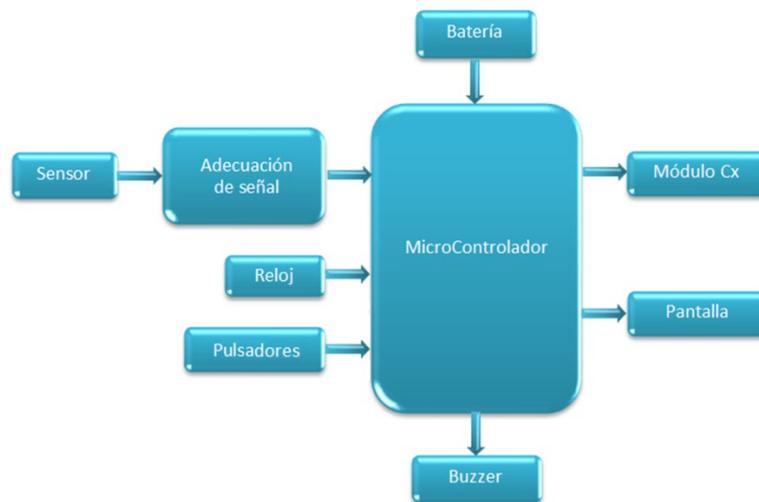


Figura 2.22. Diagrama de Bloques del Prototipo de Monitor de Presión Arterial.

2.5.2.1. Sensor de Presión: Como se mencionó anteriormente, es de vital importancia una buena elección del sensor a utilizar. En el mercado existe una gran variedad de sensores, como el PD70-01C/TR7 de

Everlight, que es un sensor óptico, utilizado en la técnica fotopletiomográfica; el SCB10H que es un sensor de presión capacitivo empleado en dispositivos médicos; entre otros. Para el desarrollo del prototipo propuesto se tomó la hoja de especificaciones del sensor de presión piezoeléctrico BP-2401 de Prowave, que se muestra en la figura 2.23, que corresponde a un dispositivo diseñado para medir la presión arterial en monitores digitales (Pro-Wave, 2003). Este dispositivo posee un elemento cerámico piezoeléctrico de alta sensibilidad y un transistor de efecto de campo FET con un bajo nivel de ruido, lo que permite obtener una señal más limpia. Por otro lado, el rango de voltaje de alimentación permite que pueda alimentarse con batería. Las características más importantes se describen a continuación (Pro-Wave, 2003):

- Alta sensibilidad mecánico-eléctrica
- Salida de baja impedancia
- Amplia temperatura de operación (-20 a 60 °C)
- Voltaje de operación de 3 – 30 VDC



Figura 2.23. Sensor Pro-wave BP-2401.

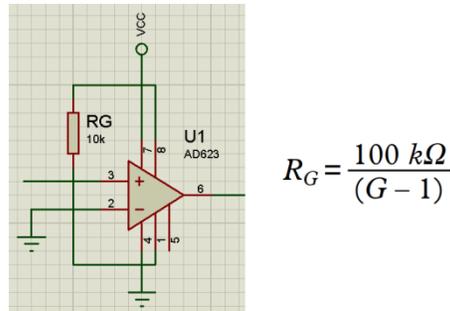
Fuente: (Pro-Wave, 2003)

2.5.2.2. Adecuación de señal: El objetivo de esta etapa es explicar la forma en que se puede amplificar y eliminar el ruido inmerso en la señal que entrega el sensor de presión. Se construye a partir de un amplificador de instrumentación como el AD620 de Analog Devices. El AD620 es ampliamente utilizado en aplicaciones médicas, pero en este caso no es el indicado, pues requiere de alimentación con voltaje dual, que no se dispone en el prototipo debido a que se alimentará con una batería. Por otro lado, el AD623 es un amplificador de instrumentación que se alimenta con una fuente sencilla en el rango de 3 a 12 voltios, lo que permite energizarlo con batería. Además, solo requiere de una resistencia externa para ajustar la ganancia deseada. Este circuito integrado está disponible en un encapsulado de 8 pines para montaje superficial, como se muestra en la figura 2.24, una buena opción para diseños de tamaño reducido. En la figura 2.25, se presenta la configuración del AD623 que se realizó en el simulador electrónico ISIS Proteus 7.10 y la fórmula para encontrar la resistencia R_G , según la ganancia requerida.



Figura 2.24. AD623 de montaje superficial.

Fuente: (Analog Devices, 2011)



$$R_G = \frac{100 \text{ k}\Omega}{(G - 1)}$$

Figura 2.25. Configuración del AD623 en ISIS y su fórmula de ganancia.

2.5.2.3. Reloj: El reloj es necesario en el prototipo para verificar periódicamente la hora e informar a la paciente que es tiempo de realizar una lectura. En el mercado existen una gran variedad de integrados que cumplen correctamente con la función requerida como el PCF8563T/5 de NXP Semiconductors, el MCP7940MT de Microchip o el DS1307 de Maxim. Todos estos relojes están disponibles en encapsulados de 8 pines para montaje superficial y requieren de solo dos líneas para la comunicación con un microcontrolador para su lectura y configuración. En el diseño desarrollado se utilizó el DS1307, que se indica en la figura 2.26, un reloj/calendario en tiempo real de bajo consumo, la configuración y datos son transferidos en serie a través de un bus bidireccional I²C (maxim integrated, 2015). El reloj / calendario proporciona segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. Este integrado se puede alimentar con una batería de 3 voltios y su consumo es de menos de 500 nA.

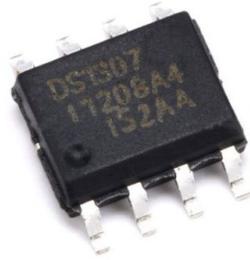


Figura 2.26. DS1307 de montaje superficial.

Fuente: (maxim integrated, 2015)

Para el funcionamiento del DS1307, se necesitó de algunos componentes externos como un cristal de 32.768kHz para generar la señal de reloj interna de funcionamiento. Para la configuración y lectura se dispone de dos pines denominados SCL y SDA. El pin SCL se utiliza para enviar desde el microcontrolador la señal de reloj para sincronizar la transferencia de los datos y el pin SDA es un pin bidireccional para la lectura y escritura de información (maxim integrated, 2015). Tanto el pin SCL como SDA requieren de una resistencia de Pull-up de 10 k Ω , estas se utilizaron para evitar colisiones entre diferentes voltajes que pueden operar sobre un bus común de comunicaciones. El circuito de operación del DS1307 se presenta en la figura 2.27.

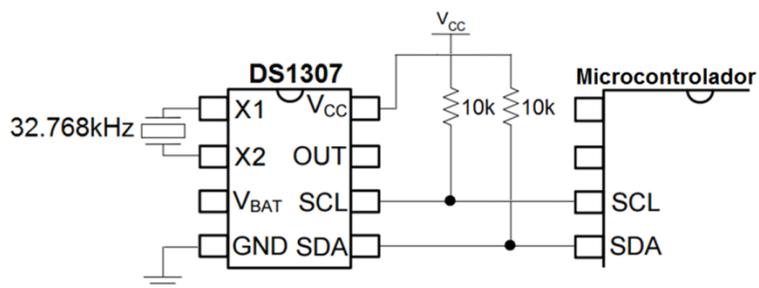


Figura 2.27. Circuito de Operación DS1307.

2.5.2.4. La pantalla: La pantalla es la interfaz que permite la interacción entre el monitor y la paciente, visualiza información referente a las lecturas de presión arterial, comunicación, fecha y hora.

En la actualidad existe una gran variedad de pantallas que se ajustan a la aplicación que se diseñó, una de ellas es la pantalla LCD SSD1306 de SOLOMON SYSTECH, que aparece en la figura 2.28, la cual gracias a sus características se ajustó a las necesidades del prototipo de monitor de presión arterial diseñado. Entre las características más importantes se puede mencionar que el voltaje de operación de esta pantalla se encuentra en el rango de 3 a 5 VCD, lo que permite una alimentación con batería, la comunicación se realiza a través de un puerto I²C y la resolución es de 128 x 64 pixeles (SOLOMON SYSTECH, 2008).



Figura 2.28. Pantalla LCD SSD1306.

Fuente: (SOLOMON SYSTECH, 2008)

2.5.2.5. Módulos de comunicación: El módulo de comunicación es el que permite enviar de forma inalámbrica la información desde el prototipo de monitor de presión arterial hasta el centro de cómputo para su almacenamiento y posterior análisis. De igual forma, desde el centro de cómputo se puede solicitar remotamente la toma de una lectura o la configuración de recordatorios. Las tecnologías utilizadas ampliamente en este tipo de monitores son Bluetooth y WiFi, por lo cual se consideraron estas dos alternativas.

Para el caso de Bluetooth, el módulo HC-06 es ampliamente utilizado por su gran versatilidad, su configuración es sencilla y su comunicación con el microcontrolador es de forma serial. Por lo anterior se eligió este módulo, el cual se muestra en la figura 2.29. Este dispositivo es compatible con el protocolo Bluetooth V2.0, su voltaje de alimentación es de 3.3 voltios, lo que permitió energizarlo con batería y trabaja únicamente como esclavo. Para el envío de información utilizando este módulo se debe contar con un teléfono inteligente en el cual se ejecute una aplicación (APP - la cual se explica en el siguiente capítulo) que realice el proceso de emparejamiento con el prototipo y envíe la información a una base de datos.



Figura 2.29. Módulo Bluetooth HC-06.

Fuente: (Iteadstudio, 2010)

Por otra parte, para la tecnología WiFi se dispone de una gran variedad de módulos como el ESP8266 de Espressif, que se muestra en la figura 2.30. En el diseño con WiFi se optó por este dispositivo, por su fácil integración con microcontroladores por medio de puerto serial, no requiere de componentes externos, soporta los estándares 802.11 b/g/n y su voltaje de operación se encuentra entre 1.8V y 3.8V, adecuado para la alimentación con batería. Para el envío de información desde el prototipo utilizando este módulo se debe disponer de un punto de acceso, en la misma red que se encuentre el centro de cómputo.



Figura 2.30 Módulo WiFi ESP8266.

Fuente: (Espressif Systems, 2013)

La información que se envía desde el prototipo de monitor de presión arterial hasta el centro de cómputo esta encapsulada en 25 Bytes, que se describen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.

Información enviada por el Prototipo.

Información	Tamaño (Bytes)
ID paciente	8
ID dispositivo	1
SBP	1
DBP	1
Fecha de captura (dd/mm/aa)	3
Hora de captura (hh:mm:ss)	3
Periodicidad de captura	2
Fecha de primera activación	3
Hora de primera activación	3

2.5.2.6. Buzzer: El buzzer se muestra en la figura 2.31. Es un transductor que se encarga de transformar energía eléctrica en acústica. En el prototipo se utiliza un buzzer activo, que dispone de un oscilador interno, por lo que únicamente se requiere alimentar el dispositivo para que se produzca el sonido (Chacón, Cortés, Giral, & Romero, 2012).

Este dispositivo se utilizó en el prototipo de monitor de presión arterial para informar a la paciente que es necesario realizar una lectura.



Figura 2.31. Buzzer.

Fuente: (Chacón, Cortés, Giral, & Romero, 2012)

2.5.2.7. Batería: Una batería es un dispositivo que suministra energía eléctrica mediante procesos electroquímicos a partir de energía química almacenada (Penalva, 2007). Este dispositivo es el encargado de suministrar la corriente eléctrica para el funcionamiento del prototipo. En la actualidad las baterías de litio son las utilizadas en el desarrollo de dispositivos portátiles, debido a que son recargables, su ciclo de vida es prolongado y están disponibles con diferentes capacidades. Producen un voltaje de 3,7 voltios, que se ajusta a los niveles que requieren los diferentes componentes electrónicos que conforman el prototipo de monitor de presión arterial. Para esta aplicación se utilizó una batería de 400 mAh, capaz de suministra corriente suficiente para autonomía del prototipo por varios días. Además, por su reducido tamaño, que se muestra en la figura 2.32. El prototipo está equipado con un puerto micro USB para cargar la batería.

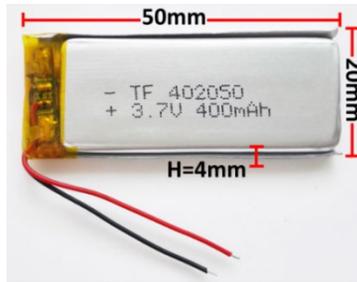


Figura 2.32. Batería de Litio.

Fuente: (Admin, 2014)

2.5.2.8. El Microcontrolador: Un microcontrolador es un circuito integrado que puede realizar una tarea específica de manera autónoma, gracias a que en su interior cuenta con una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria RAM y ROM, puertos de entrada y salida y varios periféricos como conversor análogo/digital, temporizadores, módulos PWM, puertos seriales, entre otros (Microchip, 2007). Por lo anterior se puede afirmar que un microcontrolador es una microcomputadora completa encapsulada en un circuito integrado. Actualmente existe una gran variedad de aplicaciones en automóviles, electrodomésticos, máquinas de oficina, dispositivos médicos, máquinas expendedoras, entre otros. Los microcontroladores más sofisticados realizan funciones críticas en aeronaves, naves espaciales, buques oceánicos y robots de todo tipo. En el área médica cumplen funciones tan importantes como regular el funcionamiento de un corazón artificial, controlar dispositivos de prótesis y son el cerebro de una gran variedad de equipo hospitalario (Fernandez, 2015).

En este punto se puede mencionar que existe una gran variedad de microcontroladores que pueden utilizarse en el prototipo de monitor de presión arterial que se ha diseñado. Para efectos del prototipo

desarrollado se estudió el ATXMEGA32D4 de Atmel, que gracias a sus características se acopla a las necesidades del diseño propuesto. Pero se decidió utilizar un microcontrolador de la familia PIC de Microchip, en concreto el PIC18F2553. La elección se fundamenta en que posee algunas características necesarias para el funcionamiento dentro del Prototipo. En primer lugar, la memoria de programa es de 32 KB, capacidad adecuada para las funciones programadas. Dispone de un puerto de comunicaciones I²C, para la configuración y lectura del reloj DS1307 y la pantalla LCD. Mediante el módulo de comunicación serial síncrona/asíncrona se envían datos al transmisor inalámbrico. El voltaje de operación se encuentra entre 2.0V a 5.5V, por lo tanto, puede operar con batería sin inconvenientes. Puede trabajar con cristal interno de hasta 8 MHz o con externo de hasta 48 MHz. Su encapsulado es de 28 pines y está disponible para montaje superficial, como se muestra en la figura 2.32.

Por otro lado, la programación se puede realizar en lenguaje de bajo nivel o ensamblador en la aplicación MPLAB de Microchip, o en lenguaje de alto nivel en aplicaciones como PIC C Compiler de Custom Computer Services, Inc. Además, en la página web de microchip se encuentra disponible una gran cantidad de documentación, como notas de aplicación, en las cuales se proponen diseños que son de gran ayuda para el desarrollo de prototipos similares al propuesto. En la nota de aplicación AN1556 de Microchip, se propone el diseño de un medidor de presión arterial utilizando un PIC de la familia 24F. De este documento se toman algunos parámetros importantes para la programación del PIC18F2553. En primer lugar, se recomienda que el conversor análogo digital debe tener una resolución de mínimo 12 bits. En segundo lugar, se debe implementar un filtro digital pasabajo de 20 Hz para eliminar el

ruido de 60 Hz, proveniente del sistema eléctrico. Finalmente, que podría ser necesario la implementación de un filtro pasabajo pasivo, en caso de que la señal del sensor contenga excesivo ruido.



Figura 2.32. PIC18F2553 de montaje superficial.

Fuente: (Microchip, 2007)

Acorde a lo anterior es factible decir que el microcontrolador es el "cerebro" del prototipo de monitor de presión arterial. Sus funciones son leer por el puerto I²C la hora y fecha desde el reloj DS1307 y verificar si es tiempo de realizar una medición, si es así, emite una señal sonora que informa a la paciente que debe realizar una lectura. La señal del sensor se adquiere por uno de los canales del conversor A/D, para luego ser procesada y transmitida por el puerto serial hasta el módulo de comunicaciones, para ser enviada al centro local de cómputo. Adicionalmente, el prototipo dispone de tres pulsadores, que permiten la configuración de los recordatorios y del módulo de comunicación inalámbrica.

El diagrama general del prototipo se presenta en la figura 2.33. Este esquema fue diseñado con el software de simulación ISIS Proteus 7.10. En este simulador no se encuentra disponible el sensor de presión a utilizar, pero es reemplazado por el MPX4115, para efectos de verificación de funcionamiento del programa. De igual manera la pantalla LCD es reemplazada por la HDG1286 de similares

características, la cual permitió en primera instancia evidenciar mediante simulación el funcionamiento del diseño propuesto y que puede servir de referencia para implementaciones posteriores.

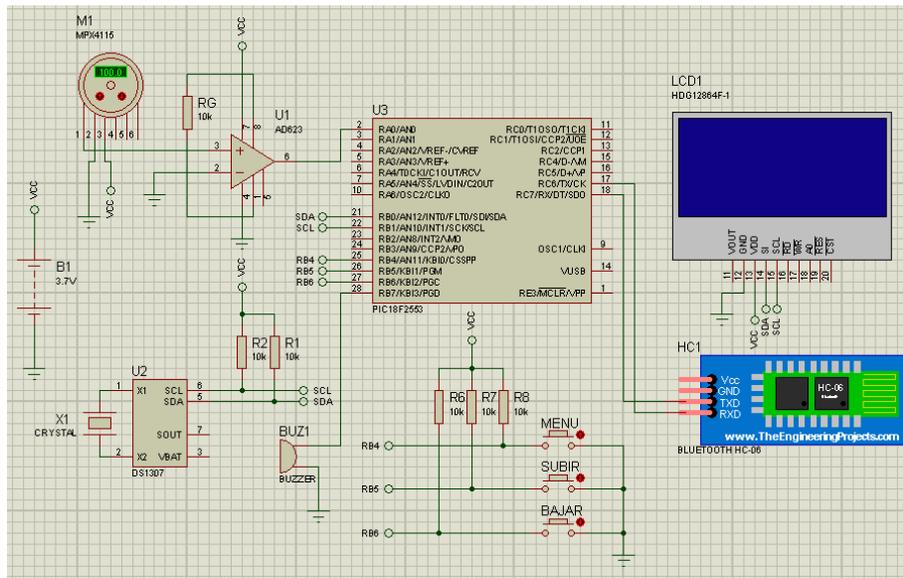


Figura 2.33 Diagrama Electrónico del Prototipo.

Una vez se verificó el correcto funcionamiento del programa en el microcontrolador se procedió a la construcción del prototipo propuesto, ver figura 2.34. En este prototipo inicial se omitieron algunos elementos como los botones de configuración, el reloj y el buzzer. Lo anterior teniendo en cuenta que estos elementos no influyen directamente en la lectura de presión arterial y con el fin de que el prototipo no sea demasiado voluminoso. El prototipo también cuenta con conexión Bluetooth y mediante una aplicación realizada en Android (que se explica en el capítulo siguiente) se inicia la toma de una lectura.



Figura 2.34 Prototipo de monitor de presión arterial.

Las dimensiones del prototipo construido fueron de: 40mm * 12mm * 35mm. Para la implementación de todos los elementos propuestos en la figura 2.33, fue necesario el diseño de una mini tarjeta electrónica PCB, que permitió el montaje de los elementos electrónicos, como batería se utilizó una de menor tamaño al inicialmente propuesta, que correspondió a la batería recargable tipo botón CR2032. En la figura 2.35 se puede observar el resultado de una lectura de presión arterial con el prototipo en funcionamiento.



Figura 2.35 Lectura de presión arterial con el prototipo.

2.6. Referencias capítulo:

(Admin, 2014). (5 de Junio de 2014). *Baterias de litio*. Obtenido de <http://bateriasdelitio.net/?p=6>

(Aguilar, 2012). (12 de Julio de 2012). *IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA EN LA MEDICINA*. Obtenido de <http://impactodelatecnologiaenlamedicina.blogspot.com.co/>

Alere, 2017) Alere. (2017). *Afinion™ ACR*. Obtenido de <https://www.alere.com/es/home/product-details/afinion-acr.html>

(Amziah et al, 2015) Amziah, N., Abdul, I., Sulaiman, N., Faezah, N., & Kai, O. (2015). Valuation on MEMS Pressure Sensors and Device. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, pp. 834 – 842.

(Anologo Devices, 2011) Analog Devices. (2011). Datasheet AD623. U.S.A.

(Atmel, 2014) Atmel. (2014). XMEGA D MANUAL. U.S.A.

(Beckley, 2016) Beckley, B. (2016). *Omron Creates the Miles Davis of Blood Pressure Cuffs*. Obtenido de <http://wearables.reviewed.com/news/omron-creates-miles-davis-of-blood-pressure-cuffs>

(Bogotá Humana, 2013) Bogotá Humana. (2013). *Guía de trastornos hipertensivos del embarazo*. Bogotá D.C.

(Celi & Yapur, 2015) Celi, G., Rocha, M., & Yapur, M. (2015). Mediciones Fotopletismográficas. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

(Chacon et al, 2012) Chacón, C., Cortés, J., Giral, D., & Romero, R. (2012). Piezoelectricidad en un BUZZER. *Tecnura*, pp.111.119.

(Chaithanya et al, 2014) Chaithanya, M., Kishore, K., & Srinivasulu, A. (2014). Continues Blood Pressure Measurement and Data Logging Device with SMS Alert. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, pp.25-38.

(Dohi, 2015) Dohi, T. (11 de Mayo de 2015). *Measuring Blood Pressure with MEMS*. Obtenido de The Japan News by The Yomiuri Shimbun: <http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/dy/opinion/20150511.html>

(Emant, 2017) Emant, L. (2017). *Measure Blood Pressure*. Obtenido de <http://emant.com/measure-blood-pressure>

(Escobar, 2012) Escobar, B. (2012). Sistema para la Medición de la Presión Arterial Continua No Invasiva Sin Brazaletes. (Tesis de Pregrado), Universidad CES, Envigado.

(Espressif Systems, 2013) Espressif Systems. (2013). ESP8266 802.11bgn Smart Device.

(Fernandez, 2015) Fernandez, P. (2015). *MICROCONTROLADORES, QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN*. Obtenido de <http://fdetonline.com/microcontroladores-que-son-y-para-que-sirven/>

(Ferrer, 2012) Ferrer, J. (2012). Sistemas inalámbricos para comunicación con dispositivo móvil. (Tesis de pregrado), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Vlencia.

(Hartmann, 2017) Hartmann, P. (2017). *Oscillometric measurement devices*. Obtenido de <http://tensoval.com/oscillometric-measurement-devices.php>

(Hurd et al, 2017) Hurd, R., Zieve, D., & Conaway, B. (15 de abril de 2017). *Examen de microalbuminuria*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003591.htm>

(Iteadstudio, 2010) Iteadstudio. (2010). HC-06-Bluetooth to Serial Port Module.

(Kaschel ete al, 2014) Kaschel, H., Alvarado, J., & Torres, V. (2014). Redes de área corporal inalámbricas: requisitos, desafíos e interferencia. *Xv congreso internacional de telecomunicaciones senacitel*.

(Kirstein et al, 2005) Kirstein, K.-U., Sedivy, J., Salo, T., Hagleitner, C., Vancura, T., & Hierlemann, A. (2005). A CMOS-based Tactile Sensor for Continuous Blood Pressure Monitoring. *Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*.

(Kumar & Singh, 2013) Kumar, P., & Singh, B. (2013). Design and optimization of a CMOS-MEMS integrated current mirror sensing based MOSFET embedded pressure sensor. *IEEE International Conference on Control Applications (CCA)*, pp.443-448.

(Lopez, 2012) Lopez, S. (Diciembre de 2012). Blood Pressure Monitor Fundamentals and Design. Freescale Semiconductor, Inc.

(Maxim integrated, 2015) Maxim integrated. (2015). Datasheet DS1307. U.S.A.

(Microchip, 2007) Microchip. (2007). Datasheet PIC18F2553. U.S.A.

(Migala, 2015) Migala, J. (21 de abril de 2015). *Tecnología de punta para mantenerte sano*. Obtenido de <https://www.aarp.org/espanol/salud/afecciones-y-tratamientos/info-2015/tecnologia-para-cuidar-salud.html>

(Mohammadi et al, 2009) Mohammadi, V., Sheikhi, M., Torkian, S., Barzegar, A., Masumi, E., & Mohammadi, S. (2009). Design, Modeling and Optimization of a Piezoelectric Pressure Sensor based on Thin-Film PZT Diaphragm Contain of Nanocrystalline Powders. *6th International Symposium on Mechatronics and its Applications*.

(Nummelin, 2015) Nummelin, E. (2015). Murata - A Pressure Sensor Based Blood Pressure. (Tesis de pregrado), Helsinki Metropolia University, Helsinki.

(Omron, 2017) Omron. (2017). *Evolv Wireless Upper Arm Blood Pressure Monitor*. Obtenido de <https://omronhealthcare.com/products/evolv-wireless-upper-arm-blood-pressure-monitor-bp7000/>

(Omron Health, 2017) OMRON. (2017). *Health care*. Obtenido de <https://www.omron.com/innovation/healthcare.html>

(Omron M7, 2017) OMRON. (2017). *M7 Intelli IT*. Obtenido de <https://www.omron-healthcare.com/es/products/bloodpressuremonitoring#>

(Penalva, 2007) Penalva, J. (2007). *Baterías de Litio-Ion, cosas que debemos saber*. Obtenido de <https://www.xataka.com/otros/baterias-de-litio-ion-cosas-que-debemos-saber>

(Pro-Wave, 2003) Pro-Wave. (2003). *Piezoelectric Blood Pressure Sensors*. Obtenido de <http://www.prowave.com.tw/english/products/pp/bps.htm>

(Shahiri et al, 2012) Shahiri, M., Ganji, B., & Sabbaghi, R. (2012). Design and Simulation of High Sensitive Capacitive Pressure Sensor with Slotted Diaphragm. *IEEE International Conference on Biomedical Engineering*, pp. 484-489.

(Solomon Systech, 2008) SOLOMON SYSTECH . (2008). Datasheet SSD1306 .

(Sorvoja, 2006) Sorvoja, H. (2006). *Noninvasive Blood Pressure Pulse Detection and Blood Pressure Determination*. (Tesis), University of Oulu, Finlandia.

(Tecnomed albumin, 2017) Tecnomed. (2017). *Albumin 201®*. Obtenido de http://grupotecnomed.com/?page_id=335

(Tecnomed Preeclampsia, 2017) Tecnomed. (2017). *Preeclampsia-Eclampsia*. Obtenido de http://grupotecnomed.com/?page_id=409

(UNAL, 2016) Unal. (16 de septiembre de 2016). *Preeclampsia y Eclampsia*. Obtenido de <http://untelevision.unal.edu.co/detalle/cat/estacion-salud/article/preeclampsia-y-eclampsia.html>

(Unidad de Investigación en telemedicina, 2013) Unidad de Investigación en Telemedicina. (2013). *Innovación Tecnológica para la Salud y la Seguridad Electromagnética Personal*. Madrid.

(USAID, 2011) USAID. (2011). *Programa de prevención, detección y manejo de la preeclampsia/eclampsia*.

(Vargas et al, 2012) Vargas, V. M., Acosta, G., & Moreno, M. A. (2012). La preeclampsia un problema de salud pública mundial. *Revista chilena de obstetricia y ginecología*, pp. 471 – 476.

(Webster, 1997) Webster, J. (1997). *Medical Instrumentation: Application and Design*. Wiley.

(Zneid et al, 2014) Zneid, B., Al-zidi, M., & Al-kharazi, T. (2014). Non-invasive Blood Pressure Remote Monitoring Instrument Based Microcontroller. *2014 IEEE Region 10 Symposium*, pp.248- 253.

Capítulo 3

Monitorización remota basado en WEB, para recolección de variables transmitidas por redes de sensores inalámbricas – WSN

Desarrollar software a la medida ha permitido personalizar los programas diseñados actualmente, siendo el desarrollo de software actual con mayor atención a las necesidades de los usuarios, es por esto que el nuevo software debe modelarse de acuerdo a las preferencias y especificaciones que den los usuarios. Además, el modelado de software permite al desarrollador estudiar, administrar y controlar las variables que proveerán de información al programa.

El uso de tecnologías ha permitido combinar software con dispositivos de hardware versátiles que en los casos de aplicaciones para el cuidado de la salud han mejorado la calidad de vida de los usuarios. Este

desarrollo tecnológico ha permitido que los diseñadores de nuevas tecnologías busquen estrategias para que los dispositivos físicos y el software se complementen de manera síncrona y en todo momento. Acorde a lo anterior, en el presente capítulo se aborda el desarrollo del software propuesto para el caso específico de seguimiento a pacientes con índices de presión alta en tiempo real, de manera particular relacionado con la patología de preeclampsia abordada en los capítulos anteriores, este proceso se hace con el software propuesto y la integración del hardware que está presente con la tecnología de las redes de sensores inalámbricas (WSN), las cuales comparten la información que capturan para ser administrada desde la Internet y monitorear de esta manera las variables médicas en seguimiento.

3.1. Red de Monitorización Inalámbrica con Sensores

Como se explicó en el capítulo anterior, los dispositivos de monitorización de la presión arterial son variados y de mediana y alta complejidad, por ello, si se lleva estas tecnologías a un paciente que necesite la monitorización de este tipo de signos vitales, hacen que el paciente este en control permanente y vigilado en tiempos regulares por el personal médico que lo asiste. La tecnología descrita y utilizada para la medición de la presión arterial, tiene en común la manera de transmitir la señal, la cual es captada por los sensores y posteriormente es enviada mediante señales de baja frecuencia a un dispositivo, el cual, se encarga de transmitir la información recolectada a una central principal que gestiona y administra dicha información sea de manera local o remota.

El proceso de captura y envío de la información parece algo complejo, pero al realizar un modelamiento de todas las etapas por las cuales la información va dejando huella, permite, que el sistema de monitoreo se desarrolle de manera sencilla, teniendo control sobre la información, corrigiendo y probando la efectividad del sistema. A continuación, se menciona el desarrollo pormenorizado del sistema de monitorización que se desarrolló para el caso de aplicación que se ha propuesto en este libro.

Para iniciar la descripción del sistema de monitorización, se han tomado algunos aspectos importantes del capítulo uno, tales como la definición de WSN, que como lo menciona (Mohammad, 2005), son la colección de una serie de pequeños dispositivos (motas) que contienen sensores, los cuales pueden transmitir sin cables mediante ondas de radio frecuencia bajas que llevan el cambio de estado de un sensor, lo cual indica, que el sensor ha llevado a cabo una medición. Como se observa en la figura 3.1 los sensores operan de manera conjunta o aislada en una red y entregan dicha medición al dispositivo que envía la colección de datos.

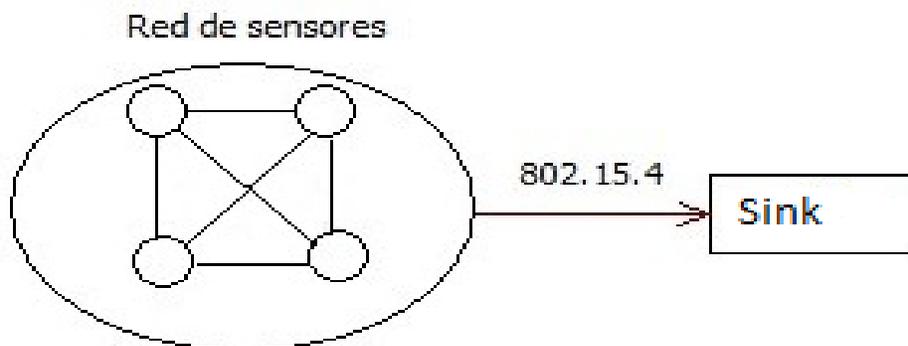


Figura 3.1. Red de sensores

Los sensores al ser dispositivos electrónicos pequeños pueden captar diferentes magnitudes físicas tales como: la intensidad de la luz, la humedad, la presión atmosférica o la presión arterial en pacientes. La particularidad de los sensores es su adaptabilidad a diferentes tipos de programas de transmisión de datos como por ejemplo con módulos WiFi o módulos Bluetooth, al combinar los sensores y el medio de transmisión se obtendrán resultados como los explicados en el capítulo 2. Ahora, cuando se tiene un conjunto de sensores habrá una red de sensores que podrán estar comunicados entre sí y en un mismo espacio físico, en términos generales, se tendrá una red de sensores inalámbrica o conocida como WSN (Wireless sensor network) de acuerdo a lo explicado por Báez (Báez, 2009), la cual estará formada por los nodos sensores que envían las señales de medición captadas por los sensores en la WSN a un dispositivo coordinador (Sink), que es capaz de recibir y enviar dichas señales. En la figura 3.2 se observa el modelo transaccional de la información emitida desde los sensores hasta el equipo de monitorización.

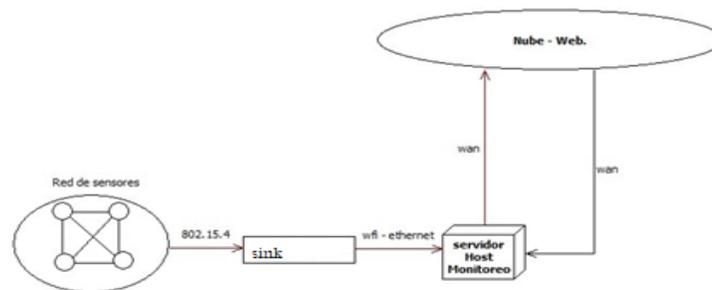


Figura 3.2. Red de sensores inalámbricos WSN

En el modelo anterior se observa el equipo de monitorización (servidor) que es el encargado de almacenar la información recibida del nodo coordinador (Sink) a una base de datos, el servidor de monitorización tendrá las configuraciones necesarias para que la información recolectada esté disponible, sea confidencial y sea preservada de

manera íntegra, aspectos importantes en la seguridad de la información recibida, además, el servidor de monitoreo es el encargado de recibir de manera permanente la información emitida por el nodo enrutador, que puede ser otro sensor (router Sink), como se puede observar en la figura 3.2, todos los nodos sensores de la red inalámbrica envían sus datos al nodo coordinador (Sink), el cual a su vez envía la información por medio de una aplicación computacional a una base de datos.

La versatilidad de los sensores permite que la transmisión de los datos sea compatible con diferentes tipos de dispositivos, anteriormente se pudo observar la conexión de varios sensores mediante un nodo coordinador (Sink), el cual, se encarga de transmitir a un equipo con servicios de almacenamiento de datos. Mediante los sensores, existe la opción de conexión a dispositivos híbridos como se muestra en la figura 3.3, los cuales pueden recibir y transmitir la información de manera simultánea, en este caso los teléfonos inteligentes y tabletas son ejemplos claros de esta tecnología, los cuales permiten acceder a un servidor Web con una conexión WiFi que este provista de un servicio a Internet.

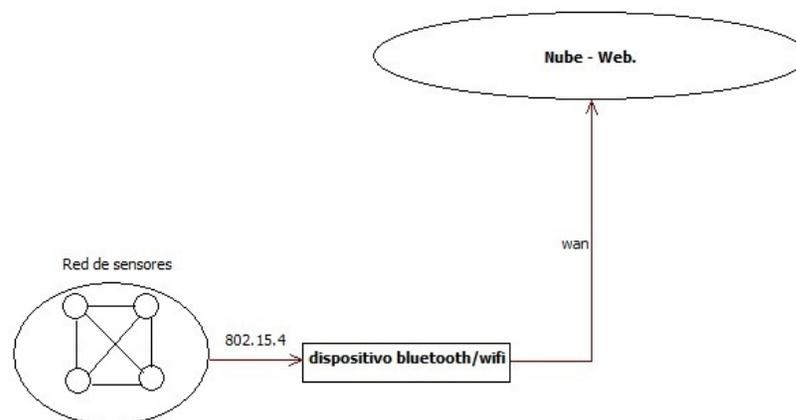


Figura 3.3. Red de sensores y dispositivos híbridos

3.2. Flujo de Datos en la Red de Sensores de Monitoreo

Una vez analizado el esquema de redes de sensores inalámbricas (WSN), que permite la transferencia de datos desde los sensores hasta el nodo coordinador (Sink) encargado de la administración de los datos recolectados, se procedió a realizar el seguimiento del flujo de datos que se genera en el esquema funcional de la red, en la figura 3.4, se puede observar la forma en que se comporta el flujo de datos, desde el punto de vista del lenguaje de programación que se utiliza en los segmentos de la red de sensores hasta su almacenamiento.

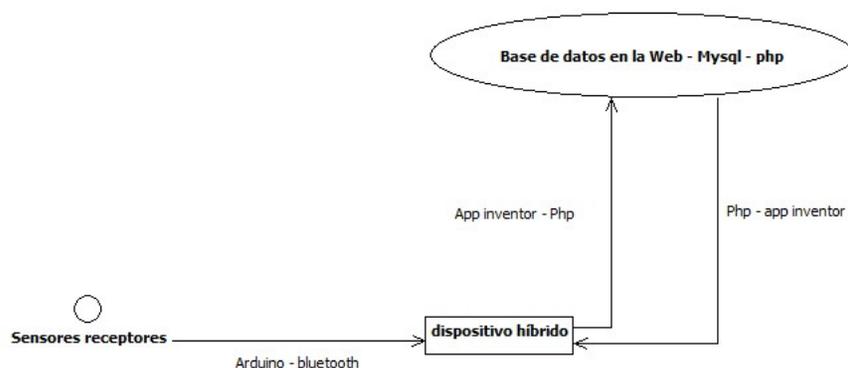


Figura 3.4. Envío de datos a la base datos – modelo de monitorización

Para el modelo planteado anteriormente se consideraron dos segmentos de transmisión importantes: el primero se puede observar desde el sensor de monitorización hasta el dispositivo híbrido que recibe la señal del sensor y el segundo segmento es el que comprende desde el dispositivo híbrido hacia el servidor (nodo coordinador) que almacena y procesa la información recolectada de los sensores, en este tramo, los datos pueden ser enviados a dispositivos locales de almacenamiento

como en una red LAN o recursos de almacenamiento remoto como los existentes en la red internet.

Cabe aclarar que el sistema de monitorización se enfoca hacia la medición de las variables de presión arterial, como se mencionó en el capítulo dos, esto con el fin de utilizar la figura de “paciente” en los siguientes apartados. Los pacientes quienes portan un sistema de monitorización individual encasillado en el modelo de una WSN descrita anteriormente, permite, tenerlos como referente en la transmisión de datos, debido a que la red inicia desde el dispositivo que lleva consigo el paciente. En este caso los sensores del tramo inicial de la red de monitorización generan las mediciones respectivas desde el dispositivo que porta el paciente que son enviados mediante el estándar Bluetooth, los cuales son recibidos por el dispositivo híbrido que tiene una doble función: la primera es la de establecer la comunicación emisor – receptor, la cual se consigue al comunicarse con el mismo estándar en este caso Bluetooth y la segunda es decodificar la señal obteniendo los datos de la medición realizada por los sensores que se consigue al implementar en el dispositivo un programa que realice las dos funciones. En la figura 3.5 se muestra la interacción del sistema de monitorización.

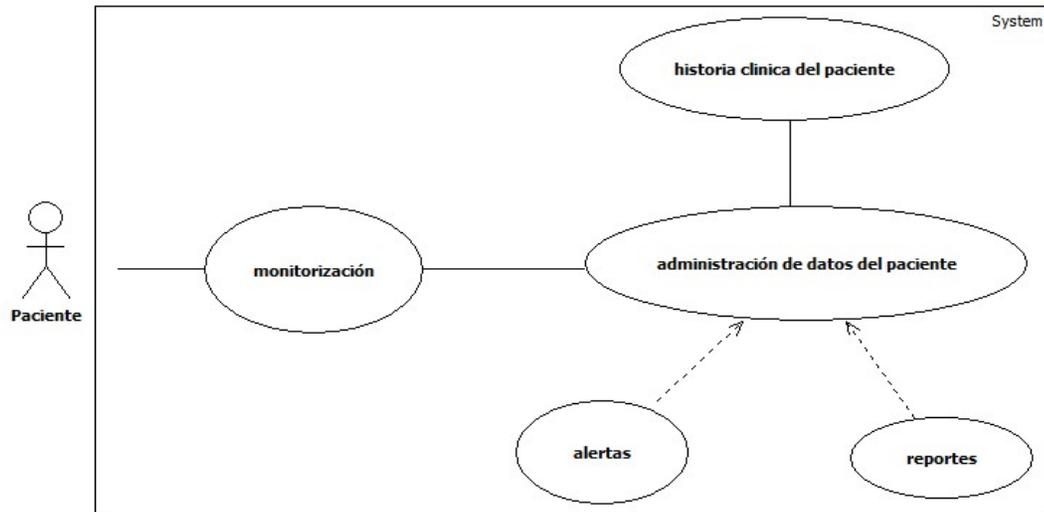


Figura 3.5. Flujo de datos sistema de monitorización

Al analizar el modelo de casos de la figura 3.5 se observa que el paciente es quien entrega la información al sistema de monitorización el cual administra dichos datos para generar los reportes, alertas y actualizaciones a la historia clínica del paciente. En la figura 3.6, se puede observar la lógica del programa de monitorización propuesto, que comprende una serie de funciones, las cuales parten de la información emitida por el sensor que porta el paciente hacia el programa que almacena dicha información, por otra parte, también se tienen las funciones de gestión y administración de la información capturada, la cual es almacenada en un sistema remoto que se puede ubicar en Internet (nube) o en redes WAN empresariales, así como en un servidor local ubicado en la misma área de la WSN implementada.

Por otra parte, y adelantándose un poco con el siguiente capítulo, el sistema de monitorización propuesto emplea reglas de lógica difusa para la generación de reportes y alertas, que constituyen también una parte importante del software propuesto.

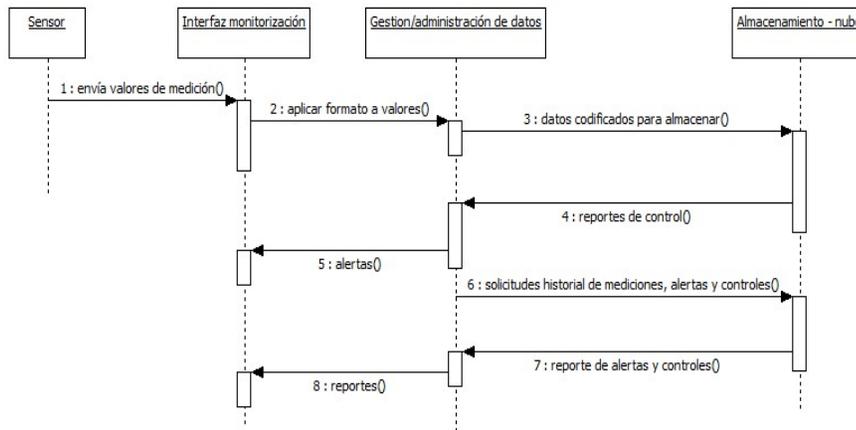


Figura 3.6. Secuencia del flujo de datos

3.3. Creación del Modelado de Monitorización

Como se ha venido explicando, el sistema de monitorización propuesto, que lo constituye el prototipo de hardware y el software desarrollado; toma los valores de medición emitidos por los sensores portados por las pacientes con riesgo de preeclampsia (Patología seleccionada en el caso de estudio). Las variables de medición recibidas por lo tanto por el sistema de monitorización son las relacionadas a la presión arterial sistólica y diastólica de las pacientes en control, estas variables de medición fueron seleccionadas debido a su importancia en el procedimiento de tratamiento a pacientes con riesgo de preeclampsia de acuerdo a lo comentado en el capítulo uno.

De acuerdo con lo anterior, el flujo de datos emitido por la red de sensores inalámbrica (WSN), se constituye de las siguientes variables de control, de acuerdo con el software propuesto:

- Variable de identificación de la paciente en control, para ello se toma el número de identificación con el cual se registra a la paciente en el historial clínico.
- Variables de medición de la presión arterial, la primera variable es la que mide la tensión arterial sistólica y la segunda la que mide la tensión arterial diastólica
- Variable de fecha, la cual indica la fecha en la cual se hace la medición de la presión arterial en la paciente
- Variable de tiempo, la cual lleva la hora en la cual se hace la medición de la presión arterial de la paciente
- Variable de identificación del sensor, la cual lleva el número de identificación del dispositivo que emite todas las variables anteriores, esta variable permite el seguimiento directo del funcionamiento del sensor de medición.

Las variables anteriores son generadas por los sensores mediante una única trama, la cual es una unidad de datos única e irrepetible que lleva información vital para el seguimiento de la paciente (Romero, 2004).

3.3.1. Diseño del modelado de datos: En este aspecto, hay que destacar que la información generada por el sensor en primera instancia no tiene formato de entrega, cuando los datos son capturados del dispositivo híbrido deben ser procesados para ser entregados de manera ordena a la base de datos de control.

El diseño de la base de datos debe ser fiable y confiable para que la información de las pacientes se mantenga en el tiempo y sea accesible en todo momento. Las bases de datos son un sistema estructurado de datos, los cuales están integrados por entidades y relaciones (Camp et

al. 2005), lo que permite manipular, editar, consultar y guardar los datos, por ello, el diseño de la base de datos debe ser adecuado para que el sistema de monitorización de la información permita posteriormente realizar las diferentes consultas que proveerán al personal médico información sobre el estado de la paciente en seguimiento.

3.3.1.1. Diseño de base de datos: Existen diferentes diseños de bases de datos, por lo anterior en este apartado del capítulo se hace necesario describir algunos tipos de diseños (BDR y BDOR) y el que se seleccionó para el desarrollo de la aplicación propuesta.

3.3.1.1.1. Bases de datos relacionales BDR: Las bases de datos relacionales son fáciles de utilizar porque permite que la información sea vista por el usuario como una estructura lógica que permite ver los datos de manera independiente, permitiendo que la base de datos sea simple y uniforme (Camp et al. 2005). Esta disposición de la información en la base de datos proporciona simplicidad y uniformidad, permitiendo que toda la información se represente de una única manera. Las bases de datos relacionales proporcionan índices que identifican de manera única la colección de datos almacenada en ella, indicando que son únicos e irrepetibles para un conjunto de datos, esta relación hace que la información sea precisa en el momento de la manipulación en los casos de reportes.

3.3.1.1.2. Bases de datos objeto relacionales BDOR: Este tipo de base de datos son una extensión de las bases de datos relacionales cuya diferencia esencial es que a la BDOR se le pueden incluir características de programación orientada a objetos, además, las BDOR permiten crear múltiples relaciones sin índices únicos para la colección de datos lo cual

ayuda a realizar índices compuestos que pueden también identificar el conjunto de datos para múltiples operaciones.

Para el diseño del sistema de monitorización se optó por las bases de datos objeto relacionales (BDOR), porque la colección de datos puede ser repetible en la base de datos con identificación de índices múltiples y únicos para los datos generados por un sensor, es decir, cuando un sensor genera las variables obtenidas de la medición de la presión arterial de la paciente, estos datos por control tienen índices repetidos como, por ejemplo, el número de identificación de la paciente y del sensor; con las BDOR esta repetición de índices es permitida sin generar errores en el almacenamiento de esta información, que luego se organizará y clasificará según la consulta que se haga a la base de datos.

3.3.2. Diseño del modelado de proceso: Los sistemas de base de datos tienen como característica principal el almacenamiento de información y la administración de esos datos, para ello, existen diversos sistemas manejadores de bases de datos DBMS (data base manager system) pero sus características y funcionamientos son similares (Date, 2001).

Los DBMS en general de acuerdo con los comentado por (Lopez 2006), tienen las siguientes características

- Establecen la organización de los datos de acuerdo con las especificaciones dadas por los programas utilizados.
- Tienen datos de naturaleza descriptiva para las bases de datos, llamados metadatos.

- Poseen soporte de múltiples vistas de datos y con capacidad para compartirlo.
- Utilizan procesos de transacciones de multiusuario.
- Permiten el desarrollo de aplicaciones en un tiempo reducido.
- Tienen disponibilidad de la información actualizada.
- Manejan bases de datos de cualquier tamaño, de acuerdo con el sistema manejador elegido.
- La base de datos que manipulan puede tener diferentes tipos de complejidad de acuerdo con el objetivo específico.
- Acceso controlado a los datos mediante mecanismos de seguridad

Para el sistema de monitorización, el DBMS debe permitir realizar operaciones sobre los datos generados por los sensores que portan las pacientes en control, por ello, el DBMS permite recibir el formato de los datos que son transmitidos desde los sensores como por ejemplo numéricos, caracteres, fecha y tiempo, así como también permite estructurar y restringir los datos en el momento de la recepción de los mismos.

La definición del formato de los datos anteriormente mencionada permite construir en el DBMS la base de datos, donde se puede manipular los datos permitiendo consultar, actualizar, realizar reportes, eliminar registros, manejar restricciones y verificar integridad de la información, entre otras acciones. (Hernández, 2006)

El manejo adecuado de la base de datos permite el control de redundancia, porque permite almacenar cada dato lógico en un solo lugar en la base de datos para evitar la inconsistencia y ahorrar espacio de almacenamiento. El control de los datos permite además la

restricción de acceso no autorizado y controla el uso adecuado de los datos almacenados. El DBMS debe ofrecer recursos necesarios para definir las restricciones de integridad que deben cumplir los datos recibidos desde los sensores y hacer que sean cumplidas. Al diseñar la base de datos se debe identificar las restricciones durante el diseño, las restricciones se pueden especificar en el DBMS cumpliéndose de forma automática, aunque también se pueden verificar con aplicativos adicionales o software de validación para garantizar que la información sea verás al ser almacenada. El DBMS implementado para el sistema de monitorización, se buscó que sea seguro en el almacenamiento de los datos, ya que, el sistema al estar disponible en redes externas es vulnerable tanto en hardware como en software, por lo tanto, la especificación de los aspectos de seguridad desde el inicio del diseño de monitorización debe ser adecuado.

El sistema de monitorización permite ser manejado desde diferentes plataformas y la implementación del DBMS proporciona la creación de múltiples interfaces de usuario al especificar los tipos de usuarios, grupos y roles al crear los mecanismos de acceso, utilizando los permisos y restricciones necesarias para controlar tanto el acceso de las pacientes, personal médico y administradores del sistema sobre el uso adecuado de los datos almacenados. En términos generales el sistema de monitorización se ha implementado con un DBMS que permite la integridad, accesibilidad, seguridad, confidencialidad y disponibilidad de la información de las pacientes en monitoreo. (Hernández, 2006)

3.3.3. Sistemas manejadores de bases de datos: Existen en el ambiente informático varios tipos de sistemas manejadores de bases de

datos, entre los más destacados están los siguientes: (López, 2006), (Rios, 2011)

3.3.3.1. PostgreSQL: este SDBD es de tipo de código abierto, tiene un tipo de licencia BSD. Es un sistema multiplataforma que posee variedad de tipos nativos tales como figuras geométricas, direcciones IP, texto de largo ilimitado, direcciones MAC, entre otras. soporta triggers y funciones, puede ser usado con una gran cantidad de lenguajes de programación como Java, Perl, Python, PHP, Ruby entre otros.

3.3.3.2. SQLite: es un SDBD de tipo código abierto, con un tipo de licencia de dominio público. Tiene una biblioteca que enlaza con el programa directamente haciendo parte de él mismo. Sus funcionalidades se utilizan mediante llamadas simples a funciones y subrutinas dadas. Todos los elementos de las bases de datos son guardados en un solo archivo en la máquina equipo. Entre las características a tener en cuenta es que es muy ligero con una librería muy compacta.

3.3.3.3. Mysql: es un SDBD que tiene un tipo de licencia dual, lo cual quiere decir que, aunque tiene licencia GNU GPL se debe comprar la licencia para empresas que desarrollen productos comerciales. Permite el uso de triggers, maneja distintos motores de almacenamiento, puede trabajar con múltiples API's para trabajar con diferentes lenguajes de programación.

3.3.3.4. SQL Server: es un SDBD de código propietario perteneciente a la empresa Microsoft, funciona en los sistemas operativos Windows de diferentes versiones. Sus lenguajes de consulta son T-SQL y ANSI SQL.

Se puede encontrar con licencia de tipo Standard o Enterprise de acuerdo con las complejidades que necesite el cliente.

3.3.3.5. Oracle: este SDBD pertenece a la empresa Oracle Corporation. Es un sistema multiplataforma considerado como uno de los más completos y actualmente es el primer proveedor de bases de datos a nivel mundial. Tiene varias ediciones: Enterprise, Standard, Standard One, Express Edition, Personal y Lite entre otras. Tiene escalabilidad, estabilidad y presenta soporte de transacciones.

3.3.3.6. IBM DB2: es un SDBD de la empresa IBM. Entre las características que posee se destaca que utiliza XML de manera nativa, almacena datos en forma ligera, elimina procesos rutinarios entre otras.

Como se observa existen diferentes DBMS que van desde los comerciales, libres y duales para el manejo de una base de datos. Para el sistema de monitorización la implementación se realizó en Mysql de acuerdo a los siguientes aspectos:

En primera instancia debido a su fácil adaptabilidad a los lenguajes de programación usados en el desarrollo del software del sistema de monitorización diseñado, los cuales son PHP, APP inventor, SQL, C, HTML. JAVASCRIPT.

Por otra parte, también se pueden mencionar las siguientes características que aporta MySQL a la sostenibilidad de la información en la base de datos (Neothek, 2016), y que son fundamentales para el desarrollo propuesto;

- Escalabilidad y flexibilidad

- Alto Rendimiento
- Alta Disponibilidad
- Apoyo transaccional robusto
- Aspectos de Internet y datos de almacenamiento confiables
- Fuerte Protección de Datos
- Desarrollo Integral
- Facilidad de Gestión
- Bajo costo

3.3.4. Montaje de servicios: El sistema de monitoreo en su diseño tiene como característica la implementación de un servidor Web que puede ser instalado de manera local (local equipo) o de manera remota. En esencia, un servidor Web es un programa que atiende y responde diversas peticiones de los navegadores (Mateu, 2004), estas peticiones se hacen sobre el metalenguaje HTML que se envían en el protocolo HTTP o el protocolo HTTPS.

El servidor Web presenta las siguientes características básicas de funcionamiento

1. Espera peticiones en el puerto TCP asignado.
2. Recibe una petición.
3. Busca el recurso en la cadena de petición.
4. Envía el recurso por la misma conexión por donde ha recibido la petición.

3.3.4.1. Servidor Web local: como característica principal es que todo el servicio Web, se instala en una sola máquina y funciona en una red de área local y los contenidos del servidor solo se pueden acceder de

manera local por los usuarios pertenecientes a la red donde se encuentra la máquina que presta el servicio.

3.3.4.2. Servidor Web remoto: pueden ser gratuito o de pago, estos servidores proporcionan un espacio de alojamiento y una dirección (dominio) en la red Internet o en una WAN corporativa, los servicios que presta el servidor pueden ser extendidos a todas partes donde llegue la red en la cual se ha implementado, si es Internet el acceso al servicio es global, si es en una WAN corporativa, será en los dominios de la misma.

3.3.4.3. Servidor Web apache: Apache es un proyecto de la Fundación de Software Apache, con el objetivo de suministrar un servidor seguro, eficiente, y extensible que proporcione servicios HTTP en sincronía con los estándares HTTP actuales. (Fundación apache, 2017). Apache es un servidor Web flexible, rápido y eficiente, que continuamente se actualiza y adapta a los nuevos protocolos de desarrollo en internet, se puede utilizar de forma local o remota. Apache es:

- Multiplataforma.
- Modular: se puede adaptar a diferentes entornos y necesidades, con sus diferentes módulos de apoyo que proporciona, y con la API (Application Programming Interface) de programación de módulos en PHP, para el desarrollo de módulos específicos.
- Extensible: gracias a ser modular se han desarrollado diversas extensiones entre las que destaca PHP, un lenguaje de programación del lado del servidor.

3.3.5. Lenguaje de Programación PHP: El lenguaje de programación PHP (Hypertext Preprocessor) fue necesario para el desarrollo del sistema de monitoreo Web propuesto, debido a que permite crear las

rutinas que reciben los datos generados por los sensores y su posterior envío al servidor Web. PHP permite crear las reglas de negocio para el sistema de monitorización, dado que, al ser un lenguaje sencillo permite ser interpretado en diferentes sistemas operativos, orientado a objetos y multiplataforma. PHP es un lenguaje que se ajusta fácilmente para el desarrollo de aplicaciones Web complejas por la gran cantidad de librerías de código libre, con lo que el programador que utiliza PHP dispone de una gran cantidad de herramientas libres.

PHP suele ser utilizado conjuntamente con Perl, Apache, MySQL o PostgreSQL en sistemas Linux o Windows, formando una combinación potente y versátil. Lo cual permite que las aplicaciones escritas en PHP resulten mucho más rápidas que otras aplicaciones del lado del servidor. (Mateu, 2004).

3.3.6. Gestor de base de datos MySQL: MySQL es un sistema para la gestión de bases de datos del tipo relacional, funciona bajo licencia dual GPL/Licencia comercial. (Fundación apache, 2017), MySQL es uno de los sistemas gestores de bases de datos más populares para el desarrollo de gran cantidad de aplicaciones Web de consulta. Su compatibilidad con el lenguaje PHP permite que su uso esté altamente desarrollado en este tipo de aplicaciones. (MySQL, 2007).

3.3.7. APP INVENTOR (Application Inventor): En el desarrollo del sistema Web de monitoreo se desarrolló aplicaciones para dispositivos móviles con APP INVENTOR que es un entorno de programación para dispositivos que tengan instalado Android. Al Crear las aplicaciones con APP INVENTOR se logró integrar las paginas alojadas en el servidor

Web, los datos enviados por sensores y los dispositivos móviles (teléfono o tablet Android).

APP INVENTOR permite el desarrollo visual de aplicaciones Android mediante dos herramientas: APP INVENTOR Designer y APP INVENTOR Blocks Editor. En Designer se construyó la interfaz de paciente, eligiendo y situando los elementos con los que interactúa el paciente con el dispositivo inteligente y también con los componentes de la aplicación.

En el Blocks Editor se definió el comportamiento de las variables obtenidas de los sensores y su análisis en el servidor Web que evalúa dichas variables. (APP INVENTOR, 2005)

En general, el sistema de monitoreo propuesto y desarrollado por el grupo Davinci de la UNAD, contiene los siguientes elementos: Un servidor Web donde se crea el sistema de monitorización, el cual se compone de base de datos y las páginas Web de intercambio de información para el manejo del sistema; el lenguaje de programación PHP, que permite operar con las variables del sistema de monitoreo llevando y trayendo información al sistema de monitorización; la base de datos que almacena y procesa los valores de las variables generadas por los sensores, aplicación de reglas de búsqueda y generación de las alertas a las pacientes en monitoreo; y por último el lenguaje de programación APP INVENTOR el cual crea un puente entre los sensores ubicados en las pacientes, sus dispositivos móviles o teléfono inteligente y el servidor, donde finalmente se almacenan en la base de datos. (APP INVENTOR, 2005)

El montaje de servicios permitió para la aplicación de monitorización, seguimiento modular en la transmisión de las señales, debido a que, como se comentó anteriormente el sistema incluyó una secuencia lógica de eventos para el seguimiento en tiempo real de las pacientes en control.

3.4. Construcción del sistema de monitorización WEB

El uso de herramientas de código libre: servidor Web Apache, base de datos Mysql, y lenguaje PHP para la interfaz Web permite que un usuario autenticado pueda consultar los datos medidos y alertar en tiempo real sobre la medición realizada por el o los sensores que miden la variable seleccionada.

El sistema de monitoreo tiene su base en el diseño multinivel (Domingo & Vega, 2010), con este diseño se desarrolla el software en tres capas para evitar redundancia de código, uso de librerías compartidas y rutinas de enlace al motor de base de datos.

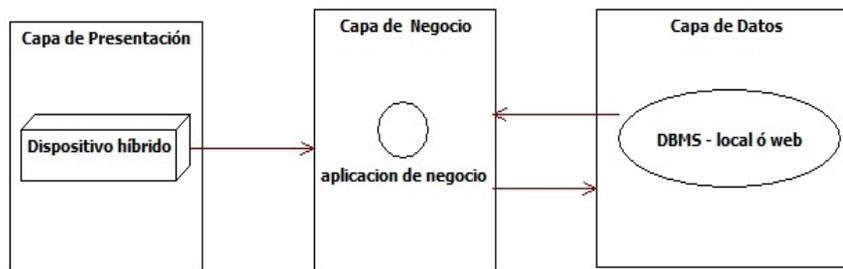


Figura 3.7. Diseño de tres capas

A continuación, se mencionan aspectos generales del diseño de tres capas para el desarrollo del sistema propuesto:

- La capa de presentación indica el uso del programa, que permite transferir los datos recibidos de los sensores a la aplicación la cual gestiona la información, para su tratamiento y las alertas del sistema de monitoreo.
- La capa de negocio es donde se creó la aplicación y se gestó la comunicación y transferencia de datos, desde las aplicaciones Android al manejador de base de datos Mysql y Android, con el lenguaje primario de diseño PHP.
- La capa de datos es donde se administra la información y es susceptible de manipulación con algoritmos de lógica difusa o códigos de minería de datos, para la toma de decisiones y generación de alertas.

3.4.1. Capa de presentación: La capa de presentación tiene como elementos importantes los dispositivos que capturan, almacenan y generan los datos, que tienen como elemento esencial los sensores portados por las pacientes, cuya información es recibida vía Bluetooth, desde los sensores de la paciente y que fue manejada por un dispositivo hibrido, para luego ser enviada a un dispositivo computacional con almacenamiento. Los sensores de presión que fueron utilizados por las pacientes tienen la capacidad de transmitir la información mediante Bluetooth, esta tecnología se configura en la manilla para que el dispositivo realice las mediciones y posterior envío como se comentó en el capítulo dos. A partir de este punto se presenta la explicación de la creación del sistema de monitorización desarrollado.

3.4.1.1. Desarrollo de la interfaz para dispositivos híbridos:

Inicialmente se hace un reconocimiento de la plataforma de desarrollo para dispositivos móviles denominada APP INVENTOR, esta plataforma presenta las siguientes características: La interfaz de desarrollo en la cual se encuentran los bloques del programa para la creación de aplicaciones móviles. Ver figura 3.8.

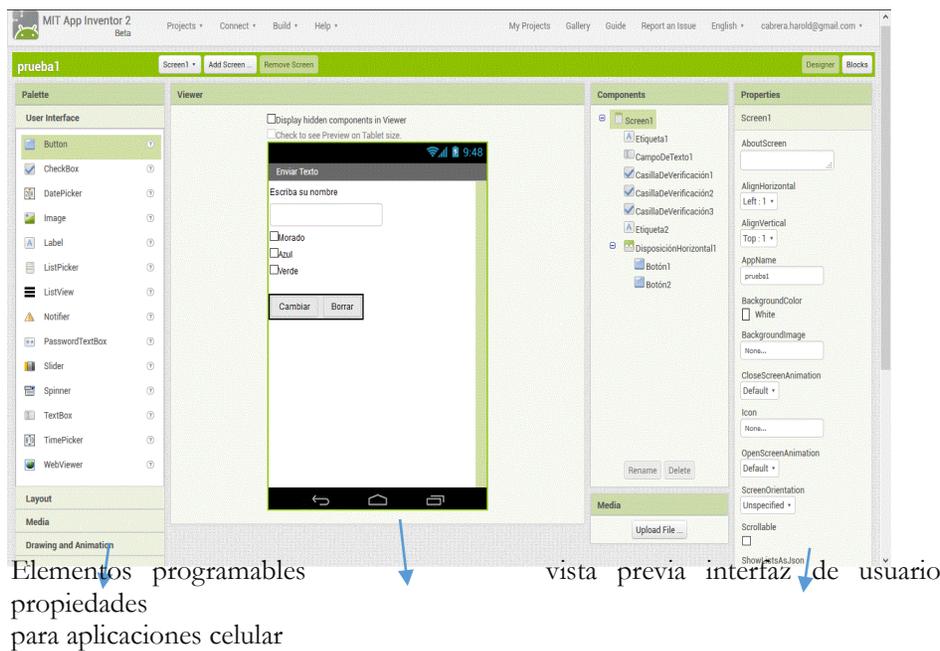
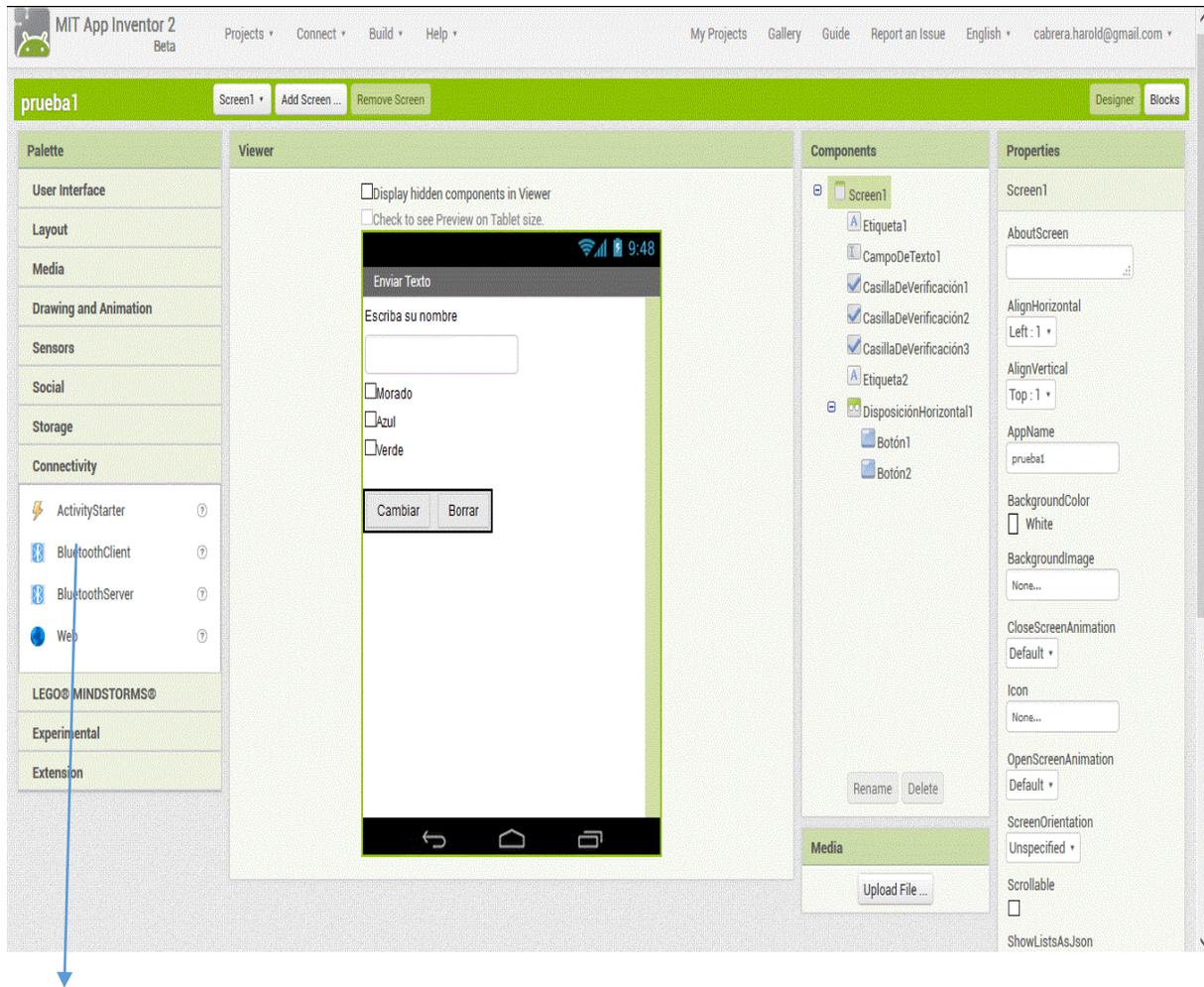


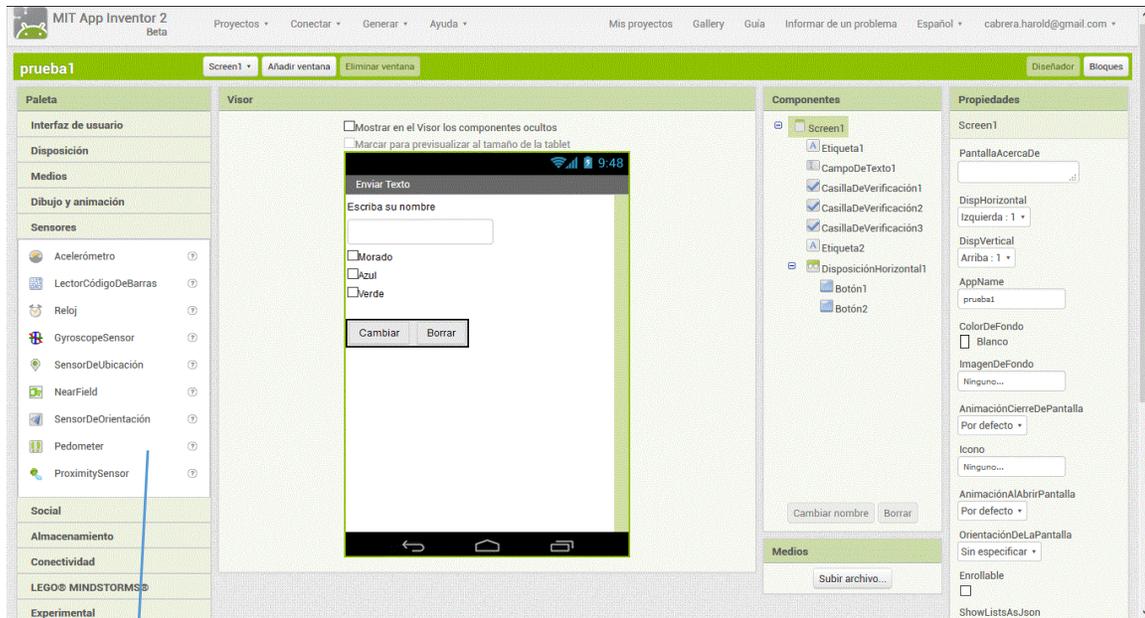
Figura 3.8. Entorno de desarrollo de app inventor

En el reconocimiento anterior se puede observar que el programa permite la programación de componentes de conectividad mediante Bluetooth y vía Web, este aspecto es importante para el proyecto ya que se pueden reconocer sensores con tecnología Bluetooth cercanos a dispositivos móviles y con ellos realizar la transferencia de datos de manera transparente para los usuarios. Ver figura 3.9.



Conectividad

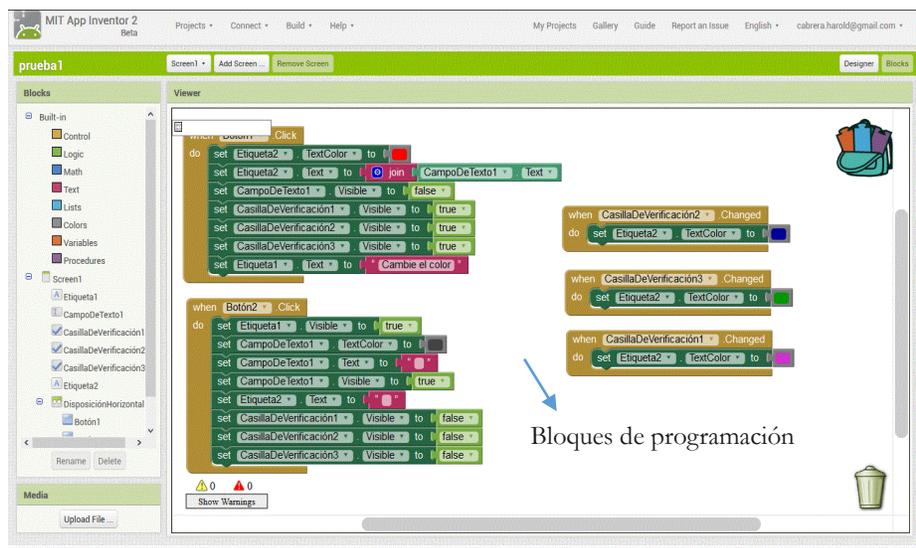
Figura 3.9. Tipos de conectividad con APP INVENTOR



Sensores

Figura 3.10. Bloques de programación en APP INVENTOR

También con el programa APP INVENTOR se programó los sensores propios de los dispositivos móviles como: el sensor de proximidad, luz, barómetro, hall, geolocalización, gravedad, podómetro los cual podría proveer de recursos a nuevos proyectos investigación.



Bloques de programación

Figura 3.11. Bloques de programación de recepción de datos vía Bluetooth

Con los elementos anteriormente descritos se puede concluir que el entorno de desarrollo de APP INVENTOR proporciona un entorno de programación de fácil manejo que permite el desarrollo rápido de aplicaciones.

3.4.1.2. Vía Bluetooth -Teléfono inteligente a Internet: Como se ha comentado anteriormente, el sistema de monitoreo desea llevar un registro de la presión arterial de las pacientes con riesgos de preeclampsia, dichas pacientes son las portadoras de un dispositivo (prototipo propuesto capítulo dos) que se encarga de esa medición y envío de la información vía Bluetooth a un dispositivo (teléfono inteligente) que permite el envío de datos a la nube (Kio, 2005). En el teléfono inteligente se ha diseñado un entorno que permite recibir los datos de las pacientes los cuales se capturan para posteriormente ser enviados a la base de datos de seguimiento. En la figura 3.12 se observa el diseño inicial para el dispositivo teléfono inteligente el cual captura la información y la distribuye de manera organizada en las etiquetas dispuestas en el teléfono inteligente para ser albergadas de manera temporal y luego ser enviadas a la base de datos.

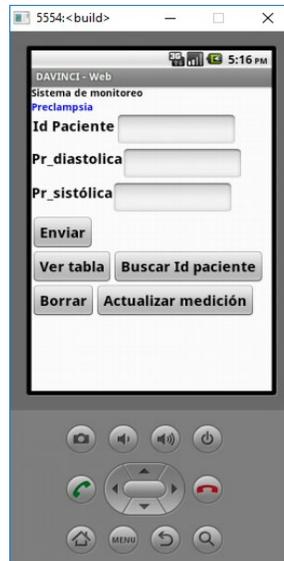


Figura 3.12. Interfaz de captura de variables.

Para el servicio de monitorización en el teléfono inteligente de la paciente fue necesario iniciar el servicio de reconocimiento Bluetooth a continuación se muestra la manera de conexión a los dispositivos mediante bloques de programación en APP INVENTOR y como se crea dicha aplicación. (Kio, 2005).



Figura 3.13. Diseño de interfaz de conexión BLUETOOTH

El bloque de la figura 3.14 permite activar el reconocimiento de dispositivos Bluetooth cercanos, para el caso de estudio el dispositivo reconocido (prototipo desarrollado) es el que portó la paciente, el cual, mide la presión arterial y envía dicha información mediante Bluetooth (Kio, 2005). Este bloque se activa cuando se pulsa conectar en el teléfono inteligente y de la lista se escoge el dispositivo, cargándolo con Bluetooth, luego se pulsa en el dispositivo y se habilita/deshabilita la comunicación para la recepción de mensajes.

Los procesos de medición de la presión arterial de las pacientes deben estar monitoreados en periodos de tiempo, por ello, desde el teléfono inteligente se hacen lecturas de las señales enviadas por el dispositivo a intervalos de tiempo programados para el seguimiento, el modelo del bloque de programación se presenta en la figura 3.15, donde se muestra la manera de temporizar de captura de información del dispositivo Bluetooth de la paciente. (Kio, 2005).

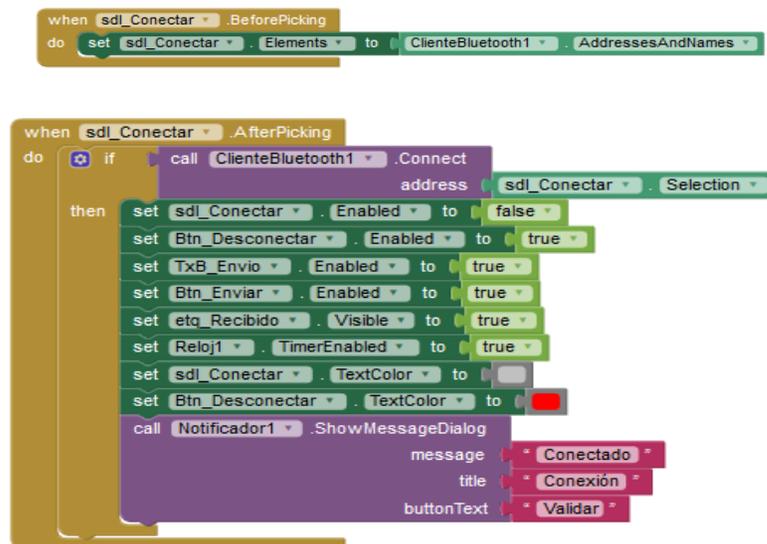


Figura 3.14. Reconocimiento de dispositivos BLUETOOTH cercanos

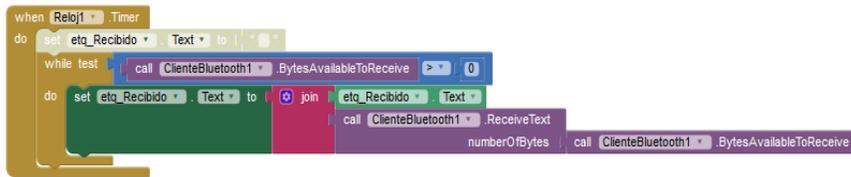


Figura 3.15. Sincronización del tiempo de monitorización

Por medio de este bloque se cargan los valores recibidos en las etiquetas del programa que se muestra en la figura 3.15, al estar las variables ya cargadas en el programa del teléfono inteligente se pueden enviar de manera manual o automática a la base de datos.

3.4.1.3. Envío de datos a la base de datos de seguimiento:

Establecida la conectividad entre el dispositivo de medición de presión arterial de la paciente y el teléfono inteligente, se realizó la programación necesaria para que los valores de las variables capturadas sean enviados a la base de datos en el servidor Web, al cual se puede acceder por medio de Internet, utilizada para la monitorización de las pacientes. Esta información se envía mediante el siguiente código de bloques, lo cual permite la conexión a la base de datos externa.

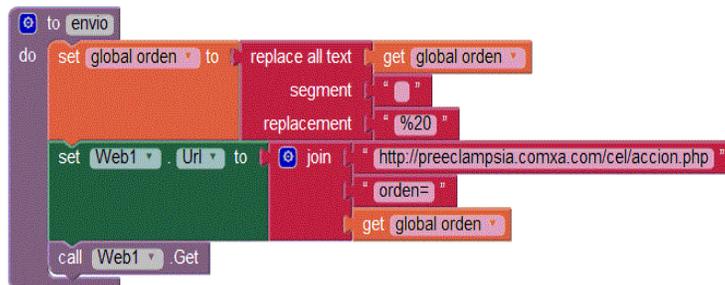


Figura 3.16. Conexión a la base de datos

Como se observa en el código de bloques (figura 3.16), se direcciona hacia el dominio donde se creó la base de datos.

En el siguiente código de bloques se observa cómo se realiza ya la inserción de los datos capturados desde el celular, en la base de datos del dominio anterior. (Kio, 2005).

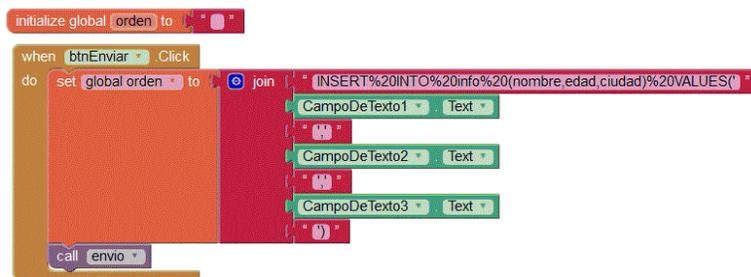


Figura 3.17. Uso de sentencias SQL para la inserción de datos en la base de datos en Internet

Y como resultado final se muestra ya la transacción de datos realizada

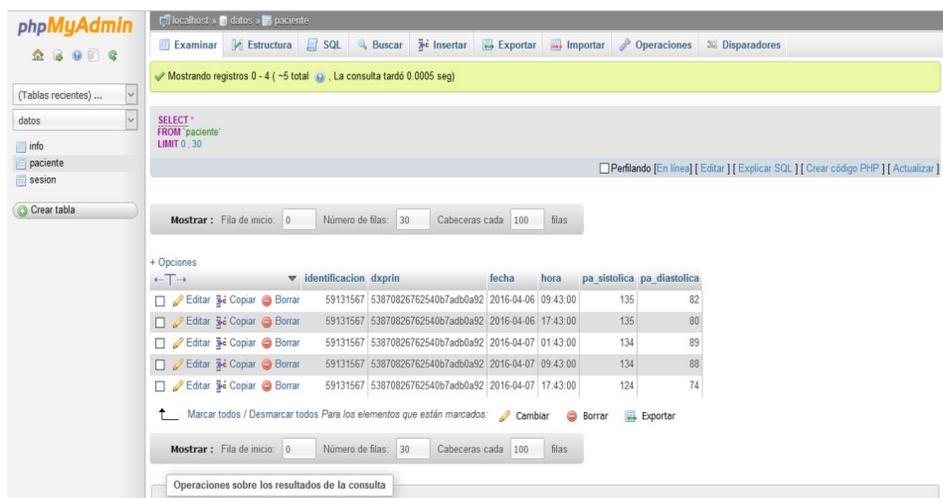


Figura 3.18. Base de datos

3.4.1.4. Vía Bluetooth a servidor Web mediante Internet: El dispositivo de monitorización portado por las pacientes es versátil, ya que, la transmisión también se puede dar mediante redes inalámbricas tipo WiFi, con esta opción el proceso de envío de datos se puede hacer en redes locales pequeñas (LAN), donde existan varias pacientes en control, lo que permite hacer el seguimiento a varias pacientes de manera simultánea.

El servidor encargado de recibir toda esta información al mismo tiempo es quien almacena, procesa y genera las alertas necesarias para las pacientes monitorizadas o envía la información recibida a una base de datos externa en un servidor Web remoto mediante Internet para que la información esté disponible en línea permanentemente.

La creación de programas para la administración de la información se realizó con el lenguaje de programación PHP, que se convirtió en el mediador de los datos recibidos desde los dispositivos de monitorización y la base de datos en el servidor Web remoto con acceso mediante Internet.

3.4.1.5. Rutinas de carga en la base de datos de seguimiento: Recibidos los datos de los dispositivos de monitorización de las pacientes, en el servidor Web, se tiene el sistema donde se almacena, procesa y administra los datos recibidos desde los dispositivos de las pacientes y también se encarga de enviarlos de manera automática o manual a la base de datos en el servidor Web mediante Internet, a continuación, se muestran los códigos en PHP que permitieron realizar estas funciones.

Con las siguientes líneas en PHP se logró que la carga de los datos se haga en periodos de tiempos regulares. Nótese el valor 3600 en la siguiente línea de código PHP el cual indica el número de segundos en los cuales se realizará nuevamente la lectura de datos almacenados en el servidor para ser administrados por el sistema de monitorización, este valor se puede configurar de acuerdo las especificaciones médicas requeridas.

```

<?php
header("Refresh: 3600; URL=./rutina.php");

$link=mysql_connect("mysql9.000WEBequipo.com","a8195132_root"
,"cumbia1600");
mysql_select_db("a8195132_datos",$link);

$numero=0;
$numero=count(glob("./datos/{*.csv}",GLOB_BRACE));
echo " Registros encontrados $numero <br>";
$c=0;
function showFiles($path)
{
    $dir = opendir($path);
    $files = array();
    while ($current = readdir($dir)){
        if( $current != "." && $current != "..") {
            if(is_dir($path.$current)) {
                showFiles($path.$current.'/');
            }
            else {
                $files[] = $current;
            }
        }
    }
}

echo '<h2>'.$path.'</h2>';
echo '<ul>';
for($i=0; $i<count( $files ); $i++)
{
    echo '<li>'.$files[$i]."</li>";
    if (($gestor = fopen("./datos/$files[$i]", "r")) != FALSE)
    {
        while (($datos = fgets($gestor, 1000, ";")) != FALSE)
        {
            $sql="insert into
paciente(identificacion,dxprin,fecha,hora,pa_sistolica,pa_diastolica)
values('$datos[0]','$datos[1]','$datos[2]','$datos[3]','$datos[4]','$datos[5]')
";

```

Figura 3.19. Rutina para la carga de información mediante PHP

```
$numero=count(glob("./datos/{*.csv}",GLOB_BRACE));
```

Figura 3.20. Rutina para reconocimiento de archivos planos CVS con PHP

En la figura 3.20, se puede observar la línea que indica que los archivos enviados vienen en bloques, es decir, el dispositivo de monitorización realiza varias mediciones generando un archivo de datos en formato CSV (comma separated values), que es un archivo de texto donde se almacenan los datos en forma de columnas, separadas por comas y las filas se distinguen por saltos de línea (Lolap, 2004), este tipo de archivos permite almacenar más información de manera temporal evitando el envío de datos de forma continua y sobrecargado el dispositivo de medición.

```
<?php
$link=mysql_connect("mysql9.000WEBequipo.com","a8195132_root","cumbia1600");
mysql_select_db("a8195132_datos",$link);
?>
```

Figura 3.21. Rutina para conectar base de datos externa con PHP

En la figura 3.21, se puede observar como el servidor valida los archivos almacenados, verificando la conexión a la base de datos externa en el servidor Web, mediante Internet, realizado este proceso que valida la conexión, se cargan los datos almacenados en el archivo CVS a la base de datos como se observa en la siguiente línea, ve figura 3.22.

```
sql="insert into paciente(identificacion,dxprin,fecha,hora,pa_sistolica,pa_diastolica)
values('$datos[0]','$datos[1]','$datos[2]','$datos[3]','$datos[4]','$datos[5]');"
```

Figura 3.22 Rutina para inserción de datos a la base de datos externa con PHP

Los datos de los archivos CVS se cargan en la base de datos y se elimina en el servidor para evitar redundancia en la información y sobre carga en el mismo.

3.5. Capa de Negocio

El sistema de monitorización para pacientes tiene como arquitectura, una base de datos creada en un servidor Web, a la cual se puede acceder remotamente mediante Internet, con el fin de mantener la información de forma permanente, para que los diferentes usuarios en línea habilitados puedan acceder a ella en el momento que lo requieran.

Las transacciones que se realizan sobre la base de datos, permiten identificar a las pacientes que tengan riesgos en su salud al ser detectadas con presiones arteriales elevadas, por ello, el sistema de monitorización mediante la actualización periódica de la base de datos permite generar alertas a las pacientes en los siguientes estados:

- Normal presión entre 80 mm Hg – 120 mm Hg
- En control preventivo presión 100 mm Hg – 130 mm Hg
- Atención inmediata presión superiores 100 mm Hg – 140 mm Hg

Las rutinas que están monitorizando la base de datos se pueden observar a continuación, ver figura 3.23.

```

if(isset($_SESSION['nombre']))
{
    echo "<b>Has iniciado Sesión: ".$_SESSION['nombre']. "</b></b><br>";
    $sql="SELECT identificacion,max(pa_sistolica) as pa_sistolica FROM paciente WHERE
    identificacion='{$_SESSION['nombre']}'";
    $resultado=mysql_query($sql,$link);
    while($registro=mysql_fetch_array($resultado))
    {
        if ($registro['pa_sistolica']>=140)
        {
            echo "<b>Identificación Paciente: ".$registro['identificacion']. "</b><br>";
            echo "<b>presión alta - control médico inmediato."<br>". "Presión actual:
            ".$registro['pa_sistolica']. "</b><br><br><br>";
            echo "<img src='./figura/mga.jpg' ALT='llame a su doctor'>";
        }
        elseif($registro['pa_sistolica']<140 && $registro['pa_sistolica']>=125)
        {
            echo "<b>Identificación Paciente: ".$registro['identificacion']. "</b><br>";
            echo "<b>presión media - control médico preventivo."<br>". "Presión actual:
            ".$registro['pa_sistolica']. "</b><br><br><br>";
            echo "<img src='./figura/mgm.jpg' ALT='llame a su doctor'>";
        }
        else {
            echo "<b>Identificación Paciente: ".$registro['identificacion']. "</b><br>";
            echo "<b>presión baja - normal."<br>". "Presión actual:
            ".$registro['pa_sistolica']. "</b><br><br><br>";
            echo "<img src='./figura/mgb.jpg' ALT='todo esta bien'>";
        }
    }
    mysql_free_result($resultado);
}

```

Figura 3.23. Rutina de monitorización de los datos almacenados en la base de datos mediante PHP

Para que el sistema de monitorización este activo, se necesita que los usuarios estén registrados como pacientes en control y estén activos en el sistema de monitorización, es decir, se hayan usado las credenciales de acceso y estén activos en el sistema. Por ello en el menú principal del sistema de monitorización se debe registrar la información de ingreso, en la opción paciente.



Figura 3.24. Interfaz sistema de monitorización

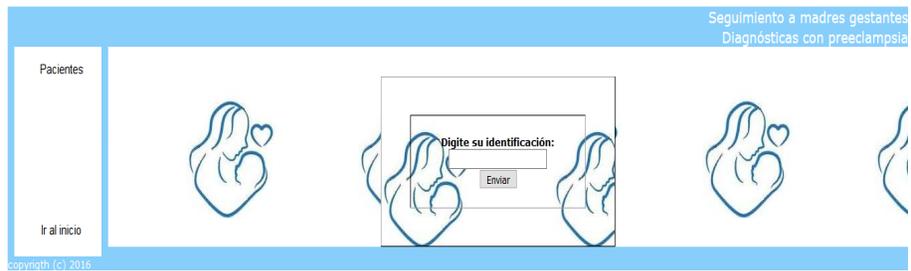


Figura 3.25. Interfaz de ingreso al sistema de monitorización

Una vez la paciente escriba su clave de autenticación desde su teléfono inteligente, tablet o computador personal tendrá acceso a la información sobre el estado de su medición periódica de la presión arterial, en seguida se irá mostrando algunas rutinas que muestran el control en la marcha sobre la paciente que este activa en el sistema. En la siguiente línea se da a la usuaria una sesión dentro del sistema de monitoreo que le permitirá enterarse y estar activa en el sistema de monitorización, ver figura 3.26.

```

if(isset($_SESSION['nombre']))
{
    echo "<b>Has iniciado Sesion: ".$_SESSION['nombre'].</b></b><br>";
    $sql="SELECT identificacion,max(pa_sistolica) as pa_sistolica FROM paciente WHERE
    identificacion='{$_SESSION['nombre']}'";

```

Figura 3.26. Rutina de seguridad para el acceso a los datos de la base de datos con PHP

Como se puede observar en la siguiente línea, figura 3.27, desde el momento en que la paciente se encuentra en el sistema se van realizando comprobaciones de los valores de la presión arterial recibidos por los sensores.

```

header("Refresh: 3600; URL=./pagina2.php");
if ($registro['pa_sistolica']>=140)
{
    echo "<b>Identificación Paciente: ".$registro['identificacion']. "</b><br>";
    echo "<b>presión alta - control médico inmediato."<br>". "Presión actual:
".$registro['pa_sistolica']. "</b><br><br><br>";
    echo "<img src='./figura/mga.jpg' ALT='llame a su doctor'>";
}
elseif($registro['pa_sistolica']<140 && $registro['pa_sistolica']>=125)
{
    echo "<b>Identificación Paciente: ".$registro['identificacion']. "</b><br>";
    echo "<b>presión media - control médico preventivo ". "<br>". "Presión actual:
".$registro['pa_sistolica']. "</b><br><br><br>";
    echo "<img src='./figura/mgm.jpg' ALT='llame a su doctor'>";
}
else {
    echo "<b>Identificación Paciente: ".$registro['identificacion']. "</b><br>";
    echo "<b>presión baja - normal ". "<br>". "Presión actual:
".$registro['pa_sistolica']. "</b><br><br><br>";
    echo "<img src='./figura/mgb.jpg' ALT='todo esta bien'>";
}
}

```

Figura 3.27. Rutina para el ingreso de usuarios con PHP

Se puede observar de lo anterior lo siguiente:

```

($registro['pa_sistolica']>=140
($registro['pa_sistolica']<140 && $registro['pa_sistolica']>=125)

```

Figura 3.28. Rutina de comparación de presiones con PHP

De acuerdo con la lectura realizada por los sensores la presión denominada sistólica, se tiene en cuenta para la comparación del valor normal de esta medición con la que presente la variable de medición realizada por el sensor portado por la paciente y de acuerdo con estas condiciones se generan las alertas a las pacientes.

```
header("Refresh: 3600; URL=./pagina2.php");
```

Figura 3.29. Rutina para actualización automática de páginas con PHP

En la figura 3.9 se puede observar cómo se realiza la revisión del estado de la paciente según el tiempo de verificación de la tensión arterial.

3.6. Capa de Datos

La capa de datos del sistema de monitorización es donde se hacen las operaciones con la base de datos, por ello la consistencia de la información es sumamente importante, es decir, los datos que se ingresan o insertan deben ser precisos y consientes. El proceso de consulta en el sistema depende en gran medida de la forma como se quieren obtener los informes en dichas consultas, por ello, el ingreso de la información en la base de datos depende en gran medida de la transmisión del dispositivo de monitorización, el dispositivo de recepción/envío y el canal de comunicación existente entre ellos.

La base de datos del sistema de monitorización se creó con MYSQL dado que es un manejador de bases de datos robusto y de fácil acceso vía Web. El modelo actual de la base de datos se compone de 3 tablas, ver figura 3.30.

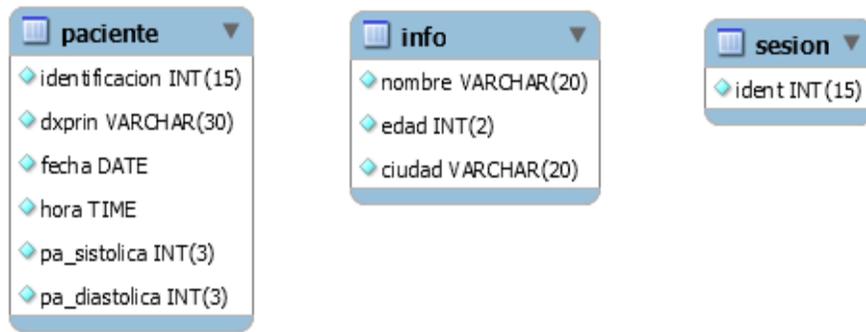


Figura 3.30. Tablas de la base de datos del sistema de monitorización

La tabla paciente es en la cual se almacena la información enviada por el sensor de la paciente, esta se compone de los siguientes campos, ver tabla 3.1.

Tabla 3.1.

Campos de la tabla paciente

Nombre del campo	Descripción
Identificación	Indica el número de registro personal con el cual se registra la paciente en la entidad de salud.
Dxprin:	Registro del dispositivo que hace la medición de la presión arterial en la paciente, es un control sobre el dispositivo para verificar su funcionamiento.
Fecha	En el cual se registra la fecha en que se hizo la medición de la presión arterial en la paciente.
Hora	El intervalo de tiempo que transcurre entre mediciones de la presión arterial.
Pa_sistolica	Valor de la presión arterial sistólica de la

	paciente.
Pa_diastolica	valor de la presión arterial diastólica de la paciente.

Por otra parte, la tabla "Info" es de carácter complementario, que permite almacenar la información relacionada a datos personales suministrados por la entidad de salud que atiende a la paciente en monitorización, ver tabla 3.2.

Tabla 3.2.

Campos de la tabla Info.

Nombre del campo	Descripción
Nombre	Información del nombre y apellidos de la paciente registrada en la entidad de salud.
Edad:	Valor numérico de la edad de la paciente.
Ciudad	Ciudad de residencia de la paciente y dirección.

Por último, la tabla sesión, permite verificar si la paciente en monitorización esta activa en el sistema y controlar mediante alertas su inactividad, este proceso se realiza con el envío de señales del valor de las variables de medición de la presión arterial de la paciente, ver tabla 3.3.

Tabla 3.3.

Campos de la tabla sesión

Nombre del campo	Descripción
Ident	Información sobre actividad de monitorización.

3.7. Implementación y pruebas

La implementación del sistema se explicó de manera detallada en el apartado anterior, del cual se puede concluir que el uso de aplicaciones de desarrollo como APP INVENTOR, HTML, PHP y MYSQL, se constituyen en una excelente opción para el trabajo articulado, debido a que permiten un buen desarrollo de sitios web y aplicaciones Android para celular y servidores con excelentes resultados de interoperabilidad.

La ventana de desarrollo para el sistema de monitorización queda abierta para que la portabilidad del programa se pueda extender a otras plataformas, como por ejemplo IOS, el proyecto es viable para que pueda ser realizado en futuras investigaciones.

A nivel de pruebas, desde el inicio del desarrollo del sistema propuesto, se integraron los datos enviados por la manilla portada por las pacientes y la captura de dicha información desde los dispositivos móviles, esta sincronía se puede observar en detalle en el apartado 3.4. Construcción del sistema de monitorización WEB.

Cabe destacar que la información que se almacena en el sitio web tendrá un tratamiento diferenciado por cada paciente, este modelo de análisis de la información permitió la generación de reportes y alertas de cada individuo de manera particular de acuerdo a las reglas establecidas para la monitorización de las pacientes. La forma de generación de los reportes y alertas se describe en el capítulo 4, Análisis de señales biomédicas capturadas con WSN, interpretadas con lógica difusa para pacientes con PE.

3.8 Referencias Capítulo

(APP INVENTOR, 2005) APP INVENTOR. APP INVENTOR software disponible en: <http://appinventor.mit.edu/explore/> Massachusetts Institute of Technology

(Báez, 2009) BÁEZ A. Diseño e implementación de una red de sensores inalámbrica utilizando el protocolo IEEE 802.15.4. Tesis. Universidad Simón Bolívar. Colombia

(Camp, 2005) CAMP R. Bases de Datos, editorial Eureka Media, Universidad Oberta de Catalunya.

(Conallen, 1999) CONALLEN J. Modeling WEB Application Architecture with UML, Rational Software, volumen 42, number 10

(Date, 2001) DATE C. Introducción a los Sistemas de Base de Datos. Prentice Hall.

(Domingo & Vega, 2010) DOMINGO S. && VEGA H. Programación en N capas. Universidad Mayor de San Marcos. Perú.

(Firtman, 2011) FIRTMAN S. Seguridad Informática – MP Ediciones. Buenos Aires.

(Hernández C, 2006) HERNÁNDEZ C. El Sistema Gestor de Base de Datos. Conceptos y funciones del SGBD. Disponible en: <http://www.infor.uva.es/~chernan/Bases/Teoria/TEMA2.pdf>

(Kio, 2005) KIO C. Proyecto: El cochecito Leré. (s.f). disponible en: <http://kio4.com/appinventor/9BLUETOOTHarduino.htm>

(Lolap, 2004) Lolap W. Qué es un CSV, cómo se hace y para qué sirve (2015). Disponible en: <https://lolap.wordpress.com/2015/01/14/que-es-un-csv-como-se-hace-y-para-que-sirve/>

(López C, 2006) LÓPEZ C. Fundamentos de Base de Datos. Componentes de un SGBD. Disponible en: <http://jeenrike.blogspot.com/2006/07/11-componentes-de-un-sgbd.html>

(Mateu, 2004) MATEU C. Desarrollo de aplicaciones WEB, Eureka Media, Universitat Oberta de Catalunya Fundación apache (2017), The Apache Foundation software, disponible en: <http://www.apache.org>

(Mohammad & Imad, 2005) MOHAMMAD I && IMAD M Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, CRC Press LLC.

(MySQL Customer Flickr, 2007) MYSQL CUSTOMER FLICKR MySQL Customers. Oracle. Disponible en: <https://www.mysql.com/customers/view/?id=720>

(Pavón, 2012) PAVÓN J. PHP y Mysql. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: www.fdi.ucm.es/profesor/jpavon/WEB/35-PHP-MySQL.pdf

(Rios S, 2011) RIOS S. Bases de Datos. Disponible en <http://www.slideshare.net/SergioRios/unidad-1introduccion-a-las-bases-de-datos>

(Rojas. J, 2009) ROJAS. J. Protocolo de manejo de Preeclampsia – Eclampsia. México. Clínica de Maternidad Rafael Calvo. p2. Disponible en: http://www.maternidadrafaelcalvo.gov.co/protocolos/protocolo_preeclampsia_eclampsia.pdf

(Romero M, 2004) ROMERO M. Transmisión de datos, Disponible en: <http://www.dte.us.es/personal/mcromero>

(Sosa E. & Vier S, 2001) SOSA E. & VIER S. Programando Redes de Sensores Inalámbricos en la Forma Web 2.0, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.

(Titlow J, 2013) TITLOW J. 15 Programming Skills Most Coveted By Employers. Disponible en: <http://readwrite.com/2013/04/09/15-programming-skills-most-coveted-by-employers>

Capítulo 4

Análisis de señales biomédicas capturadas con WSN interpretadas con lógica difusa para pacientes con PE

El conocimiento no siempre puede asimilarse en términos absolutos, hay muchas situaciones que para el hombre no son totalmente determinadas; por la necesidad de la humanidad de abordar estas situaciones emergen diferentes teorías. Una de estas teorías es la lógica difusa, la cual se presenta como una alternativa para el manejo de la incertidumbre en el conocimiento.

En este capítulo del libro se abordan diferentes conceptos relacionados con la lógica difusa y su relación con el caso de aplicación que se ha venido trabajando para la implementación de un prototipo electrónico en el monitoreo de la presión arterial de pacientes con preeclampsia

utilizando WSN. Inicialmente se definen algunos conceptos básicos sobre esta área, sobre todo enfocados para lectores que se inician en este tema, hasta abordar conceptos para quienes tengan un mayor conocimiento.

4.1. Elementos de la lógica difusa

Como se mencionó en el capítulo anterior, se ha tomado a la lógica difusa como una herramienta de apoyo al estudio del caso de aplicación propuesto, manejo de la preeclamsia (PE), en donde el interés se centra en analizar las señales biomédicas que generan este tipo pacientes con los dispositivos propuestos y el software desarrollado. De acuerdo a lo anterior a continuación se explican los elementos utilizados en la aplicación de la lógica difusa para la generación de reportes en el monitoreo de pacientes con riesgo de PE.

El matemático e ingeniero eléctrico iraní, profesor de la Universidad de California, en Berkeley, Lofti Zadeh (Zadeh, 1965), fue quien introdujo la teoría de conjuntos o lógica difusa, en la publicación del artículo llamado "Fuzzy Sets", donde da a conocer por primera vez los conceptos de esta teoría. Los estudios que realizó el profesor Zadeh, se fundamentan en la forma de pensamiento indeterminado o impreciso, es decir en aquel sobre el cual no siempre se puede decidir a cabalidad, pero se requiere obtener resultados exactos, partiendo de datos indeterminados o imprecisos.

Para Zadeh, la lógica difusa se aplica en la representación de conocimientos imprecisos o borrosos los cuales no pueden ser comprendidos mediante la lógica convencional, dado que este tipo de

lógica solo asigna valores de 0 o 1. A diferencia de la lógica difusa, que asigna valores de números reales comprendidos en el rango entre 0 y 1. En la figura 4.1, se puede observar el comportamiento de la lógica convencional y de la lógica difusa.

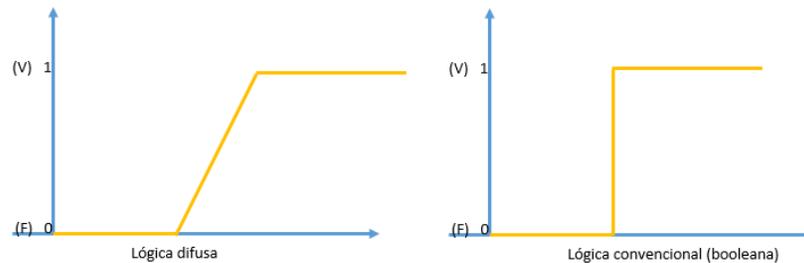


Figura 4.1 Lógica difusa – Lógica convencional

En la figura 4.1, se puede observar, que la imagen que corresponde a la lógica difusa (izquierda) tiene una inclinación en su línea vertical, lo cual hace referencia al rango de valores que pueden tomar las variables en este tipo teorías; mientras que la imagen de la lógica convencional (derecha), los valores de las variables son absolutos, 0 y 1, sin ningún tipo de inclinación.

A continuación, se contextualiza el problema relacionado con pacientes que padecen preeclampsia y se explican los elementos que tiene un modelo matemático aplicado con lógica difusa en la patología mencionada.

4.1.1. Descripción del contexto del problema: Como se ha mencionado a lo largo de este libro, el caso tomado para la implementación de una WSN, es el monitoreo de la presión arterial en pacientes que padecen o poder padecer preeclampsia (PE), patología

que es considerada de alto riesgo, tanto para la madre gestante como para el feto. Por otro lado, hacer un monitoreo de variables que involucran presión arterial sistólica y presión arterial diastólica, no es un tema fácil de comprender, sobre todo para las pacientes que deben someterse a este proceso, el cual requiere sea analizado por personal capacitado para la interpretación y emisión de resultados exactos sobre el mismo, que permitan determinar la condición médica de las pacientes, que situaciones críticas puede evidenciar un riesgo mortal. Teniendo en cuenta lo anterior, surgió la necesidad de diseñar un sistema de reportes que permitiera a las pacientes que padecen (PE) y al personal médico o de cuidado que las atiende, identificar la condición médica que les facilite la interpretación y generación de reportes a partir de la información capturada.

4.1.2. Variables lingüísticas: Son variables que pueden tomar valores que se representan mediante términos lingüísticos indeterminados, ambiguos, inexactos o poco claros. Son palabras que pueden tomar valores de un conjunto difuso. En la tabla 4.1, se pueden observar algunos ejemplos de este tipo de variables, con valores lingüísticos y los rangos de asignación de pertenencia que pueden tomar. Para el caso de la PA (presión arterial), que es la variable que se monitorea en pacientes con riesgo de PE, esta se compone de la variable PAS, presión arterial sistólica y PAD presión arterial diastólica. (Gutierrez, 2002), en la tabla 4.1, también se relaciona a la proteinuria (P), que es otra variable que también se monitorea en pacientes con PE.

Tabla 4.1.

Variables Lingüísticas y sus rangos de valores

Variable lingüística	Valores lingüísticos	Valores lingüísticos mediante función de pertenencia
PAS	Normal Anormal leve Anormal grave	Entre 120 y 135 mmHg Entre 140 y 155 mmHg Mayor a 160 mmHg
PAD	Normal Anormal leve Anormal grave	Entre 80 – 85 mmHg Entre 90 – 105 mmHg Mayor a 110 mmHg
P (Proteinuria) (Gutiérrez et al., 2002)	Normal Anormal leve Anormal grave	Menor a 2 g/24h Entre 2 y 5 g/24h Mayor a 5 g/24h

Según la lógica difusa, las variables lingüísticas tienen significado semántico y se pueden expresar numéricamente por funciones de pertenencia. Entre las características de este tipo de variables, se encuentran la transición gradual de un estado a otro según el valor lingüístico que pueden tomar. Los valores lingüísticos pueden corresponder a un conjunto difuso, es decir a las diferentes clasificaciones que se realizan a una variable lingüística. En la siguiente imagen, se da mayor claridad a este concepto, tomando como ejemplo la variable PAS.

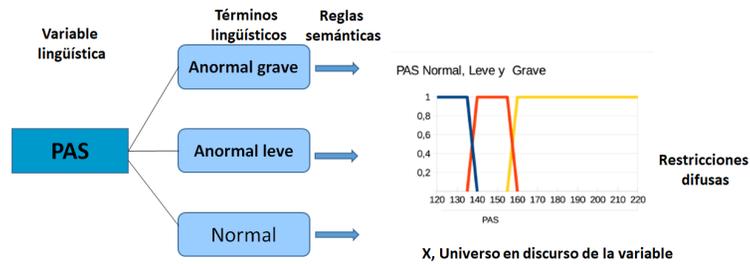


Figura 4.2 Variable lingüística PAS

Por ejemplo, en la figura 4.2, se puede observar, que la Presión Arterial Sistólica – PAS, de una paciente, puede tener diferentes denominaciones según el valor que tenga en la medición realizada en un periodo de tiempo, que puede ser: Normal, Anormal leve y Anormal grave, (análisis de la presión desde los 120 hasta los 160 y superior).

Para la Presión Arterial Diastólica – PAD, en la figura 4.3, se puede apreciar el comportamiento de esta variable, la cual puede tener diferentes denominaciones: Anormal grave, Anormal leve o Normal, según la medición realizada en un periodo de tiempo, (análisis de la presión desde los 80 hasta los 110 y superior)

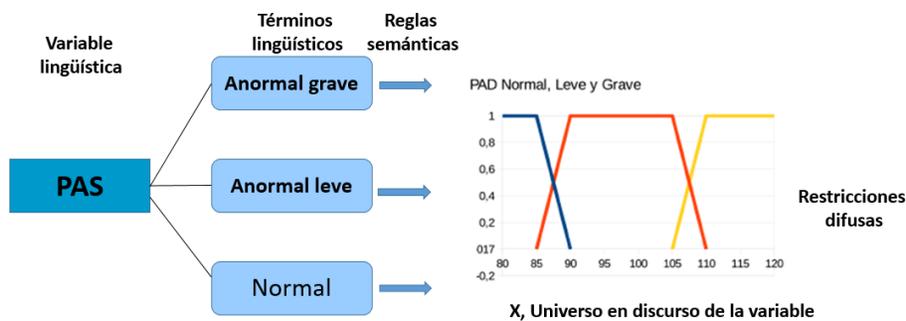


Figura 4.3 Variable lingüística PAD

4.1.3. Predicado: Hace referencia a lo que se afirma o se niega de un objeto. Por ejemplo, las siguientes afirmaciones explican la forma en que trabaja un predicado con el caso que se viene desarrollando (PE), PAS: Presión arterial sistólica; PAD: Presión arterial diastólica y P: Proteinuria:

- PAS de más de 160 mmHg, es un predicado que se puede afirmar o negar de una paciente con riesgo de PE. En este caso se considera que PAS es: "Anormal grave"
- PAD mayor de 90 mmHg, es un predicado que se puede afirmar o negar de una paciente con riesgo de PE. En este caso se considera que PAD es: "Anormal Leve"
- P mayor de 5 g/24h, es un predicado que se puede afirmar o negar de una paciente con riesgo de PE. En este caso se considera que P es: "Anormal grave"

4.1.4. Conjunto Difuso: El concepto de lógica difusa toma sus bases, en conjuntos donde sus límites no están bien determinados, por lo tanto, son llamados conjuntos difusos. La teoría de conjuntos difusos, se convierte en el punto de iniciación de la teoría de la lógica difusa. Como ya se ha mencionado, las bases de la teoría están establecidas en la publicación de Lofti Zadeh, en el año 1965, en la revista Information and Control (Zadeh, 1965).

En la publicación de Zadeh, un conjunto difuso se define como: "Una clase de objetos con continuos grados de pertenencia. Tal conjunto es caracterizado por una función de pertenencia la cual asigna a cada objeto o elemento un grado de pertenencia de números reales que varían entre cero y uno $[0,1]$. Cuando un elemento con el grado de

pertenencia corresponde a "0", indica que el elemento no pertenece al conjunto, a diferencia de cuando el elemento toma el valor de "1", lo que indicaría que el elemento tiene una total pertenencia al conjunto, pero los valores entre 0.1 y 0.9, tendrán diferentes grados de pertenencia, siendo el 0.1 el de menor grado y el 0.9 el de mayor grado. La figura 4.4, permite observar el concepto de conjunto difuso y su aproximación con la lógica clásica.

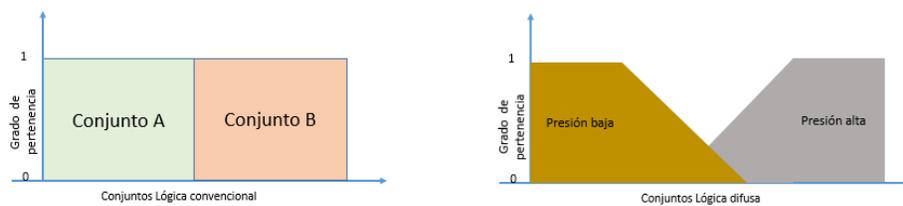


Figura 4.4 Conjunto convencional – Conjunto Difuso

En la figura 4.4, se puede observar que, en un conjunto clásico, las fronteras se encuentran bien definidas (son valores absolutos) a diferencia de un conjunto difuso donde las fronteras son indefinidas es decir no están totalmente determinadas, lo que permite identificar que un elemento de un conjunto difuso puede pertenecer parcialmente al conjunto con un cierto grado de pertenencia. En los conjuntos difusos, se pueden identificar elementos que tienen total grado de pertenencia (los elementos que tiene un valor correspondiente a 1), o que no tienen ningún grado de pertenencia (los elementos que tienen valor de 0) y los que están cerca o lejos pertenecer a dicho conjunto difuso (elementos que dependerán del valor que tengan entre (0.1 y 0.9)).

La figura 4.5, es un ejemplo de conjunto difuso, los valores de sus grados de pertenencia, son los que determinan o no la pertenencia de sus elementos al mismo siendo un valor de 0 cuando no tiene ningún

grado de pertenencia y un valor de 1 cuando hay una pertenencia total. Los valores intermedios indican grados parciales de pertenencia al conjunto.



Figura 4.5. Conjunto difuso

La representación tradicional para los conjuntos difusos está definida por Lofti Zadeh, la cual corresponde a:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in U\}$$

Donde:

U es = Universo de discurso

A = Conjunto difuso

$\mu_A(x)$ = Función de pertenencia

4.1.5. Universo en discurso: Según Kirvan (2009), en lógica convencional, el dominio de discurso, también llamado universo de discurso, o simplemente dominio, es el conjunto de cosas acerca de las cuales se habla en un determinado contexto. Haciendo analogía con lógica difusa, se denomina conjunto difuso al rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística.

Para el caso de estudio que se viene trabajando con las pacientes que padecen PE, la variable lingüística "PAD", que se refiere a la presión arterial diastólica, se puede generar un conjunto, cuyos valores están comprendidos según la siguiente clasificación: Si PAD está entre 80 – 85 mmHg, se clasifica como normal; si PAD está entre 90 – 105 mmHg, corresponde a anormal leve; y si PAD es mayor a 110 mmHg, el resultado es anormal grave.

Si se toma a X como un objeto en el **universo en discurso** y $Y=C(x)$ como el valor que se asocia a X, entonces el valor de Y es el grado de pertenencia del objeto X, considerando a C como el conjunto difuso.

4.2. Estructura básica de un sistema de inferencia basado en lógica difusa (fuzzy)

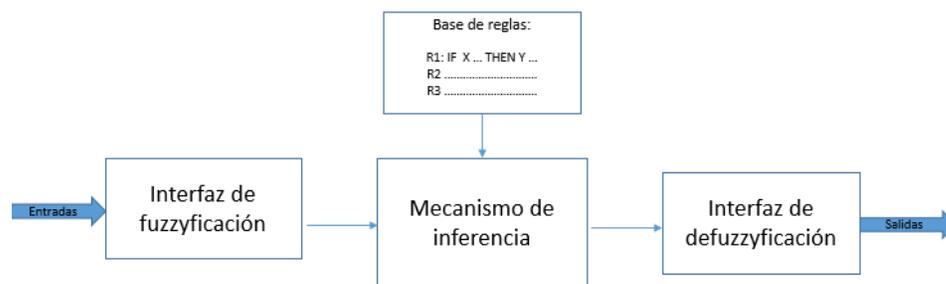


Figura 4.6 Esquema básico de un sistema fuzzy

La figura 4.6, corresponde al esquema básico de un sistema de lógica difusa (Fuzzy), según Ebrahim Mamdani (Mamdani, 1975). En el esquema básico se identifican:

- Las variables de entrada, que son datos reales, es decir aquellas que son observadas para luego realizar las inferencias, y

posteriormente obtener las conclusiones a través de las variables de salida.

- La interfaz de fuzzyficación, quien convierte las entradas del sistema, en conjuntos difusos aplicando una función de fuzzyficación, es decir una función de codificación de los datos de entrada en datos difusos.
- El mecanismo de inferencia, que para el caso de estudio aplicado hace referencia a Mandani, relaciona una inferencia basada en reglas, las cuales reúnen toda la experiencia de un experto en el tema de interés, en este caso la PE. los sistemas tipo Mandani describen las conclusiones por medio de funciones de pertenencia de las variables de entrada teniendo en cuenta los conjuntos difusos establecidos, es decir indican un grado de pertenencia al conjunto. (Mamdani,1975).
- La defuzzyficación: que corresponde al proceso inverso de la fuzzyficación, el cual tiene como propósito la conversión de los datos lingüísticos que provienen de la salida difusa del dispositivo de inferencia, a una salida numérica, es decir convierte el conjunto difuso obtenido por el motor de inferencia en valores numéricos de salida. los cuales ya pueden ser interpretados.

4.2.1. Base de conocimiento (Reglas Difusas): Según Zadeh (Zadeh, 1975), buena parte del conocimiento humano es incierto o impreciso y se puede representar por medio de reglas difusas. Una regla difusa de la forma "IF – THEN" es una representación de captura del conocimiento humano, que por naturaleza es ambiguo o impreciso. Estas reglas permiten identificar las acciones a realizar, es decir la forma en que funciona un sistema ante unas condiciones dadas.

Según Ortiz & Liu, (Ortiz & Liu, 2004), un conjunto de reglas específicas, formada de sentencias condicionales, pueden ser de la forma "IF - THEN" ("SI - ENTONCES"). SI (antecedente o premisa) ENTONCES (consecuente o conclusión). Por lo tanto, una regla IF - THEN difusa es una sentencia condicional expresada como:

IF < proposición difusa> **THEN** < proposición difusa> ,

Dónde: (Proposición difusa): puede ser una proposición elemental o compuesta.

Según (Diaz & Morillas, 2004), Una ecuación de la forma:

IF x es A **AND** y es B **THEN** z es C

Representa la combinación de conjuntos difusos, donde:

x, y, y z corresponde a las variables lingüísticas

A, B y C son conjuntos difusos definidos en el universo de X, Y y Z.

Mientras que una proposición elemental seria de la forma:

IF x es A **THEN** y es B
(Antecedente) (Conclusión)

Donde:

x es una variable lingüística

A y B son conjuntos difusos

Las reglas difusas son elementos básicos en la estructura de un sistema de inferencia, el cual es el encargado de acumular las reglas sobre las cuales se basan las decisiones del sistema; este tipo de reglas de la forma: "SI-ENTONCES" o "IF-THEN", son adquiridas básicamente de los conocimientos de los expertos y permiten determinar el comportamiento de una variable definida en el sistema.

Es importante resaltar que los grados de pertenencia de las variables, los cuales se generan en la fuzzificación, conjuntamente con las reglas difusas establecidas y la base de conocimiento, son procesadas por el dispositivo de inferencia para la respectiva toma de decisiones con relación a las variables de entrada definidas y así generar los resultados según las reglas aplicadas. Cuando se trata de reglas clásicas y tomando el antecedente como cierto, entonces la conclusión también es cierta. Cuando se trata de sistemas difusos, ambiguos o difusos, donde el antecedente es difuso, las reglas definidas para el sistema se ejecutan parcialmente, y la consecuencia es cierta, pero en un grado determinado, es decir el valor de la salida representa el grado de pertenencia al conjunto difuso.

Para el caso de la PE, la base de conocimiento definida con el apoyo de un experto en el área de la medicina (médico) y de algunos protocolos médicos consultados (ParaE, 2005) y (Gutierrez et al., 2002), y aplicando el enfoque difuso seleccionado se formularon las siguientes reglas difusas para el caso analizado (Ver tabla 4.2).

Tabla 4.2.

Reglas difusas preeclampsia con PAS, PAD y P – Sistema de reportes

Reg la	Antecedente	Consecuente
1	SI (PAS es Normal) O (PAD es Normal) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible ausencia de PE)
2	SI (PAS es Normal) O (PAD es Normal) O (P es Normal leve)	ENTONCES (DP es posible ausencia de PE)
3	SI (PAS es Normal) O (PAD es Anormal leve) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE leve)
4	SI (PAS es Normal) O (PAD es Anormal grave) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
5	SI (PAS es Normal) O (PAD es Anormal leve) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE leve)
6	SI (PAS es Normal) O (PAD es Anormal leve) O (P es Anormal grave)	ENTONCES (DP es posible PE leve)
7	SI (PAS es Normal) O (PAD es Anormal grave) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE grave)

8	SI (PAS es Normal) O (PAD es Anormal grave) O (P es Anormal grave)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
9	SI (PAS es Anormal leve) O (PAD es Normal) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE leve)
10	SI (PAS es Anormal leve) O (PAD es Anormal leve) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE leve)
11	SI (PAS es Anormal leve) O (PAD es Anormal grave) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
12	SI (PAS es Anormal leve) O (PAD es Anormal leve) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE leve)
13	SI (PAS es Anormal leve) O (PAD es Anormal grave) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
14	SI (PAS es Anormal leve) O (PAD es Anormal grave) O (P es Anormal grave)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
15	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Normal) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE grave)

16	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Normal) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
17	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Normal) O (P es Anormal grave)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
18	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Anormal leve) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
19	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Anormal leve) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
20	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Anormal leve) O (P es Anormal grave)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
21	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Anormal grave) O (P es Normal)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
22	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Anormal grave) O (P es Anormal leve)	ENTONCES (DP es posible PE grave)
23	SI (PAS es Anormal grave) O (PAD es Anormal grave) O (P es Anormal grave)	ENTONCES (DP es posible PE grave)

4.2.2. Función de pertenencia o membresía: Indica el grado o valor que le corresponde a un elemento, el cual le permite pertenecer o no a un conjunto dentro de un universo dado conocido también como universo de discurso, es decir este universo corresponde al rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística.

En términos matemáticos, se puede decir que, para un conjunto "X", existe una función de pertenencia μ_A , la cual puede tomar valores en el intervalo de números reales comprendido en $[0, 1]$. La función de pertenencia del conjunto "X" está representada por al menos un subconjunto difuso de "X", y se puede denotar como: μ_A , donde A corresponde a un subconjunto difuso de "X".

Siendo "x" un elemento del conjunto "X", el valor que toma $\mu_A(x)=n$ indica el grado de pertenencia de "x" al subconjunto difuso A. Es decir, la función de pertenencia de un conjunto A sobre un universo X será de la forma: $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, donde $\mu_A(x) = n$, donde n es el grado con el que x pertenece a A.

Teniendo en cuenta lo anterior, si:

$\mu_A(x) = 0$, el elemento no pertenece al conjunto

$\mu_A(x) = 1$, el elemento pertenece 100% al conjunto

Relacionando este concepto con el de un conjunto difuso, se puede representar de la siguiente manera, ver figura 4.7:

$$A = \{(\mu_A(x) \mid x \in [0, 1])\}$$

μ_A : Función de pertenencia

A: Conjunto difuso

[0, 1]: Intervalo de número reales

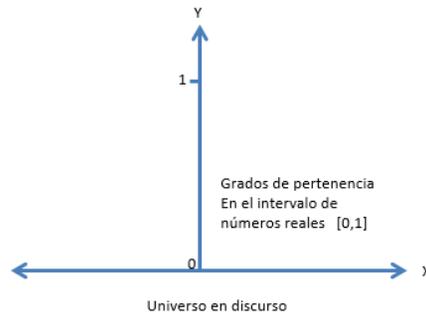


Figura 4.7 función de pertenencia

4.2.3. Motor de inferencias: Es el elemento del sistema que hace referencia al raciocinio (Perez, 2010), utiliza la base de conocimiento para la inferencia de respuestas frente a las consultas realizadas en el sistema. Los motores de inferencia más comunes son el de Mamdani y el Takagi-Sugeno (Llano et al., 2007). En el presente estudio se tomó a Mamdani, el cual utiliza para su funcionamiento reglas de tipo: "IF – THEN" - "SI - ENTONCES". De acuerdo con (Acosta, 2006), un modelo difuso tipo Mamdani es de la forma:

$R_i : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } \dots \text{and } x_n \text{ is } A_{in} \text{ THEN } y \text{ is } B_i$

Donde los x e y son variables lingüísticas, mientras que A y B representan los valores lingüísticos que dichas variables pueden asumir.

Según Espinilla et al (Espinilla et al, 2017), en un sistema tipo Mamdani, se evalúa el grado de certeza o activación de cada regla para los valores de las variables de entrada. Seguidamente se hace el análisis de las reglas en la parte correspondiente a "THEN" - "ENTONCES", mediante lo cual se determina la conclusión de las mismas, de tal forma que se

asigna a cada variable de salida del consecuente el conjunto difuso correspondiente acorde con la función definida.

Según el fundamento del modelo difuso, se utilizó el operador "O", dado que para la obtención del consecuente prioriza los valores máximos que las variables pueden tomar.

La función de pertenencia utilizada es la trapezoidal, dado que cada variable trabaja con rangos definidos. Una función trapezoidal tiene la forma de la siguiente ecuación para la obtención del conjunto difuso correspondiente a la salida (ver figura 4.8).

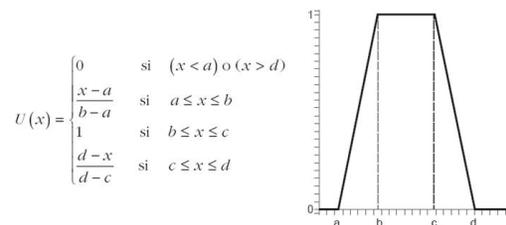


Figura 4.8 Función de pertenencia trapezoidal

Fuente:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-77422017000100227&script=sci_arttext#ch2

En la ecuación, "x" es el valor que puede tomar la variable, es decir los valores corresponden a PAS, PAD o P; "a" y "d" constituyen el rango de valores límite que puede tomar la variable; y "b" y "c" constituyen el rango de valores donde la función alcanza el máximo valor posible, es decir 1.

Para ilustrar lo anterior, si se analiza el caso de una paciente con valor de PA: 128/85 mmHg y con P= 1.8 g/24h y aplicando las funciones de

pertenencia y las ecuaciones de función trapezoidal se obtiene el siguiente caso:

Aplicación del motor de inferencia, modelo Mandani según la tabla 1 quedaría:

PAS (128) Clasificación "Normal"

PAD (85) Clasificación "Normal"

P (1.8) Clasificación "Normal"

Y teniendo en cuenta las reglas:

Si (PAS es Normal) O (PAD es Normal) o (P es Normal) ENTONCES (DP es Ausencia de PE), corresponde a la regla 1 de la tabla de reglas definida, por lo tanto, es un caso de "Ausencia de PE" (Ver tabla 4.3).

Tabla 4.3.

Valores de las variables lingüísticas aplicadas

Variable	Valor función de pertenencia para "normal"	Valor función de pertenencia para "anormal leve"	Valor función de pertenencia para "anormal grave"
PAS	1	0	0
PAD	1	0	0
P	1	0	0

El sistema, genera un reporte lingüístico de fácil comprensión para la paciente dado que se emite como "Ausencia de PE", es decir que la paciente esta normal y no padece de la patología de preeclamsia.

4.3. Generación de reportes de PE con lógica difusa

Teniendo en cuenta lo revisado en las primeras secciones de este capítulo, en este aparte del libro se explica la forma en que el sistema de reportes se integra con las aplicaciones desarrolladas y explicadas en el capítulo tres (3) de este libro. El objetivo es que el lector tenga una visión general de toda la implementación de la WSN que se ha propuesto, relacione los elementos que la componen y genere una motivación para realizar este proceso en otro tipo de aplicaciones que relacionen la vida de las personas, que como especial en este documento se tomó el monitoreo de pacientes con riesgo de PE.

4.3.1. Contexto de aplicación de WSN para el monitoreo de pacientes con PE

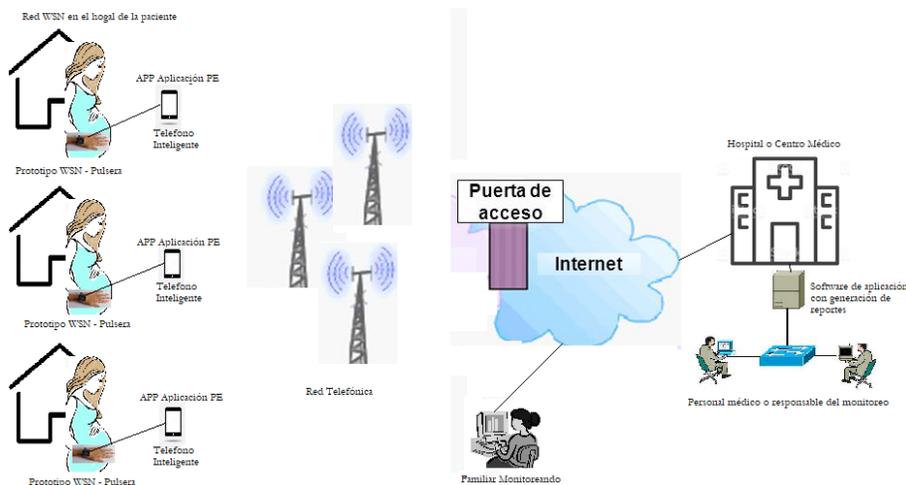


Figura 4.9 Implementación de WSN para pacientes con PE

En la figura 4.9, se puede observar el esquema completo de la implementación realizada; de derecha a izquierda se puede identificar en primera instancia a las pacientes con riesgo de PE, quienes utilizan el prototipo diseñado en la investigación y explicado en el capítulo dos (2) de este libro, que consiste en una manilla similar a un reloj de pulso, la cual envía de manera periódica los valores correspondientes a la presión arterial sistólica y diastólica de las pacientes al teléfono inteligente de las mismas vía Bluetooth, configurando la denominada WSN; luego los teléfonos inteligentes envían mediante la red telefónica o WiFi los datos capturados y almacenados en la APP (explicada en el capítulo tres de este libro) que se diseñó en la implementación al servidor del centro médico o hospital, esto se hace haciendo uso de Internet si las pacientes se encuentra remotamente o mediante la red LAN si están en la misma edificación; luego el servidor mediante la aplicación diseñada (explicada en el capítulo tres de este libro) con PHP y MYSQL, almacena la información enviada por los sensores de las pacientes y la organiza de acuerdo a la estructura de la base de datos diseñada; una vez se hace esto el sistema está listo para ser consultado por el personal médico o personas a cargo de las pacientes que se encuentran monitoreadas; como se dijo anteriormente la aplicación es tipo Web por lo que se puede acceder a ella desde Internet con las credenciales de acceso autorizadas. En esta última parte es donde se generan los reportes para que sean comprendidos por el personal que los consulta, en este proceso se hace uso de la lógica difusa, explicada en este capítulo del libro.

4.3.2. Reportes de los sensores a la APP de los teléfonos inteligentes: Los sensores mediante el prototipo diseñado generan el siguiente reporte, el cual es interpretado y capturado por los teléfonos inteligentes vía Bluetooth (Ver figura 4.10).

Pkbr.	Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Source PAN	Source Address	Supersession specification	GTS fields	Reason payload	RSSI (dBm)	FCS
RR 549	+15360 #0268634	16	Type: BCN Sec: 0 Fnd: 0 Ack: 0 req: 0 PAN_compr: 0	0x0F	0x11CC	0x0AAB	BC SO F_CAF BLE Coord Assoc 00 00 18 0 1 1	Len: 0 Perm: 0	22 33 44	-38	OK
Pkbr. RR 550	+3121 #0268735	18	Type: DATA Sec: 0 Fnd: 0 Ack: 0 req: 1 PAN_compr: 1	0x4E	0x11CC	0x0AAB	MAC payload 04 1A BB 02			04 1A -1	OK
Pkbr. RX 551	+864 #0269619	5	Type: ACK Sec: 0 Fnd: 0 Ack: 0 req: 0 PAN_compr: 0	0x4E						-38	OK

Figura 4.10. Reporte de datos de los sensores

Como se puede observar la figura 4.10, los sensores generan tramas de datos, las cuales son interpretadas por la APP del teléfono inteligente y presentadas al usuario en forma de información comprensible, ver figura 4.11.



Figura 4.11. Información display prototipo pulsera

En la figura 4.11, se puede observar que el prototipo lee tres variables, SYS, que corresponde a la presión arterial sistólica, DIA, que es la presión arterial diastólica y PULSO, que son las pulsaciones de la paciente por minuto en una determina lectura. Luego esta información

se configura como se muestra en la figura 4.10 y el teléfono inteligente la administra mediante la APP desarrollada, ver figura 4.12.

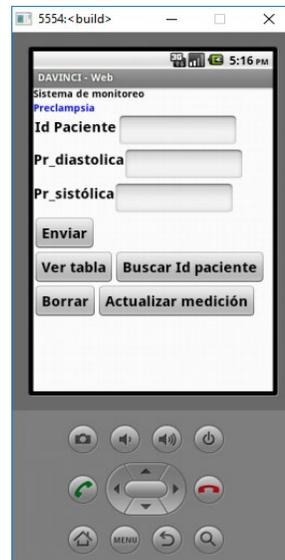


Figura 4.12. APP desarrollada para la captura y envío de datos al servidor

Luego de la captura de datos y envío de los mismos al servidor en el hospital o centro médico, las personas con autorización para acceder al sistema (Ver figura 4.13) podrán visualizar los reportes que genera el mismo, donde se utilizó la lógica difusa como herramienta para una mejor interpretación de estos.

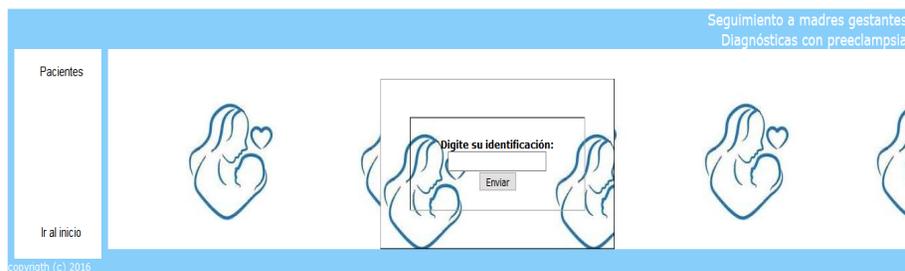


Figura 4.13. Pantalla de ingreso al sistema

Los reportes que genera el sistema están supeditados a las reglas definidas por el experto y el protocolo de PE, las cuales se definieron anteriormente (ver tabla 4.2). Un ejemplo del reporte para una paciente se puede observar en la figura 4.14.

The screenshot shows a web interface for 'Seguimiento a madres gestantes'. It includes a sidebar with 'Pacientes' and a 'Ir al inicio' link. The main content area is divided into two columns. The left column contains patient details: 'Nombre Paciente: Prueba pacientes XXX', 'Dirección: Pasto, XXXX', 'Edad: 33 años', and 'Ocupación: Ama de casa'. The right column contains vital signs: 'Semanas de Gestación: 22', 'Riesgo de Preeclampsia: Si', 'PAS: 130mmHg', 'PAD: 84mmHg', and 'P: 1.8 g/24h'. Below this is a section titled 'Resultado según reglas difusas:' with the result 'Ausencia de Preeclampsia' displayed in red text. There are also two small icons of a fetus in the center of the interface.

Figura 4.14. Reporte con lógica difusa

Los resultados del reporte generado en la figura 4.14, corresponde a una paciente con PAS 130 mmHg, PAD: 84 mmHg y P: 1.8 g/24h, que presentados de esta manera no dicen nada a la paciente, pero luego de aplicar las reglas definidas anteriormente (Ver tabla 4.2), se genera un resultado que es más comprensible: “AUSENCIA de PREECLAMPSIA”, que es mucho más entendible y en este caso hasta una buena noticia para la paciente.

Ahora desde el punto de vista funcional el sistema realizó el siguiente proceso para llegar al resultado antes mencionado:

1. Se tuvo en cuenta la parametrización de las variables PAS, PAD y P, acorde con la información del experto y protocolo de diagnóstico y seguimiento de la PE, ver tabla 4.4.

Tabla 4.3.

Parametrización de variables para reportes

Variable	Normal	Anormal Leve	Anormal Grave
PAS	Entre 120 mmHg y 135 mmHg	Entre 140 mmHg y 155 mmHg	Mayor a 160 mmHg
PAD	Entre 80 mmHg y 85 mmHg	Entre 90 mmHg y 105 mmHg	Mayor a 110 mmHg
P	Menor a 2 g/24h	Entre 2 y 5 g/24h	Mayor a 5 g/24h

2. El motor de inferencia analiza la información parametrizada en la tabla 4.3 y luego genera el valor de pertenencia por cada una de las variables, esto se hace teniendo en cuenta la función de inferencia, los resultados de este proceso se pueden visualizar en la tabla 4.4.

Tabla 4.4.

Resultados función de pertenencia

Variable	Valor función de pertenencia para "Normal"	Valor función de pertenencia para "Anormal Leve"	Valor función de pertenencia para "Anormal Grave"
PAS (130)	1	0	0
PAD (84)	1	0	0
P (1.8)	1	0	0

- Luego el sistema mediante su motor de inferencia aplica Mandami, esto se hace teniendo en cuenta las reglas previamente determinadas (Ver tabla 4.2), generando el siguiente resultado:

**Si (PAS es Normal) o (PAD es Normal) o (P es Normal)
ENTONCES (DP es Ausencia de PE)**

- Por último, el sistema de reportes genera el pantallazo de salida (ver figura 4.14) y establece que el resultado final o diagnóstico acorde con los valores de las variables ingresadas es:

“Ausencia de Preeclampsia”

Este procedimiento se aplica cada vez que el personal médico o personas que hacen el monitoreo de las pacientes, hacen una consulta, generando el resultado de acuerdo al último valor leído por el prototipo diseñado y consignado en la base de datos del sistema. En las figuras 4.15 y 4.16, se pueden observar otros casos donde el diagnóstico es “Posible Preeclampsia Leve” o “Posible Preeclampsia Grave” respectivamente.

Seguimiento a madres gestantes

<p>Pacientes</p>  <p>Ir al inicio</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nombre Paciente:</td> <td>Prueba pacientes YYY</td> </tr> <tr> <td>Dirección:</td> <td>Tumaco, YYY</td> </tr> <tr> <td>Edad:</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Ocupación:</td> <td>Profesional</td> </tr> </table>	Nombre Paciente:	Prueba pacientes YYY	Dirección:	Tumaco, YYY	Edad:	28	Ocupación:	Profesional	 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Semanas de Gestación:</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Riesgo de Preeclampsia:</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td>PAS:</td> <td>137 mmHg</td> </tr> <tr> <td>PAD:</td> <td>89 mmHg</td> </tr> <tr> <td>P:</td> <td>2.2 g/24h</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="text-align: center;">Resultado según reglas difusas:</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; color: red;">Posible Preeclampsia Leve</td> </tr> </table>	Semanas de Gestación:	20	Riesgo de Preeclampsia:	Si	PAS:	137 mmHg	PAD:	89 mmHg	P:	2.2 g/24h	Resultado según reglas difusas:	Posible Preeclampsia Leve
Nombre Paciente:	Prueba pacientes YYY																						
Dirección:	Tumaco, YYY																						
Edad:	28																						
Ocupación:	Profesional																						
Semanas de Gestación:	20																						
Riesgo de Preeclampsia:	Si																						
PAS:	137 mmHg																						
PAD:	89 mmHg																						
P:	2.2 g/24h																						
Resultado según reglas difusas:																							
Posible Preeclampsia Leve																							

Copyright (c) 2016

Figura 4.15. Reporte Preeclampsia Leve

Seguimiento a madres gestantes

Pacientes



Ir al inicio

Nombre Paciente:	Prueba pacientes ZZZ
Dirección:	La Unión, ZZZ
Edad:	31
Ocupación:	Ama de casa





Semanas de Gestación:	21
Riesgo de Preeclampsia:	Si
PAS:	161 mmHg
PAD:	110 mmHg
P:	5 g/24h

Resultado según reglas difusas:
Posible Preeclampsia Grave

copyriath (c) 2016

Figura 4.16. Reporte Preeclampsia Grave

4.4. Referencias del capítulo

(Espinilla et al, 2017) Espinilla, M., Medina, J., García-Fernández, Á. L., Campaña, S., & Londoño, J. (2017). Fuzzy Intelligent System for Patients with Preeclampsia in Wearable Devices. *Mobile Information Systems, 2017*.

(Mamdani, 1975). MAMDANI E, H., Assilan, S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *Int. Journal of Man-Machines Studies*, Vol. 7, N.1, pp. 1-13.

(Mamdani, 1974). MAMDANI E. H., Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, Academic Press: Neva York,.

(Ortiz, F., & Liu, W. Y. 2004). ORTIZ, & LIU, W. Modelado y control PD-difuso en tiempo real para el sistema barra-esfera. México, DF.

(Pérez, R. A. M.,2010). PÉREZ. Sistemas de inferencia basados en Lógica Borrosa: Fundamentos y caso de estudio. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 7(1), 91-104.

(Zadeh, 1965). ZADEH .L. A., *Information and Control* 1965, 8(3), 338-353.

(Zadeh, L. A. 1975). ZADEH. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information sciences*, 9(1), 43-80.

(Zadeh. L.A. ,1973). ZADEH .Outline of a new approach to the analysis of complex system. IEEE Transaction on System Man and Cybernetics, 1:28- 44.

La tecnología es una aliada importante en todas las actividades que realizan las personas, los nuevos avances y desarrollos en este campo, han permitido que aspectos que antes no podían ser controlados ahora lo sean. Son muchas las tecnologías que convergen actualmente, mejorando o apoyando diferentes actividades en el mundo, entre las cuales se encuentran: las redes de sensores, los sistemas de inteligencia ambiental, la Internet de las cosas (IoT), los sistemas ciberfísicos (CPS), entre otras. En este libro principalmente se habla de una tecnología denominada redes de sensores inalámbricas o más conocida en inglés como Wireless Sensor Network (WSN), muy utilizada en diferentes entornos de desarrollo tecnológico, que podría afirmarse se ha posicionado como la base de tecnologías como IoT o CPS. En el libro se hace una descripción de esta tecnología, se mencionan los elementos que la componen, algunas aplicaciones, los dispositivos que utiliza y las formas en que se pueden analizar los datos que se capturan mediante el uso de la misma. Como caso especial de aplicación de la tecnología WSN, se explica el desarrollo de un proceso investigativo del grupo Davinci de la UNAD, en el área de la salud, más específicamente relacionado con la Preeclampsia, que es una enfermedad que puede afectar a mujeres embarazadas, poniendo en riesgo la vida de las mismas y sus futuros bebés. Le invitamos a leer este libro y conocer un poco más de lo antes descrito.