



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

---

**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS” ZACATENCO**

**SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

***“PROPUESTA DE UNA RED WBAN ORIENTADA AL  
MONITOREO DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL”***

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTA:**

**ING. JULIO CÉSAR MORALES GUTIÉRREZ**

**DIRECTORES DE TESIS:**

**DR. HÉCTOR OVIEDO GALDEANO**

**DR. DANIEL RODRÍGUEZ SALDAÑA**





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14  
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 12:00 horas del día 06 del mes de Noviembre del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: E.S.I.M.E ZACATENCO

para examinar la tesis titulada: “PROPUESTA DE UNA RED WBAN ORIENTADA AL MONITOREO DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL”

por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	<b>MORALES</b>	Apellido Materno:	<b>GUTIERREZ</b>	Nombre (s):	<b>JULIO CESAR</b>
-------------------	----------------	-------------------	------------------	-------------	--------------------

Número de registro: B 1 7 1 1 1 8

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

Después de la lectura y revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **NO APROBAR**  la tesis, en virtud de los motivos siguientes:

Se consideran que cumple con los objetivos del trabajo adecuadamente.

Sólo se sugiere enriquecer el estado del arte y mejorar la presentación.

Comisión Revisora de Tesis

DR. HÉCTOR OVIEDO GALDEANO  
14261-EG-19 y ASIGNATURA

DR. VLADIMIR KAZAKOV  
13623-EG-18 y COLEGIADO

DR. RAÚL CASTILLO PÉREZ  
12922-EE-17 y COLEGIADO

DR. DANIEL RODRÍGUEZ SALDAÑA  
12944-EC-17 Y ASIGNATURA

DR. SALVADOR ÁLVAREZ  
BALLESTEROS  
13372-EH-18/3 y COLEGIADO

Presidente del Colegio de Profesores

DR. JOSÉ MARTINEZ TRINIDAD, P. N.

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



## **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

### **SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

#### **CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de México el día 12 del mes de Noviembre del año 2019, el que suscribe Julio César Morales Gutierrez alumno del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones con número de registro B171118, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de el Dr. Héctor Oviedo Galdeano y Dr. Daniel Rodríguez Saldaña y cede los derechos del trabajo intitulado "Propuesta de una Red WBAN Orientada al Monitoreo de la Actividad Cerebral" al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [moralesgutierrezjulio@gmail.com](mailto:moralesgutierrezjulio@gmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**Julio César Morales Gutierrez**

Nombre y firma

## **RESUMEN**

Las Redes de Área Corporal Inalámbricas traerán consigo importantes beneficios en el sector salud, por esta razón en este trabajo se propone una red que notifique a los familiares de un paciente cuando esté presente una convulsión, evento que es el más común entre las más de dos millones de personas en México que sufren de epilepsia.

Para que este trabajo sea eficiente se hace uso del protocolo inalámbrico Zigbee, el cual permite facilitar la operación de la red en eventos de tipo emergencia, ya que este se usa en entornos de monitoreo para mandar alertas, justo lo que se necesita en la notificación de este evento convulsivo. Con la finalidad de que el mensaje llegué sin problemas al familiar del paciente se propone encapsular este mensaje en un protocolo de la capa de transporte, es decir, TCP, implementado desde un creador de protocolos llamado Scapy, dicho protocolo mediante sus características confiables después de haber detectado la actividad anormal asegurara que el mensaje llegue a su destino y así poder .auxiliar al enfermo durante o post la convulsión.

## **ABSTRACT**

The Wireless Body Area Networks will bring important benefits in the health sector, for this reason, in this work a network is proposed that notifies the relatives of a patient when a seizure is present, an event that is the most common among the more than two millions of people in Mexico who suffer from epilepsy.

In order for this work to be efficient, the Zigbee wireless protocol is used, which facilitates the operation of the network in emergency type events, since it is used in monitoring environments to send alerts, just what is needed in the notification of this convulsive event. In order for the message to reach the patient's family without problems, it is proposed to encapsulate this message in a transport layer protocol, that is, TCP, implemented from a protocol creator called Scapy, said protocol through its reliable characteristics after Having detected the abnormal activity will ensure that the message reaches its destination and thus be able to help the patient during or after the seizure.

# ÍNDICE

RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	v
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	vi
OBJETIVO.....	vii
JUSTIFICACIÓN .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	viii
PRÓLOGO .....	ix

## CAPÍTULO 1

### RED DE ÁREA CORPORAL INALÁMBRICA (WBAN)

<b>1.1</b> IEEE.802.15.6.....	1
1.1.1 BANDAS DE FRECUENCIA SEGÚN IEEE 802.15.6 .....	2
1.1.2 POTENCIA Y TASA DE TRANSMISIÓN EN 802.15.6.....	3
1.1.3 REQUISITOS DE 802.15.6 PARA WBAN.....	4
1.1.4 PROPUESTA DE UBICACIÓN DE LOS NODOS EN LA WBAN .....	5
<b>1.2</b> CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES WBAN .....	6
1.2.1 CONSIDERACIONES DE LAS REDES WBAN.....	7
1.2.2 NIVELES DE ALCANCE DE WBAN.....	7
1.2.3 PROBLEMÁTICAS DE LAS REDES WBAN .....	8
<b>1.3</b> ABSORCIÓN DE LAS SEÑALES EN LA WBAN .....	9
1.3.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN WBAN.....	10
1.3.2 TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR).....	10
1.3.3 RECOMENDACIÓN PARA SAR .....	11

## **CAPÍTULO 2**

### **ZIGBEE**

<b>2.1</b>	IEEE 802.15.4.....	12
2.1.1	CAPA FÍSICA .....	12
2.1.2	CAPA DE ENLACE DE DATOS .....	13
<b>2.2</b>	ESPECIFICACIONES DE ZIGBEE .....	14
2.2.1	CAPA DE RED.....	14
2.2.2	CAPA DE APLICACIÓN .....	15
2.2.3	TIPOS DE DISPOSITIVOS EN ZIGBEE .....	15
2.2.4	FUNCIONALIDAD DE LOS DISPOSITIVOS ZIGBEE .....	16
<b>2.3</b>	FUNCIONAMIENTO DE ZIGBEE .....	16
2.3.1	ZIGBEE MODO CON BALIZAS .....	17
2.3.2	ZIGBEE MODO SIN BALIZAS .....	17
2.3.3	ACCESO AL MEDIO.....	18
<b>2.4</b>	TOPOLOGÍAS EN ZIGBEE.....	19
2.4.1	TOPOLOGÍA ESTRELLA .....	20
2.4.2	TOPOLOGÍA ÁRBOL.....	20
2.4.3	TOPOLOGÍA MALLA.....	21

## **CAPÍTULO 3**

### **ELECTROENCEFALOGRAMA (EEG)**

<b>3.1</b>	ENCÉFALO.....	23
3.1.1	LÓBULOS CEREBRALES .....	24
3.1.2	FRECUENCIAS DE LAS SEÑALES CEREBRALES .....	24
3.1.3	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO FISE (10-20) .....	26
3.1.4	TIPOS DE ELEMENTOS PARA PRUEBAS DE EEG .....	26
<b>3.2</b>	CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE EEG .....	27
3.2.1	PROCESO ESTOCÁSTICO .....	28
3.2.2	ESTACIONARIDAD.....	28
3.2.3	DESCRIPCIÓN PARCIAL DE UN PROCESO ESTOCÁSTICO .....	29
3.2.4	ESTACIONARIDAD EN EL SENTIDO ESTRICTO .....	31
3.2.5	ESTACIONARIDAD EN EL SENTIDO AMPLIO.....	31
<b>3.3</b>	SEÑALES REALES DE EEG PARA LA WBAN EMERGENCY .....	33
3.3.1	ESQUEMA DE ELECTRODOS DE LA WBAN .....	34

3.3.2 SEÑALES DE EEG .....	34
3.3.3 SEÑALES EN CRUDO DE LOS NODOS SENSORES.....	36
3.3.4 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE EEG PARA LA WBAN.....	37
<b>3.4 PROPUESTA PARA DETECCIÓN DE EVENTOS CEREBRALES.....</b>	<b>38</b>
3.4.1 COMPLEJIDAD DE LEMPEL ZIV.....	39
3.4.2 PREMISAS DEL METODO DE COMPLEJIDAD LEMPEL ZIV .....	39
3.4.3 MÉTODO DE COMPLEJIDAD LEMPEL ZIV .....	40

## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA Y PRUEBAS DE LA RED**

<b>4.1 NODOS PRINCIPALES PARA LA WBAN EMERGENCIA.....</b>	<b>41</b>
4.1.1 NODOS SENSORES (EPILEPSIA).....	41
4.1.2 NODOS SENSORES (MUERTE CEREBRAL).....	42
<b>4.2 TOPOLOGIA EN LA RED WBAN EMERGENCIA .....</b>	<b>43</b>
4.2.1 TOPOLOGÍA ESTRELLA PARA LA WBAN EMERGENCIA .....	43
4.2.2 RFD Y MODO CON BALIZAS PARA LA WBAN EMERGENCIA .....	44
<b>4.3 PROPUESTA PARA LA NOTIFICACIÓN DE EVENTOS CEREBRALES .....</b>	<b>44</b>
4.3.1 SCAPY COMO HERRAMIENTA DE CREACION DE TCP_ .....	45
4.3.2 IMPLEMENTACIÓN DE TCP MEDIANTE SCAPY.....	45
4.3.3 RECEPCIÓN DE LA ALERTA EN LA WBAN EMERGENCIA .....	47
CONCLUSIONES .....	48
TRABAJOS FUTUROS .....	49
TRABAJOS DERIVADOS DE LA TESIS .....	50
BIBLIOGRAFÍA .....	52

<b>APÉNDICE A. SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....</b>	<b>53</b>
<b>APÉNDICE B. EXTRACCIÓN DE LA SEÑAL CEREBRAL.....</b>	<b>54</b>
<b>APÉNDICE C. EJEMPLO EN MATLAB DE LZW(TEORÍA DE CODIFICACIÓN)..</b>	<b>55</b>
<b>APÉNDICE D. VARIANTE PARA LA CREACIÓN DE TCP .....</b>	<b>56</b>

# RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS

1	Figura 1.1 Bandas de Frecuencia de ISM.....	2
2	Figura 1.2 Modelo OSI para WBAN.....	2
3	Figura 1.3 Relacion Potencia/Tasa de transmisión en 802.15.6 .....	3
4	Figura 1.4 Cantidad de nodos sensores para la red WBAN Emergencia .....	6
5	Figura 1.5 Niveles de alcance de las WBAN.....	8
6	Figura 2.1 Dimensiones de dispositivos Zigbee .....	13
7	Figura 2.2 Pila de Protocolos de 802.15.4.....	13
8	Figura 2.3 Toplogia Estrella .....	20
9	Figura 2.4 Topologia Arbol.....	21
10	Figura 2.5 Topologia Malla .....	22
11	Figura 3.1 Lóbulos cerebrales.....	23
12	Figura 3.2 Diadema Emotiv Epoc en base a FISE 10-20 .....	33
13	Figura 3.3 Esquema de nodos para la WBAN .....	34
14	Figura 3.4 Prueba de EEG en reposo con el paciente cerrando ojos .....	34
15	Figura 3.5 Actividad cerebral de niño de seis años de edad con crisis de ausencia. ....	35
16	Figura 3.6 Actividad cerebral en el nodo O1 .....	38
17	Figura 4.1 Nodo-Sensores para monitoreo de crisis convulsiva .....	41
18	Figura 4.2 Nodo-Sensores para el monitoreo en caso de muerte cerebral .....	42
19	Figura 4.3 Topología estrella aplicada a las WBAN Emergencia .....	43
20	Figura 4.4 Creación del paquete TCP mediante Scapy .....	46
21	Figura 4.5 Paquete TCP creado desde Scapy en Wireshark.....	47
1	Tabla 1.1 Recomendaciones para SAR.....	11
2	Tabla 3.1 Nomenclatura de los electrodos en un EEG.....	26
3	Tabla 3.2 Señales de la actividad cerebral de los nodos O1, O2, F3 y P8.....	36



## **RESUMEN**

Las Redes de Área Corporal Inalámbricas traerán consigo importantes beneficios en el sector salud, por esta razón en este trabajo se propone una red que notifique a los familiares de un paciente cuando esté presente una convulsión, evento que es el más común entre las más de dos millones de personas en México que sufren de epilepsia.

Para que este trabajo sea eficiente se hace uso del protocolo inalámbrico Zigbee, el cual permite facilitar la operación de la red en eventos de tipo emergencia, ya que este se usa en entornos de monitoreo para mandar alertas, justo lo que se necesita en la notificación de este evento convulsivo. Con la finalidad de que el mensaje llegué sin problemas al familiar del paciente se propone encapsular este mensaje en un protocolo de la capa de transporte, es decir, TCP, implementado desde un creador de protocolos llamado Scapy, dicho protocolo mediante sus características confiables después de haber detectado la actividad anormal asegurara que el mensaje llegue a su destino y así poder .auxiliar al enfermo durante o post la convulsión.

## **ABSTRACT**

The Wireless Body Area Networks will bring important benefits in the health sector, for this reason, in this work a network is proposed that notifies the relatives of a patient when a seizure is present, an event that is the most common among the more than two millions of people in Mexico who suffer from epilepsy.

In order for this work to be efficient, the Zigbee wireless protocol is used, which facilitates the operation of the network in emergency type events, since it is used in monitoring environments to send alerts, just what is needed in the notification of this convulsive event. In order for the message to reach the patient's family without problems, it is proposed to encapsulate this message in a transport layer protocol, that is, TCP, implemented from a protocol creator called Scapy, said protocol through its reliable characteristics after having detected the abnormal activity will ensure that the message reaches its destination and thus be able to help the patient during or after the seizure.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La epilepsia es una enfermedad con la que tenemos que tener especial cuidado, principalmente con su principal síntoma, es decir, la convulsión. La epilepsia en si difícilmente provocara consecuencias graves a la salud de un paciente, sin embargo, es justamente la convulsión la cual tiene en muchas ocasiones como consecuencia daños a la salud física de una persona, incluso pudiendo causar la muerte debido a un golpe mortal que el paciente pudiera sufrir una vez que la convulsión lo atacara por sorpresa, o simplemente por sufrir un estado epiléptico, es decir, que la convulsión dure más de veinte minutos, eventos que deben de ser auxiliados de forma inmediata.

Las aplicaciones que hoy en día se hacen con las redes de área corporal inalámbricas van más enfocadas a pruebas remotas como lo sería un electrocardiograma, y de ahí dar diagnósticos a los pacientes sin necesidad de que estos acudan al hospital, sin embargo se considera que todavía estas redes no pueden dar un mejor diagnóstico clínico que lo que nos pueden dar los médicos en pruebas en sitio, de ahí que este tipo de redes no sean tan conocidas en el campo de las telecomunicaciones. Es por esto que este trabajo plantea una red que auxilie directamente al paciente en su atención inmediata, haciendo uso de las características lógicas y físicas que pone como base la IEEE.802.15.6 Emergencia para las redes de área corporal inalámbricas, para que una vez que se ha detectado la actividad anormal mediante una prueba de Electroencefalograma se accione la red con ayuda de Zigbee y el mensaje llegue al familiar del paciente para su atención.

## **OBJETIVO GENERAL**

Proponer el funcionamiento lógico de una red WBAN (Wireless Body Area Network, Red de Área Corporal Inalámbrica) basado en Zigbee, para aplicaciones orientadas al monitoreo de la actividad cerebral.

## **JUSTIFICACIÓN**

Hasta ahora no se han encontrado aplicaciones eficientes para el uso de redes WBAN (Wireless Body Area Networks), lo que ha llevado a dejarlas de lado, en gran parte debido a la poca aportación de lo que debiera de ser su mayor área de aplicación, es decir, la medicina, dicha limitación debida a lo que muchos médicos consideran aplicaciones innecesarias por el simple hecho de que un diagnóstico médico no requiere de la monitorización continua de un paciente, bastaría con citar a dicho paciente a consulta cada cierto tiempo para darle un seguimiento optimo, sumado a esto, el gran porcentaje de partes médicos eficientes sobre el que pudiera dar WBAN. Si bien existen aplicaciones como MHEALTH (Movil Health – Salud Móvil), la cual según la misma OMS la define como “la práctica de la medicina y la salud pública soportada por dispositivos móviles como teléfonos, dispositivos de monitorización de pacientes, asistentes digitales y otros dispositivos inalámbricos”, no se ha tocado la parte de las emergencias como si lo hace WBAN Emergency, sin embargo, se trata de en un futuro tomar lo mejor tanto de WBAN como de MHEALTH, ya que en este último se han tenido avances importantes como aportar 97,000 aplicaciones de las cuales 70% van enfocadas al bienestar y al deporte y el 30% directamente al apoyo de médicos. Por otra parte MHEALTH trabaja muy duro para tener la interoperabilidad de estas aplicaciones con la Historia Clínica Electrónica y así resolver problemáticas sociales como la inequidad en el sector salud. Es por esto que en este trabajo más allá de estudiar una red corporal aplicada al monitoreo y envío remoto de datos biomédicos para el apoyo al médico, se plantea una red para el monitoreo, detección y notificación del evento convulsivo para el auxilio inmediato del paciente.

# INTRODUCCIÓN

En México existen aproximadamente 2 millones de personas con epilepsia, dicha enfermedad perjudica al cerebro a base de descargas eléctricas en las neuronas llegando a provocar hasta una convulsión, aunque existen medicamentos para controlar este tipo de cuadros hay casos más graves en los que difícilmente se podría evitar este evento. Es cierto que, como lo comenta el neurocirujano Raúl Alonso Vanegas “se trata de una enfermedad donde es necesaria la inclusión”, dicho en otras palabras, los familiares deben saber que hacer en el momento en que se presente este evento para realizar maniobras que puedan ayudar a dicho enfermo en plena convulsión. Existe otra problemática en el sector de la medicina, el cual es la extracción y donación de órganos, se estima que órganos como el corazón o un riñón tienen aproximadamente 2 horas de vida (en enfriamiento) para que estos sean utilizados en dicha donación a otro paciente, en este caso los donantes que aportan más son aquellos que llegan a presentar muerte cerebral.

Los dos problemas en el sector medicina ya mencionados se podrían atender con la notificación oportuna de los eventos atenderlo ipsofacto ya que el mayor riesgo de este evento es lo que pase en plena convulsivo, es decir, que el enfermo sufra un golpe fuerte en la cabeza como consecuencia de la convulsión y, en el otro problema, avisar oportunamente para que los órganos lleguen de la mejor manera posible al paciente que requiera la donación. Ambas problemáticas necesitan del monitoreo de la actividad cerebral y cuando se presente el caos, se mandara un mensaje en la red WBAN para avisar de que está presente el evento.

Este trabajo abrirá la puerta para un estudio más amplio de este tipo redes, y que mejor que empezar con un trabajo que ayude antes que al médico, al paciente.

# PRÓLOGO

Este trabajo tiene como finalidad notificar mediante un mensaje de alerta a los familiares de un paciente con epilepsia cuando este se encuentre en una crisis convulsiva, detectando esta crisis mediante una prueba real de EEG, así como asegurar el correcto funcionamiento de la red usando Zigbee y TCP, englobado todo en una red corporal inalámbrica.

Esta tesis consta de cuatro capítulos

En el capítulo 1 se describe al estándar IEE.802.15.6, siendo este la base de las redes WBAN, se describen las características generales de este tipo de redes, así como sus desafíos y requisitos, de igual manera desde este capítulo se habla de la colocación de los nodos de la red, los cuales fungirán como sensores de la red.

En el capítulo 2 se abordan las características más importantes de Zigbee para nuestro caso particular, resaltando aquellas características que son propuestas para que se utilicen dentro de nuestra red, es decir, funcionamiento de trabajo, topologías y consumo de potencia las cuales fueron probadas mediante un dispositivo Xbee.

En el capítulo 3 se explica el funcionamiento del cerebro humano así como las características de las señales cerebrales extraídas por medio de un electroencefalograma, complementando esto con teoría estadística de procesos estocásticos. Aquí cabe resaltar que en este capítulo se explica en que consistió la prueba real de EEG, mostrando algunos resultados por MATLAB, así como la propuesta de un algoritmo basado en Lempel Ziv para detectar anomalías en la actividad cerebral, tal como lo sería una crisis convulsiva.

En el capítulo cuatro se realizan las pruebas de la red, ya que una vez detectado el evento convulsivo se tiene que enviar la notificación, por ello, se describe la creación del protocolo TCP, el cual llevara dicha alerta, así mismo se termina la propuesta final de la red

# **CAPÍTULO 1. RED DE ÁREA CORPORAL INALÁMBRICA (WBAN)**

WBAN (Wireless Body Area Network, Red de Área Corporal Inalámbrica), es una red formada a base de sensores los cuales se comunican a través de estándares inalámbricos cuyo fin es la monitorización, control y notificación de eventos relacionados a la salud del cuerpo humano.

## **1.1 IEEE 802.15.6**

WBAN es una tecnología que apenas comienza a abrirse camino, principalmente para el área de la medicina. Por ello es importante empezar por decir que esta red se basa en la norma IEEE 802.15.6 publicada en 2012 y cuyo objetivo es proporcionar un estándar internacional para comunicaciones inalámbricas de baja potencia, corto alcance y extremadamente confiable dentro del área del cuerpo humano, que admita una amplia gama de velocidades de datos para diferentes aplicaciones.

Para que el estándar 802.15.6 sea confiable para el cuerpo humano necesita para su implementación parámetros dados por entidades médicas, ya que a diferencia de otras redes esta trata con seres humanos, por lo cual es de suma importancia cuidar la integridad de estos, es por esto que este estándar utiliza las bandas medicas científicas industriales existentes, así como las bandas de frecuencia aprobadas por las autoridades médicas y/o reglamentarias nacionales de las cuales abordaremos a detalle más adelante.

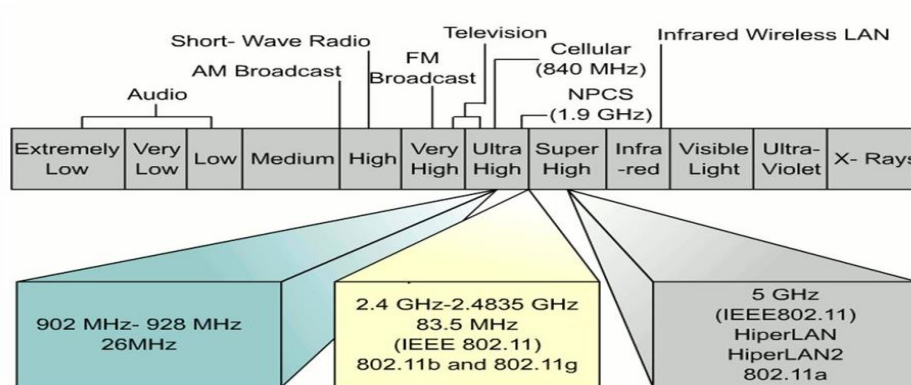
Para que una red WBAN funcione, lo primero es armar dicha red base de nodo sensores, los cuales harán las veces de recolectores de datos (signos vitales), los cuales serán transmitidos de manera inalámbrica a una unidad central donde se procesara toda la información recopilada. Debido a su naturaleza inalámbrica, los nodos WBAN deben cumplir con ciertas características como conectividad, movilidad e interoperabilidad.

Se pretende que estas redes tengan un gran impacto en la sociedad, teniendo pensado que estas tengan el alcance de una red WAN (Wide Área Network, Red de Área Amplia), con lo cual en un país como México se tendrá recopilación de datos médicos de forma masiva con la finalidad de administrar medicamentos en hospitales, monitorear remotamente la

información fisiológica humana, ayudar en la rehabilitación y entregar una interfaz para diagnósticos.

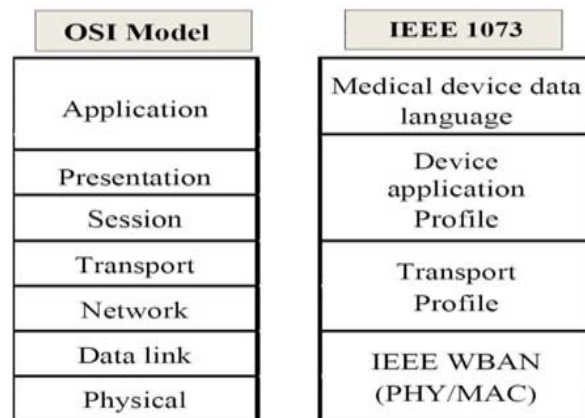
### 1.1.1 BANDAS DE FRECUENCIA SEGÚN IEEE 802.15.6

La 802.15.6 utiliza bandas Médicas, Industriales y Científicas existentes (ISM), así como las bandas de frecuencia aprobadas por médicos nacionales y autoridades reguladoras. En la figura 1.1 se muestra el espectro actual de frecuencias.



1 Figura 1.1 Bandas de Frecuencias de ISM

Además esta norma considera los efectos de antenas sobre personas, estas varían según las características de la persona a la cual se le esté implementando una red de área corporal inalámbrica, además considera tener un cierto patrón de radiación para tener al mínimo la tasa de absorción específica (SAR), ya sea que el usuario este en movimiento o no. Es importante definir además de las bandas de frecuencia, el modelo OSI (Open System Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos), para una WBAN

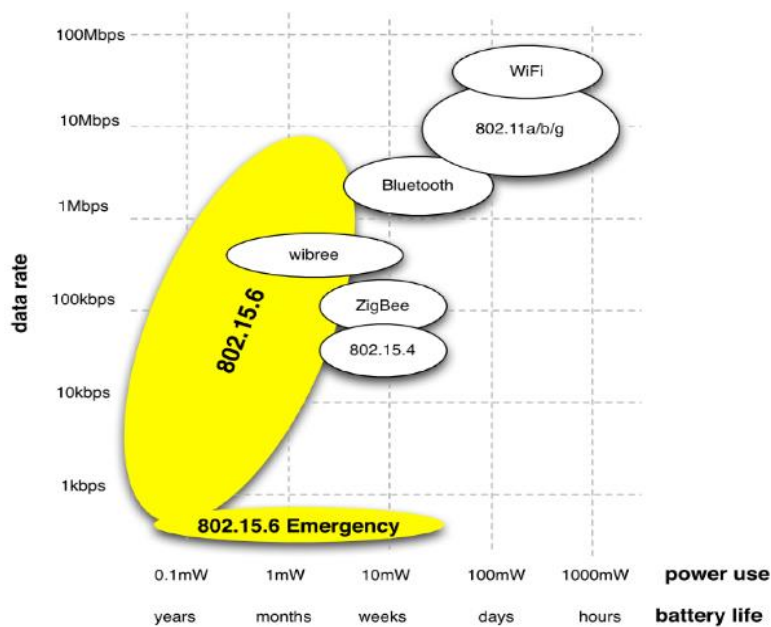


2 Figura 1.2 Modelo OSI para WBAN

Es importante tener en cuenta a las WBAN según el Modelo OSI, ya que de aquí depende mucho el poder continuar investigaciones para este tipo de redes, esto con la finalidad de conseguir una norma internacional a corto plazo, de baja energía y una comunicación inalámbrica altamente fiable para su uso en la proximidad o en el interior del cuerpo humano.

### 1.1.2 POTENCIA Y TASA DE TRANSMISIÓN EN 802.15.6

Un rubro muy importante para poder tener una red WBAN operando en óptimas condiciones es tener una adecuada relación entre la potencia y la tasa de transmisión de las cuales hagan uso nuestros nodos sensores inalámbricos. Además es necesario comparar con otros estándares inalámbricos para poder tomar una elección de cuál sería el mejor esquema para que se implemente en nuestra red, dicha relación se muestra a continuación.



3 Figura 1.3 Relación Potencia/Tasa de transmisión en 802.15.6

Como puede observarse la relación es en cierto aspecto proporcional (en el caso de 802.15.6) en el sentido de que entre mayor tasa de transmisión se requiera menor será la durabilidad de la batería. Todo depende del enfoque que se le quiera dar a esta red, es decir, si se le quiera dar un enfoque para tener monitoreado a un paciente de manera remota, y este necesite de un seguimiento las veinte y cuatro horas por algún problema de salud grave, la demanda de información sería bastante por lo que se tendría que tener un buen



recurso para mantener la vida de la batería de manera correcta y el monitoreo no se vea interrumpido. Es necesario decir que de observar la baja tasa de transmisión y la eficiencia en batería que exige 802.15.6 Emergency, surgió la idea de enfocar este trabajo hacia el monitoreo de la actividad cerebral, esto debido a que como ya se mencionó en la introducción, estas redes deben de retomarse, y empezar por problemas que se requieran atender ipsofacto es lo más adecuado. Los problemas que se plantean en este este trabajo que son atender a pacientes con epilepsia y pacientes con riesgo a muerte cerebral, caen, como ya se mencionó, en la parte de la figura 1.3 “802.15.6 Emergency”, es decir, la tasa de transmisión necesaria para atender estos problemas sería literalmente un mensaje “Actividad Cerebral Anormal” o “Actividad en reposo”, lo cual sería ideal para que, al mismo tiempo de tener una baja tasa de información a mandar, se tendría una durabilidad en las baterías de cada nodo sensor para que estas puedan llegar a durar hasta más de un año, claro está que para obtener todavía mejor eficiencia, sería bueno combinar el trabajo de estos nodo sensores con algún protocolo que tenga características para embonar de manera eficiente con la red WBAN y la aplicación que en este trabajo se quiere, es decir, del tipo emergencia. En el siguiente capítulo se compararan las características de los estándares inalámbricos para ver más fácilmente porque ZigBee es la mejor opción para tener una tasa de transmisión baja, al mismo tiempo que el paciente podrá disponer del monitoreo de los nodo sensores de una manera duradera y confiable.

### **1.1.3 REQUISITOS DE 802.15.6 PARA WBAN**

Ya se ha mencionado que a diferencia de otras normas, como por ejemplo, 802.15.4, donde se hace un enfoque más profundo hacia redes PAN (Personal Area Network, Red de Área Personal) o más recientemente para IoT (Internet Of Things, Internet de las cosas), la 802.15.6 trabaja con seres vivos, por lo cual hay que asegurarse que las características tanto físicas como operativas, hablese de potencia, frecuencia, etc..., sean adecuadas para que la red y la persona puedan coexistir y así se creó la red WBAN. Dichos requisitos son los siguientes.

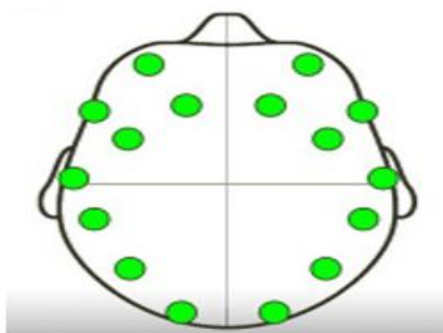
- Los enlaces en la WBAN deben soportar una tasa de transmisión de entre 10Kb/s a 10Mb/s.
- La tasa de errores de paquetes (PER) deben ser menores al 10% para una carga de 256 octetos para el 95% de los enlaces basados en PER con el mejor desempeño.

- Los nodos deben ser capaces de ser removidos e insertados a la red en menos de 3 segundos.
- Cada WBAN debe ser capaz de soportar hasta 256 nodos.
- Los nodos deben ser capaces de brindar comunicación confiable, incluso cuando la persona esté en movimiento.
- La latencia debe ser menor a los 125 ms en aplicaciones médicas, menos de 250 ms. en aplicaciones no médicas, mientras que la fluctuación debe ser menor a los 50ms.
- Todos los dispositivos deben ser capaces de transmitir a 0.1mW (-10 dBm) y el máximo de potencia de transmisión radiada debe ser menor a 1mW (0 dBm), esto cumple con la tasa de absorción específica (SAR) de la comisión Federal de 1.6 W/Kg en 1g de tejido corporal.
- Deben ser capaces de operar en un ambiente heterogéneo donde redes de diferentes estándares cooperan entre sí para recibir información.
- Deben incorporar características de QoS (Quality Of Service, Calidad en el Servicio) para ser auto correctivas y seguras, así como permitir servicios prioritarios.
- Los mecanismos de ahorro energético deben ser incorporados a las WBAN para operar en un ambiente de potencia restringida.

#### **1.1.4 PROPUESTA DE UBICACIÓN DE LOS NODOS EN LA WBAN**

Se acaban de mencionar varias características que deben de cumplir los nodo sensores en nuestra red, una vez que se sabe esto ahora toca ubicar los nodo sensores en la superficie del ser humano. Recordemos que esta red está planeada para para el monitoreo de la actividad cerebral, más específicamente para que eventos como lo es una convulsión o muerte cerebral, provoquen un mensaje hacia un dispositivo externo para el auxilio de los paciente, pero ¿Cómo detectar estos eventos?, pues realmente es algo más complejo que hablar solo de una red, pero podríamos empezar por mencionar que actualmente en la medicina las pruebas de EEG (Electroencefalograma), se llevan a cabo mediante electrodos alámbricos que transportan diferencias de potenciales hacia un aparato que muestra la señal del cerebro, pues esta prueba nos sirve para detectar caos o ausencia de la señal mediante estos electrodos ubicados en la superficie de la cabeza del enfermo. Más adelante se tratara más específicamente las características de estas señales así como de los procedimientos,

pero es bueno mostrar la ubicación de estos, así como el número de nodo sensores que se usaran, cabe decir que el número de los nodos así como su ubicación exacta tienen un porque, en este caso se propone la siguiente cantidad de los mismos, los cuales se pueden observar en la figura 1.4.



4 Figura 1.4 Cantidad de nodos sensores para la red WBAN Emergencia

Como puede observarse en la figura anterior, la cantidad de nodos a usarse son 16, siendo 2 los utilizados para obtener una referencia, y los otros 14, con una extracción de señal de acuerdo a la norma FISE, en este caso la norma específica utilizada será la FISE 10-20, de la cual se hablará en el capítulo 3.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES WBAN

En las redes WBAN es muy importante tener en cuenta que un nodo se define como un dispositivo, el cual es independiente, es decir, este tiene su propia capacidad de comunicación que abarca hasta 3 metros de distancia, más específicamente los nodos se clasifican en tres rubros.

- **FUNCIONALIDAD**

Por su funcionalidad se clasifican en PD (Personal Device, Dispositivo Personal), Sensores y Actuadores, donde el primero se encarga de recolectar toda la información de los sensores y actuadores y maneja la interacción con los otros usuarios. En el caso de los sensores estos miden ciertos parámetros del cuerpo humano, estos reúnen y responden a los datos a los datos de la actividad física, en el caso de este trabajo se procesa la actividad cerebral para procesarla y entregar una respuesta, los actuadores (los cuales en este trabajo no se consideran), entregan retroalimentación en la red a base de los datos del sensor.

- **IMPLEMENTACIÓN**

En este rubro se explicara con un lenguaje no formal de acuerdo a los términos de la medicina, ya que se define como Nodo implantado (bajo la piel), y nodo no implantado (en la superficie del cuerpo), los términos correctos de acuerdo a la prueba EEG se verá en el tercer capitulo

- **ROL EN LA RED**

En este rubro se subdivide en coordinador, a través del cual se comunican todos los demás nodos, o retransmisores los cuales son nodos intermedios.

### **1.2.1 CONSIDERACIONES DE LAS REDES WBAN**

Al ser estas redes destinadas a interactuar con el cuerpo humano, sufren algunas condiciones las cuales para efectos de funcionalidad podrían verse afectadas. En el caso de la batería con la cual tendrán que trabajar los nodos sensores en la red, los cuales son inalámbricos y de pequeño tamaño, es necesario que estos sean a base de pilas o baterías recargables, siendo este punto delicado ya que se debe juntar la autonomía con la capacidad de proceso. Otro problema que se presenta es la redundancia, es decir que entre un nodo a operar en la red en caso de que este falle, siendo esto no muy factible debido al poco espacio en la superficie de la cabeza, además recordar que la norma FISE 10-20 tiene muy específicamente las distancias. Otro parámetro que es necesario es el tipo de material con el que estén hechos, este parámetro que se impone es para que el nodo sensor no cause daños en el tejido del cuerpo humano.

Como toda red (aunque en este trabajo no se abarca), es necesaria la seguridad y confiabilidad en la red, las cuales deben estar presentes en los todos los niveles de la red WBAN. Para salvaguardar la integridad del ser humano dado que las señales se propagan en el interior y/o exterior del ser humano, es necesario escoger una banda de frecuencias adecuada para el tipo de aplicación que se quiera implementar.

### **1.2.2 NIVELES DE ALCANCE DE WBAN**

Ahora se definirán los tres diferentes niveles de alcance de las redes WBAN

1. **Comunicación Intra-WBAN**

En este nivel se representa la interacción en la red de los nodos, de los cuales ya se dio una pequeña descripción en cuanto a su ubicación, además sus respectivos rangos de

interacción de la red, los cuales son alrededor de 2 metros dentro y alrededor del cuerpo, más que suficientes en nuestra red.

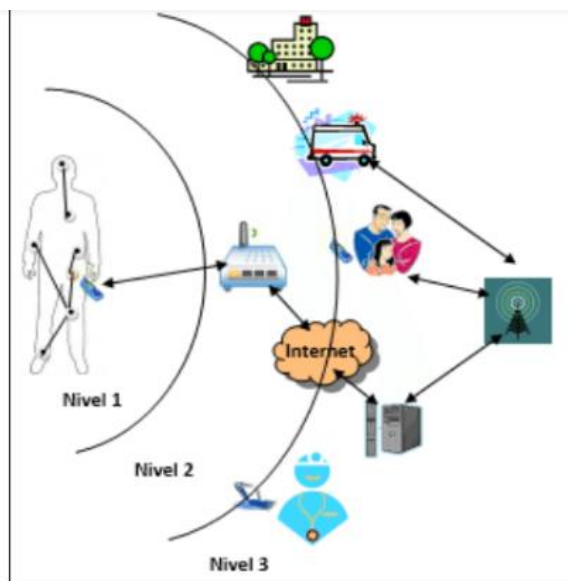
## 2. Comunicación Inter-WBAN

Esta entre el servidor personal y uno o más puntos de acceso, además busca interconectar WBAN con varias redes.

## 3. Comunicación más allá de WBAN

Este es diseñado para su uso en áreas metropolitanas. Para que este nivel de alcance se entienda más fácilmente, es con el propósito de recolectar, por ejemplo, información en tiempo real y esta sea monitoreada remotamente en un recinto lejano, como bien lo podría ser un hospital, este nivel de alcance tiene muchos problemas, no solo técnicos, sino de utilidad y ayuda real a pacientes, es por esto que en este trabajo se llega hasta el nivel dos.

Los tres niveles de alcance se pueden ser mejor asimilados viendo la siguiente figura.



5 Figura 1.5 Niveles de alcance de las WBAN

En la figura el objeto que tiene en la mano la persona es el servidor personal, en este trabajo este servidor es aquel que recibe la notificación del evento de la convulsión o ya sea de la muerte cerebral, es decir este servidor lo tendrá el familiar dentro del hogar o en el segundo caso, el cuerpo de trasplante de órganos dentro del hospital.

### 1.2.3 PROBLEMÁTICAS DE LAS REDES WBAN

Hoy en día estas redes tienen todavía grandes desafíos, a continuación se especifican punto a punto.

- Los dispositivos que funcionan como nodos sensores son colocados en el cuerpo humano, por ello experimentan pérdidas.
- Sobre todo en este trabajo el cambio en las condiciones en las que se está desarrollando el ser humano, tales como el movimiento o postura es una gran problemática dado que los sensores pueden tener errores en este parámetro, en el capítulo 3 se plantea la solución.
- El diseño de la antena, (implementada en cada nodo sensor), tiene ciertas restricciones en cuanto a la forma del material, tamaño de la antena y Radio Frecuencia usada.
- Existe el pico de corriente, el cual debe ser corregido mediante el diseño del Hardware de la antena
- En cuanto a la capa física, los protocolos deben eficientizar el consumo energético para la durabilidad de las baterías en cada nodo sensor.
- En cuanto a la interferencia entre dispositivos se debe controlar la potencia para que no se tengan colisiones.
- Aunque las memorias en las WBAN son regularmente limitadas, se debe garantizar conocimiento eficiente, retransmisión y estrategias de detección de errores. Cabe decir que en este trabajo el conocimiento eficiente y la retransmisión se garantizará.

### **1.3 ABSORCIÓN DE LAS SEÑALES EN LA WBAN**

Para que en este trabajo se le pudiera dar solución en el tema de pérdidas, el cual es un factor inherente a este tipo de pruebas como el EEG, se debió conocer a detalle qué tipo de absorción se presentan en ella.

En general en este tipo de prueba como red de área corporal inalámbrica se genera una fuente de campo electromagnético sobre el cuerpo humano. Por ello la radiación electromagnética desde un dispositivo WBAN puede provocar absorción de energía en el cuerpo humano, así como interferencia con otros dispositivos.

Los efectos biológicos causados por la exposición a campos de Radio Frecuencia están relacionados con los campos eléctricos y magnéticos dentro del cuerpo humano. Decir que en este trabajo se consultaron investigaciones referentes a la repercusión en la exposición del cerebro humano en bandas de frecuencia de 2.4 GHz, en el cual no se comprobó que tuviera algún efecto negativo a este. Cabe mencionar que en dicho trabajo se hicieron

pruebas en diferentes estándares de comunicación inalámbricos como Bluetooth, WiFi, etc...

### 1.3.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN WBAN

Como ya se mencionó, debido al uso de componentes electrónicos en la WBAN se generan campos electromagnéticos. Su distribución está relacionada con la frecuencia de la comunicación que se esté empleando, las propiedades dieléctricas del tejido, la forma geométrica del cuerpo humano, así como de la estructura de la antena del transmisor.

Los campos electromagnéticos pueden causar daño (dependiendo de las características de dicho campo), en el aspecto biológico, y estos se dividen en dos.

- Efecto de estimulación en el sistema nervioso.

Este efecto se presenta cuando la corriente eléctrica de dicho campo es inducida por el tejido del cuerpo humano, por lo que en un paciente con epilepsia se debe considerar.

- Efecto Térmico.

Este efecto causa consecuencias biológicas cuando ocurre absorción de energía en el tejido. En el caso de los campos electromagnéticos de baja frecuencia las consecuencias en rubro de absorción y temperatura es insignificante, pero cuando esta es superior a los 100 KHz, ocurre una significativa absorción de energía así como un considerable aumento de temperatura.

Mencionar que la cuantificación de absorción de energía en el cuerpo humano se conoce como disimetría, donde la cantidad más importante de dicha disimetría en frecuencia en una WBAN se conoce como SAR.

### 1.3.2 TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR)

La tasa de absorción específica o SAR, es una medida que indica la potencia máxima con que un campo electromagnético de radiofrecuencia es absorbido por el tejido vivo. En otras palabras se define como la potencia absorbida por la masa de los tejidos, y tiene unidades de watts por kilogramo (W/kg), la fórmula de tasa de absorción específica se muestra a continuación.

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E^2 \left( \frac{W}{kg} \right)$$

Donde:  $E$  es el campo eléctrico inducido por radiación.

$\sigma$  es la conductividad eléctrica del tejido

$\rho$  es la densidad del tejido

Este parámetro se toma en cuenta para frecuencias entre 100 KHz y 100 GHz, es decir, radiación no ionizante, en particular para teléfonos móviles.

Es importante tener en cuenta que cuando la temperatura corporal se eleva, se puede tener un efecto biológico adverso, por ello se tiene que limitar la potencia de transmisión de los nodos sensores a valores tan bajos como sean posibles para asegurar la integridad de las personas.

### 1.3.3 RECOMENDACIÓN PARA SAR

El valor sugerido en SAR, para las redes WBAN es de 0.4 [W/kg] con un factor de seguridad de 10 horas, En la siguiente tabla se muestra las restricciones SAR en todo el cuerpo, considerando frecuencias entre 10 MHz y 10 GHz. Todos los valores SAR se promedian sobre un periodo de 6 minutos, esto para alcanzar un estado de equilibrio de temperatura.

<b>Características de la exposición</b>	<b>SAR promedio de todo el cuerpo (W/kg)</b>	<b>SAR en cabeza y tronco (W/kg)</b>	<b>SAR en extremidades (W/kg)</b>
Ocupacional	0.4	10	20

Tabla 1.1 Recomendaciones para SAR

Como podemos observar en la tabla 1.1, tenemos un rango que se considera en este trabajo, es decir el SAR recomendado para nuestra WBAN es de 10 (W/kg), esto para evitar que la potencia absorbida por el tejido ubicado en la cabeza del enfermo absorba mucha potencia y se tenga problemas adversos, es por esto que se propone Zigbee como el protocolo a usar.



## **CAPÍTULO 2. ZIGBEE**

Zigbee es un conjunto de protocolos de alto nivel destinados a las comunicaciones inalámbricas, trayendo consigo grandes beneficios en cuestión de confiabilidad en la transmisión, ahorro de batería y bajo costo del dispositivo.

### **2.1 IEEE 802.15.4**

Zigbee es un protocolo que se utiliza en varios tipos de redes, principalmente debido a que se basa en el estándar 802.15.4 de la IEEE, estándar que cumple prácticamente en todo por lo requerido por la 802.15.6, el cual es la base de las WBAN, la razón de su versatilidad es que Zigbee nos proporciona dos aspectos clave que necesitamos, en este caso, en una nuestra estructura de nodo sensores como electrodos de prueba de EEG, dichos aspectos son, bajo costo de los dispositivos y bajo consumo de batería.

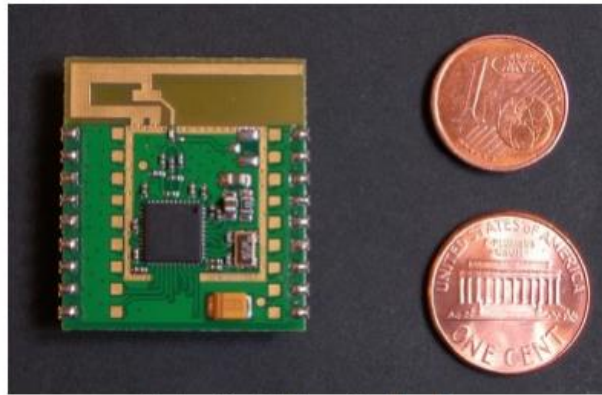
Zigbee trabaja de acuerdo a la 802.15.4 a 868 MHz, 915MHz, 2.4 GHz para Europa, Estados Unidos y para todo el mundo respectivamente de acuerdo a la banda ISM para usos industriales y científicos. Antes de adentrarnos a Zigbee es importante mencionar que la norma 802.15.4 trabaja con las capas física (PHY) y de acceso al medio (MAC). Para fines de facilidad digamos que de acuerdo al modelo OSI la capa física es equivalente en los dos modelos, pero la capa MAC sería el equivalente a la capa de enlace de datos.

#### **2.1.1 CAPA FÍSICA**

Esta capa proporciona el servicio de transmisión de datos sobre el medio físico propiamente dicho, así como la interfaz con la entidad de gestión del nivel físico, por medio de la cual se puede acceder a todos los servicios de gestión del nivel y que mantiene una base de datos con información de redes relacionadas. Así PHY controla el transceptor de radiofrecuencia y realiza la selección de canales junto con el control de consumo y de la señal.

En el nivel físico podemos localizar cuatro niveles físicos distintos en base al método de modulación usado. Tres de estos cuatro niveles conservan el mecanismo DSSS: las bandas de 868-915MHz que usan modulación en fase binaria o por cuadratura en offset (OQPSK, Offset Quadrature Phase Shift Keying). En la banda de 2450MHz se usa la técnica OQPSK. Cabe decir que estas técnicas de modulación son eficientes ya que traen consigo una muy baja probabilidad de error, es decir, de acuerdo a la teoría estadística, estas tienen un adecuado margen de error al momento tanto de corrección como de modulación. Además,

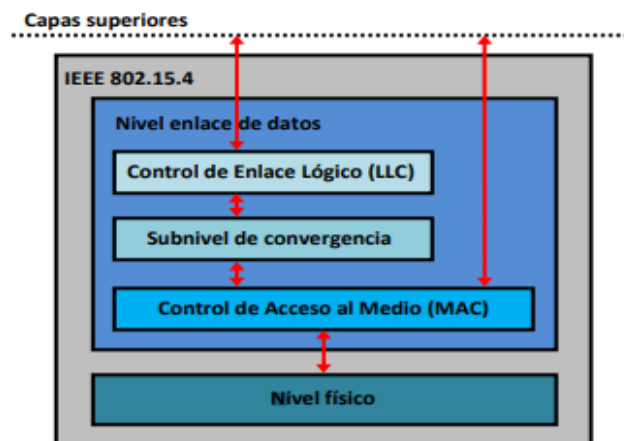
aun cuando esta capa implica tener un transceptor de radiofrecuencia no necesariamente debemos hablar de un hardware muy grande, para efectos de este trabajo se ha usado un módulo Xbee, sin embargo hoy en día existen dispositivos de Zigbee aún más pequeños, tal y como lo muestra la siguiente imagen.



6 Figura 2.1 Dimensiones de dispositivos Zigbee

### 2.1.2 CAPA DE ENLACE DE DATOS

En esta capa encontramos el Control de Acceso al Medio (MAC). Éste transmite tramas MAC usando para ello el canal físico. Además del servicio de datos, ofrece un interfaz de control y regula el acceso al canal físico y al balizado de la red. También controla la validación de las tramas y las asociaciones entre nodos, y garantiza slots de tiempo. Por último, ofrece puntos de enganche para servicios seguros. En el nivel de enlace de datos podemos localizar el Control de Enlace Lógico (LLC) que hace la función de interfaz con los niveles superiores de la pila de protocolos. En la siguiente figura se muestra la pila de protocolos que usa 802.15.4



7 Figura 2.2 Pila de Protocolos de 802.15.4

## **2.2 ESPECIFICACIONES DE ZIGBEE**

Antes de ver las especificaciones es importante comprender que estrictamente la arquitectura básica y las diferentes capas de ambos estándares (802.15.4 y Zigbee) se componen por 4 capas en su totalidad, la capa física, la capa MAC, la capa de red y la capa de aplicación. Como ya se había mencionado IEEE 802.15.4 define la capa física y MAC, mientras que Zigbee Alliance define las dos capas superiores (red y aplicación), la arquitectura completa se conoce como la arquitectura Zigbee.

Importante dejar en claro que en este trabajo no se tiene problema respecto a la gran eficiencia del utilizar las etapas de la capa Física y de Acceso al medio del estándar 802.15.4 para la transmisión en nuestra red, si no, como ya se mencionó, el “para que usarlas” es el reto que se tiene para hacer útiles las redes WBAN, además de que en base a esto se proponen algunas modificaciones en las capas superiores para cumplir de mejor manera las especificaciones que debe de cumplir nuestra red en base a 802.15.6. Por ello simplemente cuando hablemos de las capas superiores nos referiremos simplemente como Zigbee.

### **2.2.1 CAPA DE RED**

Las tareas principales del nivel de red son permitir el correcto uso del subnivel MAC, definido por el estándar 802.15.4, y ofrecer un interfaz adecuado para su uso por parte del nivel inmediatamente superior, el nivel de aplicación. Sus capacidades son las típicas de un nivel de red clásico. Por una parte, la entidad de datos crea y gestiona las unidades de datos del nivel de red a partir del payload del nivel de aplicación y realiza el ruteo en base a la topología de la red en la que el dispositivo se encuentra. Por otra parte, las funciones de control del nivel de red controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de nuevas redes; puede decidir si un dispositivo colindante pertenece a la red e identifica nuevos routers y vecinos. El control puede detectar así mismo la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directa y la sincronización a nivel MAC.

### **2.2.2 CAPA DE APLICACIÓN**

Esta capa es la más compleja ya que lleva consigo varios rubros, como los componentes de la especificación, es decir, ZDO's, así como sus procedimientos de control y objetos de aplicación.

- ZDO (Zigbee Device Object, Objeto de Dispositivo Zigbee)

El ZDO es quien define si un dispositivo (nodo sensor), trabajara como coordinador o dispositivo final, aunque también existen más tipos de dispositivos.

### **2.2.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS EN ZIGBEE**

- ZC (Zigbee Coordinator, Coordinador Zigbee)

Consiste en el dispositivo más completo de los tres, puesto que sus funciones son las de controlar y coordinar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.

- ZR (Zigbee Router, Router Zigbee)

Su función es la de interconectar los dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

- ZED (Zigbee End Device, Dispositivo Final Zigbee)

En este dispositivo quedan representadas las principales características de ZigBee, como son el bajo consumo y el bajo coste. Los ZED poseen la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre, que ya puede ser el Router ZigBee o el Coordinador ZigBee, pero no puede transmitir información destinada a otros ZED.

Bien podemos resaltar que el dispositivo ZC es necesario en la red, ya que este llevara el mensaje final al servidor personal, aunque es igual de importante mencionar que los ZED son dispositivos pueden estar “dormidos” la mayor parte del tiempo aumentando así la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por ello significativamente más barato y necesarios en nuestra red WBAN, como se vera más adelante.

## **2.2.4 FUNCIONALIDAD DE LOS DISPOSITIVOS ZIGBEE**

La funcionalidad de estos dispositivos, (nodos sensores en nuestra red WBAN), se pueden clasificar en dos tipos:

- FFD ( Full Function Device, Dispositivo de Funcionalidad Completa).

Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee o como un nodo normal. Implementa un modelo general de comunicación que le permite establecer un intercambio con cualquier otro dispositivo pudiendo encaminar mensajes, en cuyo caso se le denomina coordinador. Puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.

- RFD (Reduced Function Device, Dispositivo de Funcionalidad Reducida)

Posee una capacidad y funcionalidad limitada para garantizar un bajo coste y una gran simplicidad, por ello sólo pueden comunicarse con FFD's y nunca pueden ser coordinadores. Básicamente constituyen los sensores de la red.

Cabe decir que en nuestra red WBAN necesitaremos tanto de ZC, como de ZED's, más adelante se verá el porqué de usar ambos tipos de dispositivos para que nuestra red del tipo emergencia tenga funcionalidad.

## **2.3 FUNCIONAMIENTO DE ZIGBEE**

Uno de los factores más importantes que debe cumplir Zigbee es el bajo consumo de sus nodos. Para ello un nodo Zigbee, tanto activo como pasivo, reduce su consumo gracias a que puede permanecer “dormido” la mayor parte del tiempo, incluso muchos días seguidos. Cuando decimos que el nodo permanece “dormido” nos referimos a que está a la espera de ser activado por algún evento o condición. Cuando se requiere su uso, el nodo Zigbee es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a “dormir” cuando deje de ser requerido. El tiempo que tarda un nodo cualquiera en despertarse es de aproximadamente 15ms. Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos esclavos (ZED), de esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La idea del funcionamiento ZigBee consiste en que los dispositivos esclavos en todo momento

permanecen en modo “dormido” a no ser que sean activados, de tal forma que solo se “despiertan” por una fracción de segundo para confirmar que siguen en nuestra red de dispositivos de la que forman parte, es decir, que siguen “vivos”. En las redes Zigbee, se pueden usar dos modos de funcionamiento diferentes: con balizas o sin balizas

### **2.3.1 ZIGBEE MODO CON BALIZAS**

En el modo con balizas el camino de transmisión y recepción está permanentemente controlado por un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones. El distribuidor permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. Para el control del canal se utilizan las balizas, elementos que se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de la red (Coordinador ZigBee) y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos. Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red escuchan a dicho coordinador durante el balizamiento (envío de mensajes a todos los dispositivos broadcast, entre 0.015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiere intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él, en el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a “dormir”, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador, en cuanto el coordinador termina el balizamiento, todos los dispositivos de la red vuelven a “dormirse”.

### **2.3.2 ZIGBEE MODO SIN BALIZAS**

En este tipo cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación en la cual los otros dispositivos pueden interferir. A veces puede ocurrir que el nodo destino puede no oír la petición o que el dispositivo emisor pretenda transmitir cuando el canal esté ocupado, ocasionando posibles colisiones. Es por ello que se debe utilizar un mecanismo de control de acceso al medio. Las redes sin balizas acceden al canal por medio del CSMA/CA. El CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) se basa en la escucha del canal por parte del nodo que pretende transmitir, y de esta forma detecta si algún otro nodo que compone la red está transmitiendo o tiene intención de ello. Al tratarse

de un medio inalámbrico, la detección de colisiones no es posible, por lo tanto para evitar dichas colisiones la estación que quiera transmitir, si no hay tráfico en el canal, podrá hacerlo pasado un cierto instante de tiempo; en caso de existir tráfico, deberá esperar un cierto tiempo de espera más otro cierto intervalo de tiempo aleatorio

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos duermen prácticamente todo el tiempo. Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se “despiertan” de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento, como por ejemplo que un sensor detecte algún movimiento, el sensor “despierta” instantáneamente y transmite a la alarma correspondiente. Es en ese momento cuando el coordinador de red recibe el mensaje enviado por el sensor y activa la alarma pertinente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo. Los routers suelen estar activos todo el tiempo, por lo que requieren una alimentación estable en general. Esto permite redes heterogéneas en las que algunos dispositivos pueden estar transmitiendo todo el tiempo, mientras que otros sólo transmiten ante la presencia de estímulos externos. En general, los protocolos Zigbee que no hacen uso de las balizas, minimizan el tiempo de actividad para evitar el uso de energía.

En las redes con balizas, los nodos sólo necesitan estar despiertos mientras se transmiten las balizas (además de cuando se les asigna tiempo para transmitir); si no hay balizas, el consumo de cada dispositivo será distinto ya que encontraremos nodos activos permanentemente y otros que sólo lo están esporádicamente.

### **2.3.3 ACCESO AL MEDIO**

El medio físico es un recurso al que se accede utilizando CSMA/CA. Las redes que no utilizan las balizas hacen uso de una variación del mismo basada en la escucha del medio, temporizada por un algoritmo de backoff, salvo en el caso de las confirmaciones (ACK, Acknowledgement). Estos mensajes de confirmación pueden ser opcionales en algunos casos. La recepción de una confirmación certifica el éxito de nuestro envío. En cualquier caso, si un dispositivo es incapaz de procesar una trama en un momento dado, no confirma su recepción. Pueden realizarse reintentos basados en timeout un cierto número de veces, tras lo cual se decide si seguir intentándolo a dar error de transmisión. El entorno de

funcionamiento previsto para este tipo de redes exige que se maximice la vida de la fuente de energía, por lo que se favorecen los protocolos que conducen a estos fines. Para ello, se programan comprobaciones periódicas de mensajes pendientes, más o menos frecuentes según la aplicación concreta. En lo que respecta a la seguridad en las comunicaciones, el subnivel MAC ofrece funcionalidades que los niveles superiores pueden utilizar para lograr alcanzar el nivel de seguridad deseado. Estos niveles superiores pueden especificar claves simétricas para proteger los datos y restringir éstos a un grupo de dispositivos o a un enlace punto a punto. Estos grupos se especifican en listas de control de acceso. Además, MAC realiza comprobaciones de frescura (freshness check) entre recepciones sucesivas para asegurar que las tramas viejas cuyo contenido no se considera útil o válido ya, no trascienden a los niveles superiores.

## **2.4 TOPOLOGÍAS EN ZIGBEE**

Para poder determinar cuál será la topología más adecuada en nuestra red, de acuerdo a la aplicación que se le quiera dar a dicha red, de forma que se optimice el trabajo, más específicamente de nuestros nodos sensores, es necesario conocer a detalle los tres tipos de topología que Zigbee maneja.

- Topología Estrella
- Topología Árbol
- Topología Malla

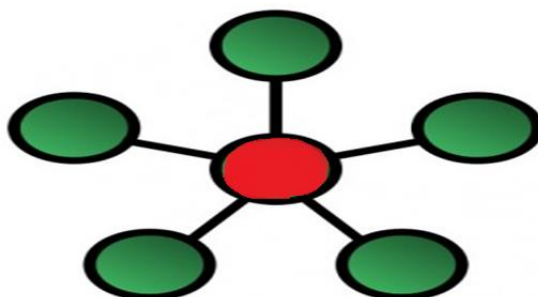
Las tres topologías podrían ser utilizadas en esta red, sin embargo de acuerdo a la aplicación que se quiera obtener dependerá la topología a usar, y no solo eso, sino que también tendrá que ser una que permita que tanto el hardware como el software se adapte a esta aplicación de tipo emergencia.

Antes de describir cada una es necesario decir que toda red necesita al menos un dispositivo coordinador (FFD), encargado de su creación, mantenimiento básico y control de sus parámetros.



### 2.4.1 TOPOLOGÍA ESTRELLA

En esta topología el coordinador se sitúa en el centro, y toda conexión que se quiera realizar entre los distintos nodos de la red debe pasar por éste.



8 Figura 2.3 Topología Estrella

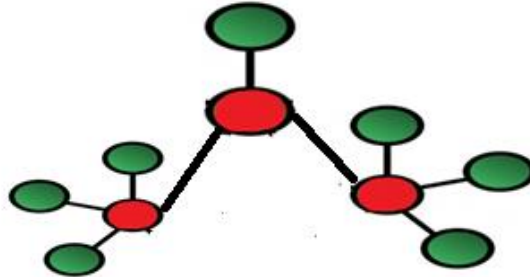
Una red en estrella activa tiene un nodo central activo que normalmente tiene los medios para prevenir problemas. Se utiliza sobre todo para redes locales. La mayoría de las redes de área local que tienen un router, un switch o un hub<sup>7</sup> siguen esta topología. El nodo central, en el caso de utilizar uno de estos dispositivos, sería el router, el switch o el hub por el que pasan todos los paquetes. Las ventajas que nos puede aportar una red en estrella sería la facilidad a la hora de implementarla, adecuada para redes temporales, el fallo de un nodo periférico no influiría en el comportamiento del resto de la red y no hay problemas con colisiones de datos ya que cada estación tiene su propia conexión al coordinador central.

Cabe mencionar que el uso de una red en estrella nos limita tanto el número de nodos que pueden estar conectados a la red, como la longitud del cableado (en caso de ser una conexión cableada). También se debe tener muy en cuenta que los costes de mantenimientos pueden aumentar a largo plazo, y que el fallo del nodo central puede echar abajo la red entera. A causa de todo ello, podemos confirmar que una red en estrella puede ser poco fiable en el momento de realizar transferencias de información.

### 2.4.2 TOPOLOGÍA ÁRBOL

Para este tipo de topología el coordinador será la raíz del árbol. Desde una vista topológica, la conexión en árbol es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas, salvo en

que no tiene un nodo central. En cambio, tiene un nodo de enlace troncal, generalmente ocupado por un hub o switch, desde el que se ramifican los demás nodos.



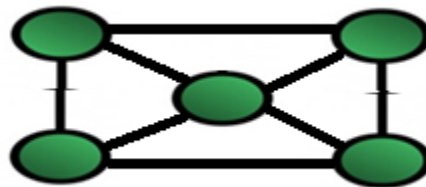
9 Figura 2.4 Topología Árbol

En redes árbol se permite el uso de Router ZigBee para interconectar los distintos nodos de la red. Así mismo, la comunicación en árbol es estrictamente jerárquica con lo que puede utilizar opcionalmente tramas balizas. Una falla de un nodo no implica la interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones. Los problemas asociados a este tipo de topología radican en que los datos son recibidos por todas las estaciones sin importar para quien vayan dirigidos. Por lo tanto es necesario dotar a la red de un mecanismo que permita identificar al destinatario de los mensajes. Además, debido a la presencia de un medio de transmisión compartido entre muchas estaciones, pueden producirse interferencias entre las señales cuando dos o más estaciones transmiten al mismo tiempo.

### **2.4.3 TOPOLOGÍA MALLA**

Consiste en que al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones. Con ello conseguimos que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. El establecimiento de una red de malla es una manera de encaminar datos, voz e instrucciones entre los nodos. Esta configuración ofrece caminos redundantes por toda la red, de modo que si falla un cable, otro se hará cargo del tráfico. Esta topología, a diferencia de las vistas en apartados anteriores, no requiere de un servidor o nodo central, con lo que se reduce el

mantenimiento. La red puede funcionar incluso cuando un nodo desaparece o la conexión falla, ya que el resto de nodos evitan el paso por ese punto. Consecuentemente, se forma una red muy confiable, por ello es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos, a consecuencia de este tipo de estructura no se pueden usar tramas balizas.



10 Figura 2.5 Topología Malla

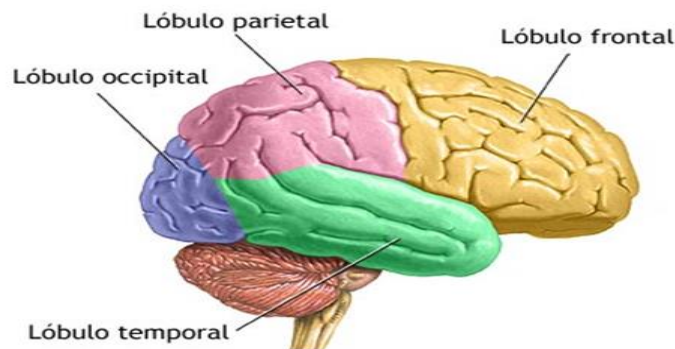
Al igual que en la topología en árbol, las redes en malla permiten el uso de Routers ZigBee para habilitar la comunicación en el nivel de red. Éstos no son Coordinadores. ZigBee, pero pueden serlo de sus respectivos espacios de operación personal definidos por 802.15.4.

## CAPÍTULO 3. ELECTROENCEFALOGRAMA (EEG)

La prueba de EEG (Electroencefalograma), se basa en la colocación de electrodos en la superficie del cerebro humano para obtener la señal cerebral, es decir, la diferencia de potencial entre electrodos, la frecuencia, entre otras características.

### 3.1 ENCÉFALO

El encéfalo es la masa nerviosa contenida dentro del cráneo. Está envuelta por las meninges, que son tres membranas llamadas: duramadre, piamadre y aracnoides. El encéfalo consta de tres partes más voluminosas: cerebro, cerebelo y tallo cerebral, y otras más pequeñas. En su interior hay ventrículos cerebrales llenos de líquido cefalorraquídeo.



11 Figura 3.1 Lóbulos cerebrales

En el cerebro se encuentran las funciones conscientes del sistema nervioso. Posee dos partes llamadas hemisferios que se relacionan con las partes opuestas del cuerpo. La superficie externa del hemisferio se conoce por córtex y en ella se recibe la información sensorial. Las capas más profundas están formadas por axones y núcleos de células.

Algunas de las fisuras más profundas, llamadas también surcos se utilizan como límites para dividir la corteza en ciertos lóbulos como se ve en la figura 3.1.

De esta manera físicamente nos es posible identificar de mejor manera en donde se encuentra cada lóbulo, algunos libros mencionan más divisiones en el encéfalo, pero en general se manejan estos cuatro lóbulos con sus propias características.

### **3.1.1 LÓBULOS CEREBRALES**

Los lóbulos son una manera de dividir al cerebro humano con el fin de identificar de mejor manera en que área de este se encuentran diversas funciones cerebrales.

- Lóbulo Parietal

Todas las entradas sensoriales somáticas (calor, frío, presión, tacto, etc.) llegan a una región de la superficie cortical justo por detrás del surco central, abarcando la parte frontal del lóbulo parietal.

- Lóbulo Frontal

Justo delante del surco central está el lóbulo frontal, donde se encuentran las principales neuronas motoras que van a los distintos músculos del cuerpo. Las neuronas motoras también están distribuidas en la superficie de la corteza de una forma similar a las neuronas sensitivas.

- Lóbulo Occipital

El lóbulo occipital está muy hacia atrás de la cabeza, sobre el cerebelo. El lóbulo occipital contiene la corteza visual donde se proyectan en una representación geográfica las formas obtenidas en la retina.

- Lóbulo Temporal

La entrada sensitiva auditiva se puede seguir hasta los lóbulo temporales de la corteza, situados justo por encima de los oídos. Las neuronas que responden a las distintas frecuencias de la entrada de sonido se encuentran dispersas por toda la región, estando situadas las frecuencias más altas hacia la parte delantera y las más bajas hacia la parte trasera.

### **3.1.2 FRECUENCIAS DE LAS SEÑALES CEREBRALES**

Cuando se realiza la prueba de electroencefalograma se tiene que prestar mucha atención en las frecuencias que estas se presenten, dichas frecuencias se presentan a continuación y son conocidas como Ritmos cerebrales, las cuales se dividen según sus valores.

- Ritmo Delta, “Onda del sueño”

Este ritmo suele aparecer en estados de sueño profundo, su amplitud varía de los  $20\mu\text{V}$  a  $200\mu\text{V}$  y su rango de frecuencias está entre 0.5 Hz y 3.5 Hz.

- Ritmo Theta.

Se presenta generalmente con la activación del lóbulo temporal, su banda de frecuencia está entre los 4 y 8 Hz, y su amplitud varía entre los  $20\mu\text{V}$  y  $100\mu\text{V}$ , y a pesar de tener otras explicaciones este ritmo se suele presentar frecuentemente en niños o en adultos que se encuentran sometidos a altos niveles de estrés.

- Ritmo Alfa.

Este ritmo corresponde al estado de relajación, en donde la persona tiene poca actividad mental o se encuentra con los ojos cerrados, este ritmo se atenúa cuando la persona inicia una actividad como el Yoga. Las señales asociadas a este ritmo presentan una amplitud entre  $20\mu\text{V}$  y  $60\mu\text{V}$ , la fuente principal de estas señales se encuentran en la región occipital del cerebro.

- Ritmo Beta.

Su amplitud se encuentra en el rango entre los  $2\mu\text{V}$  y  $20\mu\text{V}$ , y su frecuencia está entre los 14 Hz y 26 Hz, está vinculado principalmente con los movimientos de extremidades y actividades musculares, pero también puede asociarse a un estado mental de concentración por parte de la persona y se puede encontrar principalmente en la región frontal y central del cerebro.

- Ritmo Gamma

Son las frecuencias superiores a 30 Hz, suelen tener la frecuencia más alta y la amplitud más baja, y se relacionan con actividades cerebrales intensas.

### 3.1.3 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO FISE (10-20)

Se denomina sistema de posicionamiento 10-20 ya que los electrodos están espaciados entre el 10% y el 20% de la distancia total entre puntos reconocibles del cráneo. Estos puntos clave, a partir de los cuales se realizan las medidas, las cuales son:

- Nasión indentación entre frente y nariz.
- Inión; protuberancia occipital.
- Punto preauricular; delante del trago de cada pabellón de la oreja.

Actualmente se utilizan unos gorros que llevan incorporados 19 electrodos, y se coloca directamente sobre la cabeza del paciente. Mediante una jeringa y una aguja con punta roma, se introduce en cada uno de los electrodos un gel conductor que facilita la recepción de la señal a través del cuero cabelludo. Los electrodos se unen en un conector y éste, a su vez, conecta con el cabezal del EEG (lugar donde se recoge la actividad eléctrica de cada electrodo). De aquí se envía la señal al sistema de amplificadores del aparato central del EEG para su transcripción.

Existe una nomenclatura de los electrodos, que obedece a la región cerebral sobre la que yacen, y una numeración que va de menor a mayor, empezando desde áreas anteriores hacia posteriores y, correspondiendo los números impares al lado izquierdo y los pares al derecho.

Identificador del Electrodo	Lóbulo
F	Frontal
T	Temporal
C	Central
P	Parietal
O	Occipital

2 Tabla 3.1 Nomenclatura de los electrodos en un EEG

Más adelante se mostrara el esquema con el cual se realizó la prueba real de EEG para nuestro estudio, al mismo tiempo de que es la misma que se propone para nuestra WBAN.

### 3.1.4 TIPOS DE ELEMENTOS PARA PRUEBAS DE EEG

Es importante saber diferenciar entre electrodo, derivación, y montaje. Electrodo: elemento situado en el punto de registro, (de cucharilla o de aguja), y el hilo metálico que lo une al aparato amplificador.

- Derivación: los dos electrodos que se conectan a cada canal de amplificación.
- Montaje: conjunto de derivaciones. Se utilizan 2 tipos de montajes: bipolares y monopolares o referenciales.
- Montaje bipolar: en el canal de amplificación, tanto el electrodo situado en posición 1 como el situado en posición 2, registran actividad cerebral y la diferencia entre los dos puntos. Es lo que va al amplificador para su registro. Pueden ser de 2 tipos: antero-posteriores (Sagitales) o transversos (Coronales).
- Montaje monopolar: los electrodos exploradores ocupan la posición 1 del amplificador, mientras que la posición 2 está ocupada por un electrodo relativamente inactivo o que sea común para todos los canales.

Existen unas reglas convencionales dentro de la electroencefalografía para la elaboración de un registro de EEG que son:

1. Los montajes deben de ser tan simples como sea posible. Se programan siguiendo 2 reglas internacionales: siempre de áreas anteriores hacia posteriores, y primero el lado izquierdo y luego el derecho.
2. Se utilizan 2 montajes bipolares (uno antero-posterior y otro transversal), y un montaje monopolar o referencial, donde cada electrodo es referido a un punto único para todos y que es considerado neutro.
3. Debe sujetarse al sistema 10-20 para su correcta interpretación.

### **3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE EEG**

Para poder estudiar las señales del cerebro humano que son dadas mediante una prueba de electroencefalograma es necesario tener las bases de Teoría Estadística que describan a este tipo de señales.

La estadística dice que al conjunto de valores o magnitudes que varían dentro del espacio muestra o del espacio tiempo posibles de un proceso se denomina proceso estocástico o aleatorio, en este caso las señales del cerebro humano que se analizaron para determinar si existe anomalías como lo es el de una persona que presente una convulsión pertenecen a las señales del tipo estocástico



### 3.2.1 PROCESO ESTOCÁSTICO.

Un proceso Estocástico o Aleatorio se denota por  $\mathbf{X}(t)$ , la cual representa una realización de un conjunto de funciones muestra  $X_j(t)$  para  $j = 1, 2, \dots, n$ . La señal aleatoria  $X_1(t)$  tiene una probabilidad de ocurrencia  $P(S_1)$  que corresponde al punto muestra  $S_1$  del espacio muestral  $S$ . El conjunto de todas las funciones con sus probabilidades asociadas representa a la señal aleatoria, del mismo modo, se puede decir que para el resto de funciones  $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$ .

Para el caso de variables aleatorias el resultado del experimento es un número real, mientras que para el caso de procesos aleatorios, el resultado del experimento es una función del tiempo.

Por definición el proceso estocástico  $\mathbf{X}(t)$  implica la existencias de infinitas variables aleatorias no contables para cada instante del tiempo fijo en el intervalo  $-\infty < t < \infty$ .

### 3.2.2 ESTACIONARIDAD

Si consideramos los instantes de tiempo fijos  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , en un proceso estocástico  $\mathbf{X}(t)$ , una caracterización completa del proceso estocástico nos permitiría conocer la función de densidad de probabilidad conjunta  $f_{\vec{x}(t)}(\vec{x})$ . El proceso estocástico  $\mathbf{X}(t)$ , se dice que es estacionario en el sentido estricto si la *fdp* conjunta es invariante bajo el desplazamiento del origen del tiempo y para cualquier desplazamiento temporal  $T$ , es decir, se cumple la siguiente expresión.

$$f_{\vec{x}(t)}(\vec{x}) = f_{x(t+T)}(\vec{x})$$

Es muy importante considerar si un proceso estocástico es estacionario, principalmente por las siguientes razones

1. Estos procesos se presentan muy a menudo en la práctica, ya sea de forma exacta o aproximada. En general si se considera la estacionaridad en el sentido amplio, entonces no es necesario que el proceso sea estacionario dentro del intervalo de observación que va desde  $-\infty < t < \infty$ , sino solo dentro de un intervalo particular de observación.

2. Muchas de las propiedades estadísticas de los procesos aleatorios se pueden encontrar a partir de los momentos iniciales y centrales de primer y segundo orden.

Por lo tanto, es fácil desarrollar una teoría simple pero útil para este tipo de procesos

Los procesos que no cumplen con la expresión anterior ya sea en cualquier instante del tiempo fijo, o para cualquier desplazamiento temporal  $T$ , entonces se dice que el proceso es no estacionario.

### 3.2.3 DESCRIPCIÓN PARCIAL DE UN PROCESO ESTOCÁSTICO.

En muchas ocasiones no es posible determinar la distribución de probabilidad de un proceso estocástico. Nos tenemos que conformar con una descripción parcial de la distribución del proceso, es decir, la media, la correlación y la covarianza, nos permite describir a grandes rasgos al proceso estocástico.

- La media

Sea un proceso estocástico real  $\mathbf{X}(t)$ . Se define la media como una función determinística del tiempo, dada por la siguiente expresión.

$$m_{x(t_k)} = E[X(t_k)]$$

Donde  $E$  es el operador de la Esperanza Matemática y  $X(t_k)$  es la variable aleatoria obtenida para observar el proceso estocástico en el instante  $t = t_k$ . Si la *fdp* de  $X(t_k)$  es  $f_x(t_k)(x)$ , entonces la media se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$m_x(t_k) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(t_k)(x) dx$$

- La autocorrelación

Se define la función de autocorrelación del proceso estocástico  $\mathbf{X}(t)$  como una función de dos variables temporales  $t_k$  y  $t_i$  dada por la siguiente formula.

$$C_x(t_k, t_i) = E [X(t_k)X(t_i)] = \iint_{-\infty}^{\infty} xy f_{x(t_k),x(t_i)}(x, y) dx dy$$

En el caso en que  $t_k = t_i$ , entonces lo que se obtiene es el valor cuadrático medio del proceso estocástico, la cual es una función de una variable temporal definida por la siguiente fórmula.

$$C_x(t_k, t_i) = E [X(t_k)X(t_i)] = E [X^2(t_k)] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f_{x(t_k)}(x) dx$$

- La autocovarianza

Se define la función de autocovarianza de un proceso estocástico, como una función de dos variables temporales expresadas por la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned} K_x(t_k, t_i) &= E [(x(t_k) - m_x(t_k)) (x(t_i) - m_x(t_i))] \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} (x - m_x(t_k))(y - m_x(t_i)) f_{x(t_k)}(x) f_{x(t_i)}(y) dx dy \end{aligned}$$

En el caso  $t_k = t_i$ , entonces lo que se tiene es la varianza del proceso estocástico, como función de una variable temporal.

$$\begin{aligned} Var [X(t_k), X(t_i)] &= \sigma^2(t_k) = E [(x(t_k) - m_x(t_k))^2] = \\ &= \iint_{-\infty}^{\infty} (x - m_x(t_k))^2 f_{x(t_k)}(x) dx \end{aligned}$$

En base a lo anterior sabemos que existen algunas relaciones entre funciones, tal y como se observan en la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} K_x(t_k, t_i) &= C_x(t_k, t_i) - m_x(t_k) m_x(t_i) \\ &= E [x(t_k, t_i)] - E [x(t_k) m_x(t_i)] - E [x(t_i) m_x(t_k)] + m_x(t_k) m_x(t_i) \end{aligned}$$

Por ende tenemos que:

$$Var(t_k) = E[(x(t_k) - m_x(t_k))^2] = E[x^2(t_k)] - 2E[x(t_k) m_x(t_k)] + m_x^2(t_k)$$

$$\sigma^2(t_k) = E[x^2(t_k)] - m_x^2(t_k)$$

$$\text{Si } m_x(t_k) = 0 \therefore \sigma^2(t_k) = E[x^2(t_k)]$$

### 3.2.4 ESTACIONARIDAD EN EL SENTIDO ESTRICTO.

Para el caso de un proceso estacionario en el sentido estricto, las expresiones anteriores tienden a simplificarse, por ejemplo, la media ya no sería una función que depende del estado del tiempo, sino se considera como una constante y quedara definida de la siguiente forma.

$$m_x(t_k) = m_x \forall t$$

La función de autocorrelación solo se define como la diferencia de tiempos  $\mathbb{T} = t_k - t_i$ , y está representada de la siguiente forma.

$$C_x(t_k, t_i) = C_x(t_k - t_i) = C_x(\mathbb{T})$$

Para la autocovarianza también se consideran únicamente la diferencia de tiempos en base a  $\mathbb{T}$ , y queda expresada mediante:

$$k_x(t_k, t_i) = C_x(t_k - t_i)K_x(\mathbb{T})$$

Las tres condiciones anteriores son necesarias pero no suficientes para que un proceso estocástico sea estacionario en el sentido estricto. Para un proceso que cumple con lo anterior pero que no es estacionario en el sentido estricto entonces se dice que es estacionario en el sentido amplio.

### 3.2.5 ESTACIONARIDAD EN EL SENTIDO AMPLIO.

La estacionaridad en el sentido amplio es una condición más débil que la estacionaridad en el sentido estricto. Un proceso estacionario en el sentido estricto lo es también en el sentido amplio pero no se cumple para el caso contrario.

Para procesos estacionarios en el sentido amplio se puede considerar la autocorrelacion y la autocovarianza mediante las siguientes expresiones.

$$R_x(\tau) = E[x(t + \tau) x(t)] = E[x(t)x(t - \tau)]$$

$$k_x(\tau) = E[(x(t + \tau) - m_x)(x(t) - m_x)] = E[(x(t) - m_x)(x(t - \tau) - m_x)]$$

Partiendo de lo anterior, para procesos estacionarios también se simplifican las relaciones que existen entre ellos, tal y como se muestran a continuación.

$$K_x(\tau) = R_x(\tau) - m_x^2$$

$$\text{Si } m_x = 0 \therefore K_x(\tau) = R_x(\tau)$$

$$\sigma_x^2 = E[x^2] - m_x^2$$

$$\text{Si } m_x = 0 \therefore \sigma_x^2 = E[x^2]$$

Para procesos estacionarios en el sentido amplio, la función de autocorrelación tiene las siguientes propiedades:

- El valor cuadrático medio del proceso es una constante que no depende del instante considerado y solo depende del valor de la autocorrelación en el origen. El valor cuadrático medio representa la potencia media de corriente directa de la señal.

$$E[x^2] = R_x(0)$$

- La función de autocorrelación es una función par por lo tanto esta representada de la siguiente forma.

$$R_x(\tau) = R_x(-\tau)$$

- La función de autocorrelación esta acotada con respecto a su valor en el origen.

$$R_x(0) \geq |R_x(\tau)|$$

De manera similar la función de autocovarianza para procesos estacionarios en el sentido amplio presenta las siguientes propiedades.

- La varianza es una constante que no depende del instante considerado, sino que depende solo del valor de la autocovarianza en el origen.

$$\sigma_x^2 = K_x(0)$$

- La función de autocovarianza es una función par.

$$K_x(\tau) = K_x(-\tau)$$

- La función de autocovarianza va a estar acotada por la varianza del proceso.

$$\sigma^2_x = K_x(t = 0) \geq |K_x(\tau)|$$

### 3.3 SEÑALES REALES DE EEG PARA LA WBAN EMERGENCY

Ya se ha mencionado que la norma FISE 10-20 es la propuesta para la ubicación de nuestros nodos sensores, sin embargo es necesario mostrar las señales extraídas dentro de la red y en base a este capítulo proponer que sensores serán analizados para los eventos de epilepsia y muerte cerebral.

Ahora bien, es importante mencionar que estas señales fueron extraídas mediante el Hardware y Software EMOTIV EPOC, aunque este dispositivo no cumple con todas las normas para una prueba de un EEG oficial, nos es de gran ayuda para fines de investigación en el ámbito académico. Dicha prueba está basada en una diadema a base de sensores que tienen su ubicación en base a la FISE 10-20, y donde la señal se manda vía bluetooth, esta diadema se muestra a continuación.

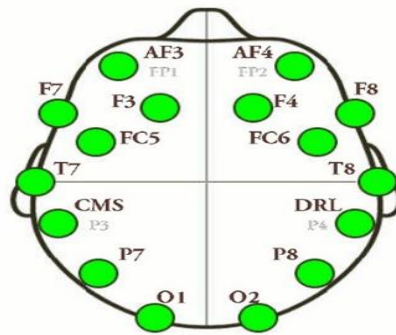


12 Figura 3.2 Diadema Emotiv EPOC en base a FISE 10-20

Con esta diadema y su software fue posible generar un archivo .csv, el cual mediante un programa en MATLAB nos permitió observar las señales en crudo de cada nodo dentro de nuestra red WBAN.

### 3.3.1 ESQUEMA DE ELECTRODOS DE LA WBAN

Los electrodos para la prueba de EEG, como ya se mencionó, son a base de una cierta nomenclatura, pero la cantidad de nodo sensores puede variar según el tipo de precisión o información que se requiera según el médico. En este caso se ha hecho uso de un total de 14 electrodos junto con sus dos referencias, este esquema a continuación se muestra.

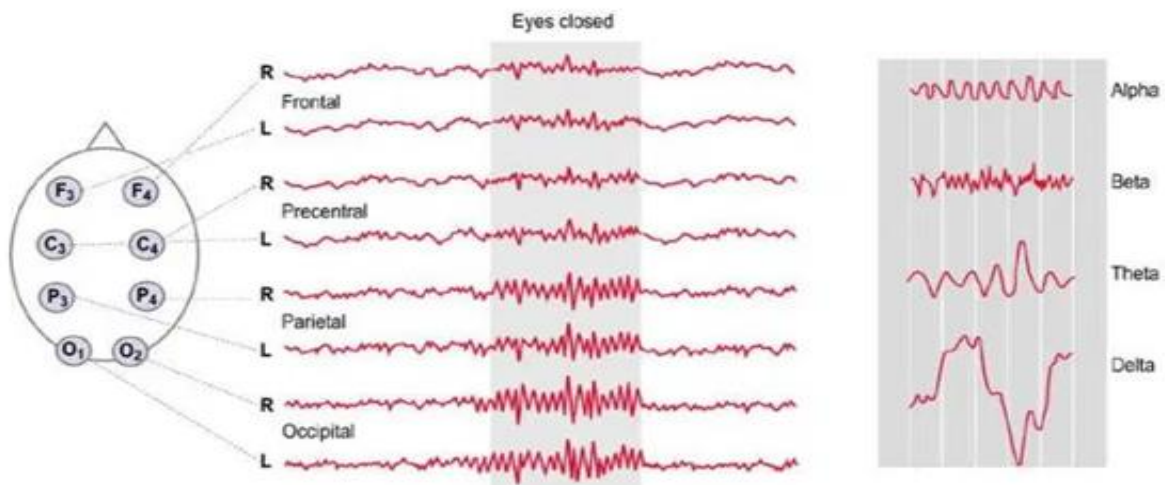


13 Figura 3.3 Esquema de nodos para la WBAN

En base a este esquema se extrajeron las señales reales para nuestro análisis de la actividad cerebral, a continuación se muestran y se describen algunas de estas señales.

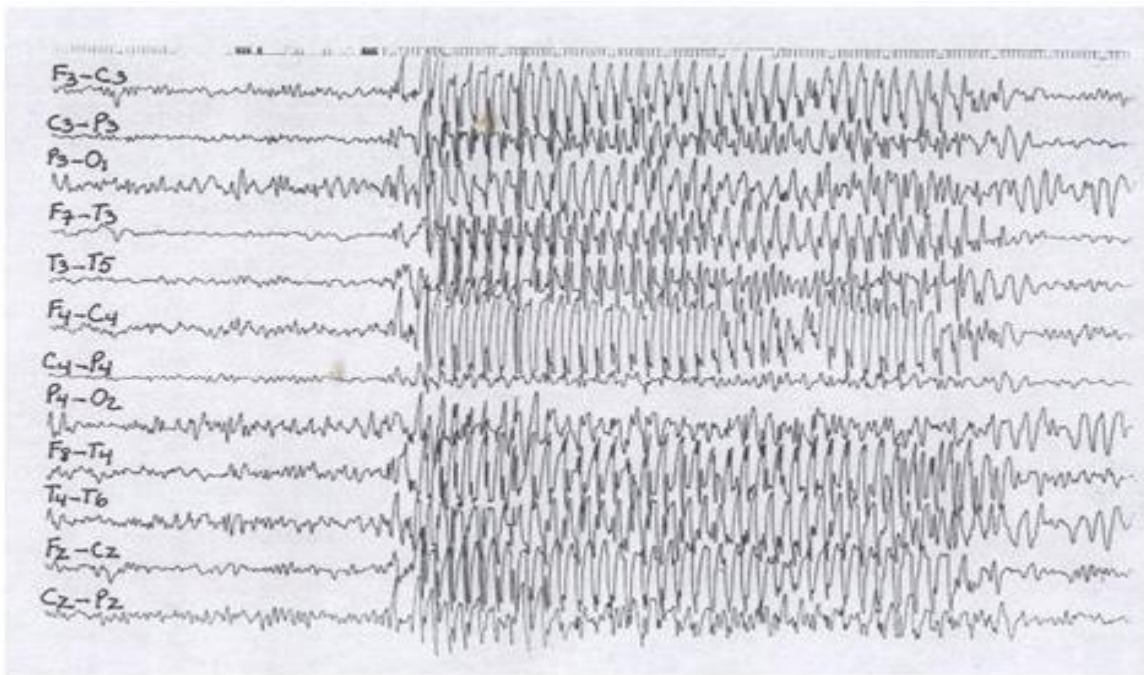
### 3.3.2 SEÑALES DE EEG

Antes de mostrar las pruebas de EEG que fueron realizadas específicamente para este trabajo por medio del Hardware Emotiv, se muestran actividades cerebrales extraídas por médicos profesionales mediante esta prueba.



14 Figura 3.4 Prueba de EEG en reposo con el paciente cerrando ojos

Como se puede observar en la figura anterior, la prueba de EEG muestra un cambio en las características cuando el paciente cierra los ojos, podemos notar que en cierto sentido al principio de la prueba (en cualquiera de los electrodos) se puede observar una señal estocástica que bien podríamos decir que a simple vista se vuelve no estacionaria justamente cuando el paciente realiza alguna acción con los ojos. En este caso, solo han sido los ojos los que han hecho el movimiento, teniendo como resultado esta reacción de la señal, entonces bien podría asumirse que una convulsión traería consigo cambios aún más significativos, viendo la siguiente figura podremos corroborarlo.



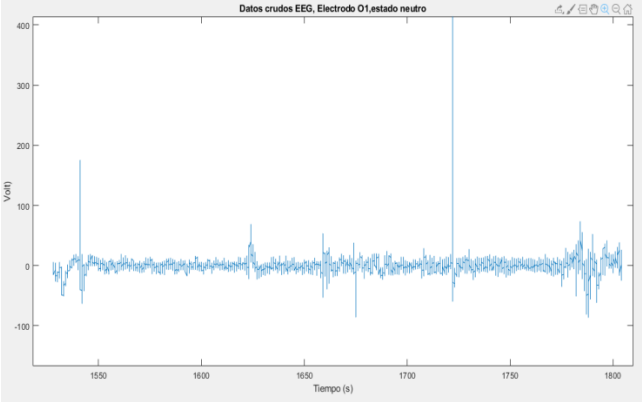
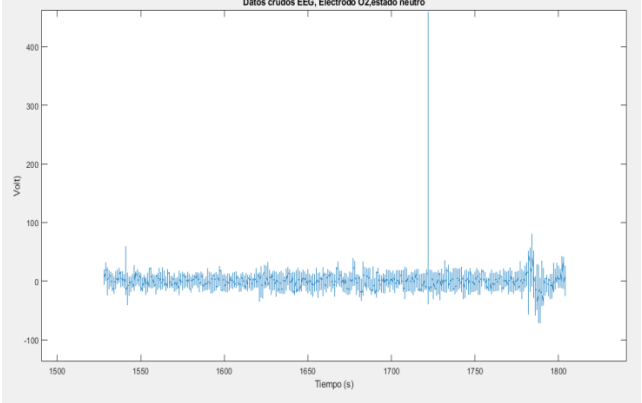
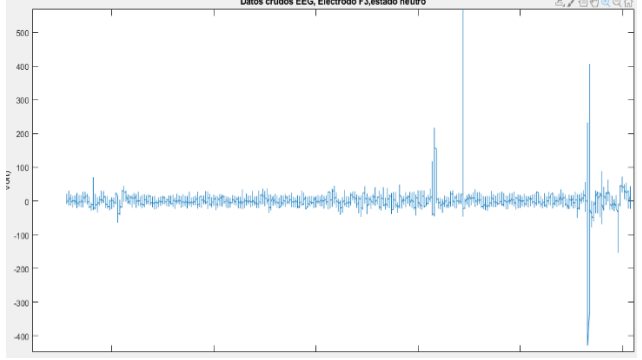
15 Figura 3.5 Actividad cerebral de niño de seis años de edad con crisis de ausencia.

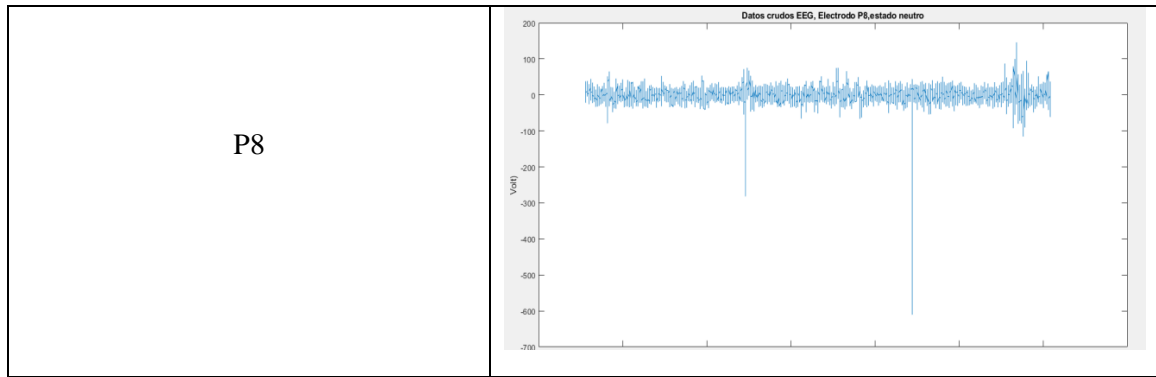
Como lo dice la descripción, el paciente presenta crisis de ausencia, es decir, no presenta una convulsión, mas si un estado pre la convulsión. Aún así la actividad cerebral se ha disparado aún más que en nuestro caso anterior. Queda buscar un algoritmo que diferencie el estado normal en reposo de uno anormal. Estudiando estas señales por medio de la Teoría Estadística y el Procesamiento Digital de Señales podríamos llegar a obtener conclusiones más sólidas en un futuro, como diferenciar los movimientos musculares al de un ataque convulsivo.



### 3.3.3 SEÑALES EN CRUDO DE LOS NODOS SENSORES.

El programa en MATLAB nos permite ver la señal de la actividad del cerebro humano, pero nos fue de gran ayuda que es posible observar dicha actividad nodo por nodo, a continuación se presentan algunos de los más importantes.

Nodo	Actividad Cerebral
O1	 A line graph titled "Datos crudos EEG, Electrodo O1,estado neutro". The y-axis is labeled "Volt" and ranges from -100 to 400. The x-axis is labeled "Tiempo (s)" and ranges from 1500 to 1800. The plot shows a noisy signal around 0V with a prominent spike reaching approximately 400V at around 1730s.
O2	 A line graph titled "Datos crudos EEG, Electrodo O2,estado neutro". The y-axis is labeled "Volt" and ranges from -100 to 400. The x-axis is labeled "Tiempo (s)" and ranges from 1500 to 1800. The plot shows a noisy signal around 0V with a prominent spike reaching approximately 400V at around 1730s.
F3	 A line graph titled "Datos crudos EEG, Electrodo F3,estado neutro". The y-axis is labeled "Volt" and ranges from -400 to 500. The x-axis is labeled "Tiempo (s)" and ranges from 1500 to 1800. The plot shows a noisy signal around 0V with several spikes, the highest reaching approximately 500V at around 1730s.



3 Tabla 3.2 Señales de la actividad cerebral de los nodos 01, 02 F3 y P8

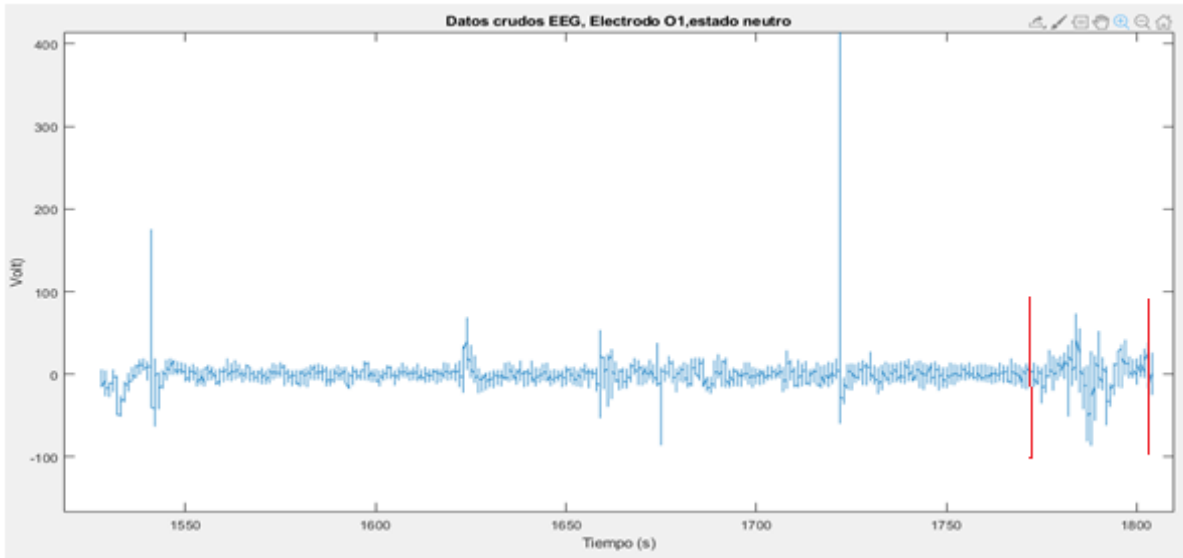
En la tabla anterior se observa la actividad cerebral en cuatro nodo sensores distintos, dicha actividad presenta los resultados en crudo sin ningún tipo de procesamiento y con el cual se trabajara un análisis parcial, así como uno mediante un algoritmo, cabe decir que por observación se puede deducir en que momento se presenta una actividad anormal o distinta de la actividad promedio de esta prueba, a continuación se detalla más de los resultados de este Electroencefalograma para efectos de poder facilitar los más posible un análisis.

### 3.3.4 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE EEG PARA LA WBAN

La prueba de Electroencefalograma fue una prueba real, la cual duro aproximadamente 29 minutos y consistió básicamente en

1. Los primeros 15 minutos se estuvo en un estado de reposo.
2. Los siguientes 5 minutos se movieron ojos y boca
3. Los siguientes 5 minutos se volvió a un estado en reposo
4. Los siguientes 4 minutos se estuvo en un estado en reposo escuchando una canción con una diadema bluetooth.
5. En el último minuto se movieron brazos y piernas

A continuación se muestra más a detalle y con acotaciones los resultados de la prueba de electroencefalograma por medio de la siguiente figura.



16 Figura 3.6 Actividad cerebral en el nodo O1

En la figura anterior se puede observar cómo es que en los últimos segundos de la prueba, acotada por dos líneas rojas, la actividad tiende a tener una forma más anormal en comparación al promedio de la prueba, es decir, recordemos que este trabajo está orientado a que la actividad en la red sea llevada a cabo durante la noche o el descanso de los pacientes, lo que significaría que esta señal podría tratarse de la convulsión del enfermo, siendo así, el mensaje de alerta será enviado, aunque bien podrían ser movimientos naturales durante la noche. De aquí que la teoría estadística sea importante para que en algún momento podamos diferenciar un estado epiléptico con una convulsión al de un movimiento muscular.

### 3.4 PROPUESTA PARA DETECCIÓN DE EVENTOS CEREBRALES

Antes de activar el funcionamiento de la Red de Área Corporal, es necesario primero proponer un algoritmo que detecte, ya sea cuando el paciente este convulsionando o cuando esté presente muerte cerebral. Por ello se ha propuesto el uso del Algoritmo “Complejidad Lempel Ziv”, cabe mencionar que este algoritmo deberá usarse en forma individual en cada nodo sensor, esto para medir el número de complejidad en la actividad cerebral registrada por cada sensor. Podría pensarse que el hecho de utilizar este algoritmo por cada nodo sensor resultaría un sistema caro, sin embargo en los últimos años se ha estado trabajando con nodos Zigbee los cuales llegan a tener un tamaño pequeño con su propia parte

inteligente y además estos pueden llegar a tener costos realmente bajos. Decir que el algoritmo es exactamente el mismo en cada nodo sensor.

### **3.4.1 COMPLEJIDAD DE LEMPEL ZIV**

Para esto podríamos describir a la Complejidad de Lempel Ziv [LZ], como un método que logra dimensionar estadísticamente las interacciones neuronales a través del análisis de señales cerebrales. Este método no depende de si la señal a analizar ha sido generada por un proceso aleatorio o determinista, en que se obtiene siempre el mismo resultado bajo las mismas condiciones iniciales y contiene la noción de complejidad en el sentido estadístico del termino (entropía de Shannon), así como en el determinista (complejidad de Kolmogorov) Cabe destacar por tanto, que el factor que objetivamente produce una elevación e los valores de complejidad LZ es el número de componentes en frecuencia que tiene la señal. Esto es, cuantos más cambios de patrones de frecuencia haya en un registro dado de actividad cerebral, este presentara valores más altos de complejidad LZ.

Si la actividad se mantiene estable o sincronizada en una determinada frecuencia, ta sea (Alpha, theta, beta, gamma etc.) los valores de complejidad disminuirán significativamente. Esto siendo aplicativo en el estudio de la actividad cerebral. Su importancia por tanto radica en que una dinámica de oscilación de las señales alteradas, podría servir como marcador biológico de anormalidades cerebrales como la epilepsia.

### **3.4.2 PREMISAS DEL MÉTODO DE COMPLEJIDAD DE LEMPEL ZIV**

El análisis de la complejidad de LZ se basa en la transformación de la señal cerebral en una secuencia P formada por un número finito de símbolos. Esta secuencia **P** se examina de izquierda a derecha, y un contador **C(n)**, se incrementa en una unidad cada vez que se encuentra una nueva subsecuencia de caracteres consecutivos.

Este contador refleja la tasa de aparición de nuevos patrones a lo largo de la secuencia P. Por lo tanto antes de calcular **C(n)**, la señal cerebral tiene que convertirse en esa secuencia de símbolos.

Diversos estudios han mostrado que una conversión binaria [0 – 1] puede ser suficiente para caracterizar la señal.

La mediana se selecciona como umbral  $Td$  y la secuencia  $P = S(1), S(2), S(n)$  se obtiene comparando cada muestra de la señal con el umbral.

$$S(i) \begin{cases} 0 & \text{si } x(i) < Td \\ 1 & \text{si } x(i) \geq Td \end{cases}$$

Con el objetivo de obtener una medida de complejidad independiente de la longitud de la secuencia  $P$

### 3.4.3 MÉTODO DE COMPLEJIDAD LEMPEL ZIV

Una vez que se cambia la señal cerebral a los símbolos propuestos, teniendo así la secuencia de símbolos  $P$ , se ejecuta el siguiente método.

1. Sean  $S$  y  $Q$  dos secuencias de  $P$  y sea  $SQ$  la unión de  $S$  y  $Q$ . La secuencia  $SQ\pi$  se obtiene a partir de  $SQ$  eliminando su último carácter. Sea  $v(SQ\pi)$  el vocabulario de todas las diferentes secuencias de  $SQ\pi$ .
2. En el caso general,  $S = s(1), s(2), \dots, s(r)$ ,  $Q = s(r+1)$  y  $SQ\pi = s(1), s(2), \dots, s(r)$ ; si  $Q$  pertenece a  $v(SQ\pi)$ , entonces  $Q$  es una subsecuencia de  $SQ\pi$ , no una nueva secuencia.
3. Se actualiza  $Q$  a  $s(r+1), s(r+2)$  y se analiza si  $Q$  pertenece a  $v(SQ\pi)$ ,
4. Los pasos anteriores se repiten hasta que  $Q$  no pertenezca al diccionario de secuencias  $v(SQ\pi)$ . Entonces, siendo así el contador  $C(n)$  incrementa en una unidad
5. Tras ello vuelven a actualizarse los valores de  $S$  y  $Q$ , y el procedimiento vuelve a realizarse hasta que  $Q$  sea el último carácter de  $P$ .

Como ya sea había comentado, el hecho de que nuestro contador se incremente significaría la aparición de nuevos patrones, por ende y recordando las condiciones que presenta este estudio, el incremento de complejidad significaría un evento convulsivo o, una complejidad baja significaría la muerte cerebral.

## CAPÍTULO 4. PROPUESTA Y PRUEBAS DE LA RED

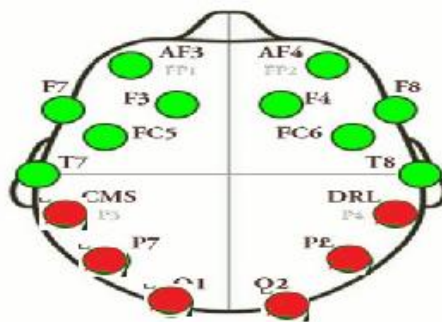
En este capítulo se presenta la propuesta de la red WBAN en base a las características de Zigbee, además se presentan las pruebas a nivel red para arrojar datos y resultados que ayuden a realizar una aplicación para pacientes con epilepsia y pacientes con riesgo a presentar muerte cerebral.

### 4.1 NODOS PRINCIPALES PARA LA WBAN EMERGENCIA

En el capítulo 3 se pudieron observar las señales para cada nodo sensor de acuerdo a su ubicación sobre la superficie de la cabeza del paciente de acuerdo a la norma FISE 10-20, pero para optimizar los procesos de comunicación se ha propuesto tener en cuenta a aquellos nodos que se involucren más con nuestros dos tipos de problemas médicos. Esto con el fin de evitar una colisión ya que es posible que en la comunicación de tantos sensores se provoque está y así obtener una mejor toma de decisión por parte del servidor personal. Principalmente para que nuestro mensaje no tenga problemas al momento tanto de transmitirse como de recibirse. Dicha propuesta es la siguiente.

#### 4.1.1 NODOS SENSORES (EPILEPSIA)

De acuerdo al tipo de frecuencias que registra el ritmo Beta, el cual se presenta en movimientos musculares como el de alguna extremidad, se propone sean específicos sensores los que realicen la extracción de la señal para los pacientes que tengan epilepsia con riesgo a presentar como síntoma la convulsión. Dicho ritmo se presenta en la zona frontal y central del cerebro humano, por lo que en la siguiente figura se muestran los sensores que fungirán como los que monitorearan al paciente en caso de la convulsión.



17 Figura 4.1 Nodo-Sensores para monitoreo de crisis convulsiva

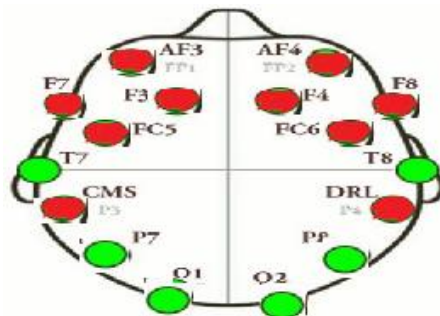
Como puede observarse, los nodos-sensores en color verde son los que se tomarán en cuenta para realizar el monitoreo cuando una convulsión este presente, claro está que como ya se mencionó los nodos T7 y T8 son las referencias.

El especificar estos nodos para el monitoreo de este evento en si nos traería facilidad para que en caso de perder un nodo sensor fuera de la zona central y frontal, la red pueda seguir funcionando de forma adecuada.

Cabe mencionar que esta red esta propuesta en un principio cuando los pacientes se encuentren en descanso, generalmente para que funcione por la noche, con la finalidad de facilitar el monitoreo y no confundir el movimiento normal de nuestras actividades diarias con el de una convulsión real.

#### 4.1.2 NODOS SENSORES (MUERTE CEREBRAL)

Recordemos que el ritmo Alfa es aquel que se presenta cuando los pacientes tienen poca actividad mental, adecuado para pacientes que están en riesgo a presentar muerte cerebral como aquellos que sufren quemaduras graves. Dicha actividad se presenta en la zona occipital del cerebro humano y a continuación se presenta la propuesta de los nodos a tomar en cuenta para el monitoreo de este evento.



18 Figura 4.2 Nodo-Sensores para el monitoreo en caso de muerte cerebral

De igual manera se observa en color verde los nodo-sensores propuestos para el monitoreo en la zona occipital del cerebro, de esta manera será más fácil determinar cuando el paciente esté a punto de sufrir muerte cerebral y así enviar la notificación de este evento.

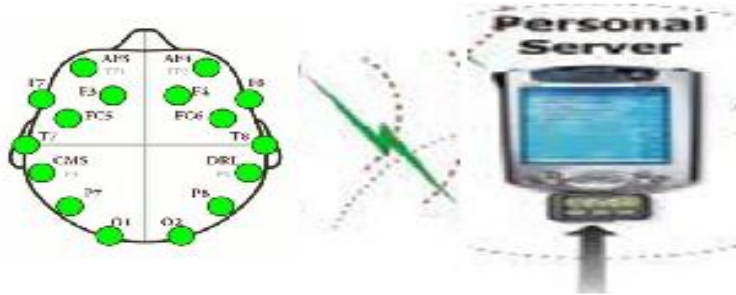
## 4.2 TOPOLOGÍA EN LA RED WBAN EMERGENCIA.

Una topología de red adecuada para nuestra WBAN ayudara a varios factores importantes, entre ellas la durabilidad en energía o batería de nuestros nodos-sensores, la garantía de la entrega de nuestra notificación, la simplicidad tanto lógica como en hardware de dicha red. Recordando la finalidad de la red, la cual es la notificación hacia un servidor, como lo sería el teléfono celular del familiar del enfermo, se debe encontrar la topología adecuada, además de esto, el hecho de saber que el análisis en la señal del cerebro es independiente en cada nodo-sensor para la detección de los eventos convulsivos o de muerte cerebral y que no es necesario que entre los nodos se comuniquen entre ellos, con ello es más fácil acertar al tipo de topología a usar.

Debemos tener en cuenta que el tener una lógica menos compleja también implica tener dimensiones más pequeñas en el Hardware, dimensiones que con uso de una buena topología y modo de trabajo serán lo más pequeñas posibles acercándose a lo requerido por la 802.15.6

### 4.2.1 TOPOLOGÍA ESTRELLA PARA LA WBAN EMERGENCIA

La topología de red del tipo Estrella es la adecuada para que sea la implementada en nuestra WBAN, en la siguiente figura se muestra dicha topología en nuestra aplicación del tipo emergencia.



19 Figura 4.3 Topología estrella aplicada a las WBAN Emergencia

Básicamente en la figura podemos observar que el nodo que fungirá como coordinador será el mismo servidor personal, es decir, aquel dispositivo que reciba el mensaje de alerta, en el caso de los nodos esclavos, estos serán los mismos nodos-sensores los cuales solo tendrán



comunicación con el servidor personal, tal cual y lo indica los funcionamientos de una topología como la estrella y tal cual se requiere en este trabajo.

#### **4.2.2 RFD Y MODO CON BALIZAS PARA LA WBAN EMERGENCIA**

Ya se ha mencionado que el esquema de trabajo presentado (en estrella), trae consigo varias ventajas sobre usar las topologías en árbol o estrella, esto sustentado en la 802.15.4. Claro esta que esta ventaja es dependiendo en el tipo de aplicación que se quiera obtener, en este caso se ha hablado de que los nodos no necesitan comunicarse entre ellos, por ende hacer uso de RFD en base a lo explicado en 2.2.4 y también hacer uso del modo con balizas recordando que se recomienda usar como coordinador un dispositivo que haga uso de una buena batería como lo es un hace un teléfono celular, esto nos traerá optimización tanto física como lógica para nuestra WBAN del tipo emergencia y así cumplir con el desempeño que esta demanda.

#### **4.3 PROPUESTA PARA LA NOTIFICACIÓN DE EVENTOS DEL TIPO EMERGENCIA**

Se ha enfatizado que en este trabajo la finalidad es que las personas que estén sufriendo, ya sea un evento convulsivo o uno de muerte cerebral sean auxiliados por una persona, la cual será notificada mediante un mensaje que les alertara ipsofacto de la crisis que está sufriendo el paciente. En este caso hacer uso de un protocolo inalámbrico como Zigbee es bueno para la comunicación, pero en una aplicación como la 802.15.6 Emergencia tal vez no sea suficiente para asegurar que este mensaje llegue seguro s su destino, ya que todo lo ya planteado hasta ahora en este trabajo no tendría sentido si no se asegura la transmisión de este, ya que, recordar que el objetivo es notificar para la atención rápida de estos eventos, que, en el caso convulsivo, el objetivo asistir al enfermo para evitar que dicho evento llegue a más, o en el caso de la muerte cerebral, asegurar el trasplante de órganos en tiempo para la mejor condición de estos. Es verdad que Zigbee se basa principalmente en las capas superiores, específicamente en la de aplicación, pero el asegurar este mensaje tiene y debe que ser trabajado en la capa de transporte, por ello un protocolo orientado a conexión y que entre sus características tenga consigo la retransmisión de mensajes nos ayudara a conseguir el objetivo de este trabajo, es decir, asegurar la notificación que alerte de la emergencia, siendo asi TCP (Transmission Control Protocol, Protocolo de Control de

Transmision) el protocolo implementado en nuestra WBAN para poder conseguir dicho objetivo.

#### **4.3.1 SCAPY COMO HERRAMIENTA DE CREACIÓN DE TCP**

Scapy es una librería escrita en Python para manipular paquetes de datos con soporte a múltiples protocolos de red. Además permite la creación, incluso modificación de varios tipos de paquetes, a su vez es posible implementar funciones para capturar pasivamente paquetes (sniffing) y posteriormente ejecutar acciones sobre dichos paquetes.

Todos los paquetes en scapy siguen un modelo por capas, siguiendo así el modelo lógico de los paquetes de datos, de esta manera podemos ir implementando paso a paso nuestro paquete TCP, el cual nos ayudara a la retransmisión de nuestra notificación en caso de que esta por alguna razón no llegue a su destino.

Por último, Scapy permite enviar paquetes vía inalámbrica, lo cuales serán enviados mediante Zigbee, y a su vez probados para corroborar el correcto funcionamiento de esta implementación. El hecho de haber usado scapy también abre la posibilidad de que en trabajos futuros se adapten nuevos protocolos a este tipo de aplicaciones en las WBAN y así ir modificando poco a poco las funciones que hasta ahora se están proponiendo.

#### **4.3.2 IMPLEMENTACIÓN DE TCP MEDIANTE SCAPY**

Una vez entrando a Scapy, ya sea por CMD o alguna otra plataforma, se debe ejecutar el código correcto, a continuación se muestra paso a paso la implementación de nuestro protocolo con el payload de alerta, así como una breve explicación de dichos pasos.

1. Conocer la dirección IP origen y destino, en este caso la dirección origen sería la que se le asigne a cada nodo sensor de la red y la destino será la que se le asigne al servidor personal. Como prueba estas direcciones han sido tomadas desde una “computadora 1” la cual tiene el programa del algoritmo de detección de la señal cerebral, esta como la dirección origen y la “computadora 2” a la que se le quiere mandar la notificación del evento cerebral con la dirección destino:

***Dirección IP computadora 1 (Fuente): 192.168.15.10***

***Dirección IP computadora 2 (Destino): 192.168.15.12***

2. Desde Scapy, crear la parte de nuestro protocolo IP, el cual llevara estas direcciones origen/destino para poder direccionar el mensaje.

```
>>> c_IP=IP(dst="192.168.15.12",src="192.168.15.10")
```

3. Conocidos los puertos habilitados para el envío y recepción de nuestro protocolo TCP, declarar dichos puertos.

```
>>>c_TCP=TCP(dport=80,sport=20)
```

4. Establecer la carga o información que llevara nuestro paquete, es decir, la notificación del evento cerebral.

```
>>>payload=" Actividad Cerebral Anormal"
```

5. Ensamblar el paquete para crear nuestro protocolo TCP.

```
>>>pqt="c_IP/c_TCP/payload"
```

6. Enviar el paquete

```
>>>send(pqt)
```

A continuación se muestra en la siguiente figura como quedaría escrito el código desde el cmd.

```
C:\Users\BraulioHugo>scapy
INFO: Can't load Python libreadline or completer
INFO: No IPv6 support in kernel
WARNING: No route found for IPv6 destination :: (no default route?). This affects only IPv6
INFO: Please, report issues to https://github.com/phaethon/scapy
INFO: Can't import python cryptography lib. Won't be able to decrypt WEP.
INFO: Can't import python cryptography lib. Disabled IPsec encryption/authentication.
INFO: Can't import python cryptography. Disabled certificate manipulation tools
WARNING: IPython not available. Using standard Python shell instead.
Welcome to Scapy (3.0.0)
[ ]>>> [ ]c_IP=IP(dst="192.168.15.12",src="192.168.15.10")
[ ]>>> [ ]c_TCP=TCP(dport=80,sport=20)
[ ]>>> [ ]payload=" Actividad Cerebral Anormal"
[ ]>>> [ ]pqt="c_IP/c_TCP/payload"
[ ]>>> [ ]send(pqt)
WARNING: Mac address to reach destination not found. Using broadcast.
.
Sent 1 packets.
```

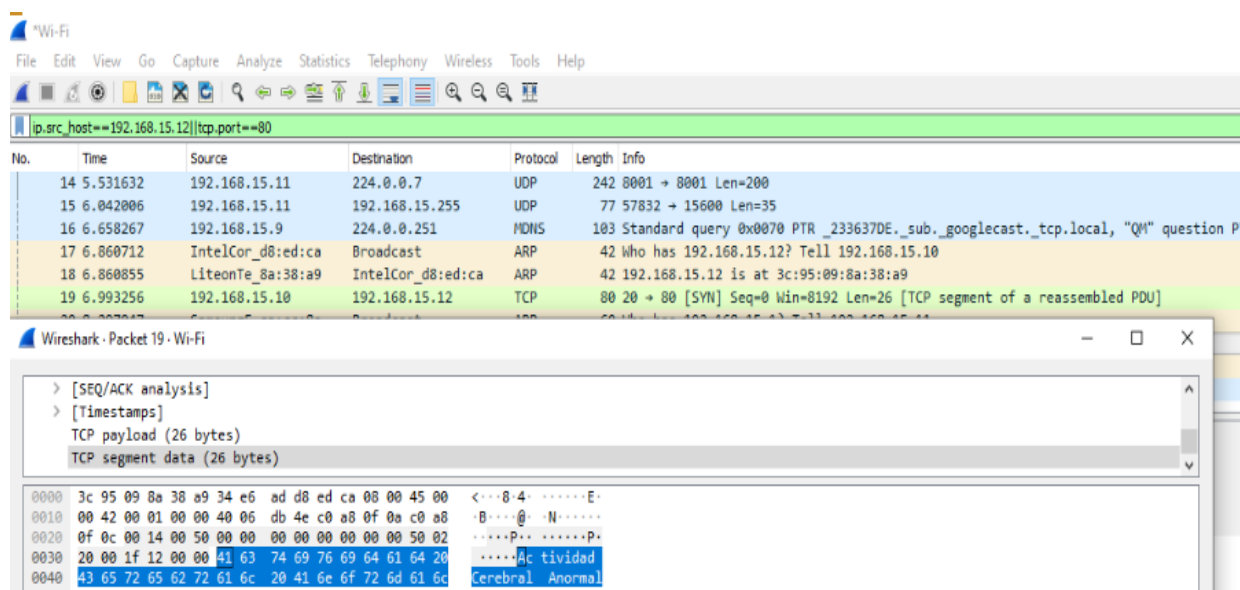
20 Figura 4.4 Creación del paquete TCP mediante Scapy

De igual manera se puede observar en la figura anterior que el paquete no solo fue creado sino enviado a su destino. Recordemos que el esquema de trabajo propuesto es en modo con balizas, de esta manera cada cierto periodo de tiempo los nodos se tienen que reportar

con el coordinador, esto lo hacen en un cierto periodo de tiempo programado por el coordinador, de esta manera podrán reportar periódicamente mensajes como “Actividad Cerebral en reposo” si la actividad cerebral se mantiene estable, inherente a esto, está el hecho de que por si mismo TCP tiene características de retransmisión lo que significa que en caso de que el paquete se pierda en el medio este se retransmitirá hasta llegar a su destino.

### 4.3.3 RECEPCIÓN DE LA ALERTA EN LA WBAN EMERGENCIA

Cabe mencionar que para comprobar la recepción del protocolo se puede observar mediante algún programa como wireshark, para así corroborar que se ha creado un verdadero protocolo de comunicación desde comando de línea, el cual es ideal para nuestra aplicación 802.15.6 Emergencia. De igual forma hacer hincapié en que estamos en el nivel 1 de nuestra WBAN “Intra-WBAN”. El paquete de transporte con el payload de alerta se puede observar en la siguiente imagen.



21 Figura 4.5 Paquete TCP creado desde Scapy en Wireshark

Decir que Wireshark es un analizador de tráfico de paquetes muy didáctico, por ello el poder ver a detalle, en este caso, al protocolo TCP y su Payload. Con esto se tiene la finalidad de esta Red WBAN del tipo Emergencia, es decir, la alerta de, ya sea la actividad anormal como el de una convulsión o el de la actividad cerebral en reposo.

## CONCLUSIONES

La red WBAN propuesta, si bien tiene algunas limitantes respecto a la detección de los eventos anormales como la convulsión por el método Lempel Ziv, ya que este método es más eficiente en la teoría de la codificación, tiene la eficacia que requiere la IEEE.802.15.6. El trabajar con Zigbee de la mano nos trajo beneficios que no con cualquier protocolo se podrían haber obtenido, además no se quedó hasta ahí el trabajo, sino que también no solo se propuso un protocolo confiable para llevar el mensaje final de alerta de la convulsión, sino que se creó, así, las aplicaciones futuras de estas redes en el ámbito de la medicina podrán utilizar cualquier otro protocolo, el que más convenga en su caso.

En general se cumplió con el objetivo del trabajo, dar los primeros pasos para retomar el estudio y creación de estas redes que podrán no solo ayudar a médicos y pacientes, sino a ayudar a problemas sociales y económicos, y en este caso se optó porque la mejor manera de empezar a retomar dichas redes seria con este trabajo de tesis enfocado a la Red Corporal Inalámbrica del tipo Emergencia.

## **TRABAJOS FUTUROS**

- Analizar mediante Procesamiento Digital de Señales la manera para detectar enfermedades y distinguirlas de entre la actividad normal diaria.
- Proponer protocolos de comunicaciones a nivel de transporte para distintas aplicaciones de WBAN
- Comparar WBAN con MHEALTH para analizar los beneficios de cada una e integrar nuevas aplicaciones enfocados a la medicina
- Proponer aplicaciones más allá de WBAN para monitoreo y diagnósticos remotos a pacientes que estén en otro recinto distinto al médico
- Desarrollar nodo sensores para EEG que cumplan las dimensiones y pesos además de la lógica que establecen IEEE.802.15.6 y propone este trabajo.

# TRABAJOS DERIVADOS DE LA TESIS

## Análisis del uso de ZigBee para la notificación de eventos relacionados a la actividad cerebral

Julio Cesar Morales Gutiérrez, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos "Zacatenco", Edificio Z 3er. Piso, Col. Lindavista, C.P. 07300, Ciudad de México  
e-mail: moralesgutierrezjulio@gmail.com

**Resumen**—Hasta ahora no se han encontrado aplicaciones eficientes para el uso de redes WBAN (Wireless Body Area Networks), lo que ha llevado a dejarlas de lado, en gran parte debido a la poca aportación a lo que debiera de ser su mayor área de aplicación, es decir, la medicina, dicha limitación debida a lo que muchos médicos consideran aplicaciones innecesarias por el simple hecho de que un diagnóstico médico no requiere de la monitorización continua de un paciente, bastaría con citar a dicho paciente a consulta cada cierto tiempo para darle un seguimiento óptimo, sumado a esto, el gran porcentaje de partes médicos eficientes sobre el que pudiera dar alguna aplicación WBAN. Es por esto que en este trabajo más allá de estudiar una red corporal aplicada al monitoreo y envío de datos biomédicos en forma continua, de, en este caso, pacientes con muerte cerebral y/o con epilepsia, se plantea una red para el monitoreo, detección y notificación de dichos eventos ya sea de muerte cerebral o convulsivo, según sea el caso, hecho que aportaría principalmente, en, el primer caso, a la oportuna notificación de este evento al cuerpo de trasplantes de órganos de hospitales para la rápida extracción y donación de órganos, con la finalidad de que estos estén en el mejor estado posible, o en el segundo caso, notificar a los familiares de un paciente con esta enfermedad para su atención inmediata, en ambas situaciones haciendo uso de, como medio de transmisión, el protocolo de comunicación ZigBee, gracias a sus características lógicas y físicas, lo que aportaría gran eficiencia y confiabilidad para una aplicación de esta índole.

**Palabras clave**- Transmisión, Complejidad, Datos intermitentes por eventos, Electroencefalograma

**Abstract**—Up to now no efficient applications have been found for the use of networks WBAN (Wireless Body Area Networks), what has led them to leave them aside, mainly due to its low contribution of what should be its main application, that is, Medicine. that limitation due to what many doctors consider unnecessary applications for the simple fact that a medical diagnosis does not require continuous monitoring of a patient. It would be enough to quote said patient to consultation every so often to give an optimal follow-up, added to this, the large percentage of efficient medical parts that could be given some WBAN application. That is why in this paper, beyond studying a corporal network applied to monitoring and sending biomedical data continuously, of, in this case, patients with brain death and / or with epilepsy, a network is

proposed for the monitoring, detection and notification of such events, whether brain or convulsive, as the case may be, fact that would mainly contribute, in the first case, to the timely notification of this event to the hospital organs transplants body for the rapid extraction and donation of organs, with the aim that these are in the best possible state, or in the second case, notify the relatives of a patient with this disease for immediate attention, in both situations making use of, as a medium of transmission, the ZigBee communication protocol, thanks to its logical and physical characteristics, which would provide great efficiency and reliability for an application of this nature.

**Keywords**- transmission, complexity, intermittent data by events, electroencephalogram.

### I. INTRODUCCIÓN

ZigBee es un protocolo que se utiliza en varios tipos de redes, principalmente debido a que se basa en el estándar 802.15.4 de la IEEE, estándar que cumple prácticamente en todo por lo requerido por la 802.15.6, el cual es la base de las WBAN, la razón de su versatilidad es que ZigBee nos proporciona dos aspectos clave que necesitamos, en este caso, en una nuestra estructura de WSN (Wireless Sensors Network) como electrodos de prueba de EGG, dichos aspectos son, bajo costo de los dispositivos y bajo consumo de batería.

En este trabajo no se tiene problema respecto a la gran eficiencia del utilizar las etapas de la capa Física y de Acceso al medio del estándar 802.15.4 para la transmisión en nuestra red, si no, como ya se mencionó, el "para que usarlas" es el reto que se tiene para hacer útiles las redes WBAN, además de que en base a esto se proponen algunas modificaciones en las capas superiores para cumplir de mejor manera las especificaciones que debe de cumplir nuestra red, para definir esto, se puede observar la siguiente imagen, resaltado en color amarillo nuestras áreas de interés a estudiar en este trabajo.

# XVII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA Y DE SISTEMAS

**Otorga el presente diploma a:**

Julio Cesar Morales Gutierrez, Daniel Rodriguez  
Saldaña

and Héctor Oviedo Galdeano



Por su participación con el trabajo:

Análisis del uso de Zigbee para la  
notificación de  
eventos relacionados a la actividad  
cerebral.

12 al 16 de Noviembre de 2018  
Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología "Víctor Bravo Ahuja"  
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco.  
Ciudad de México.

**Dr. Miguel Toledo Velázquez**  
Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado  
e Investigación de la ESIME  
Unidad Zacatenco

**M. en C. Hugo Quintana Espinosa**  
Director de la ESIME  
Unidad Zacatenco



# BIBLIOGRAFÍA

[1] Hector Kaschel Carcamo Redes de área corporal inalámbricas requisitos, desafíos e interferencias, congreso internacional de telecomunicaciones SENACITEL 2014

[2] S. A. Quiroz, & Telecomunicaciones -UPB, E. E. Redes de Sensores inalámbricos utilizando ZigBee/802.15. 4

[3] Iván Barneda Faudot, ZigBee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos 2018

[4] J. Wang and Q. Wang, "Body Area Communications: Channel Modeling, Communication Systems, and EMC". John Wiley & Sons Singapore. pp. 278, 2013.

[5] Jose Fernando Arboleda, Sistema para el apoyo a la atención domiciliaria mediante redes de sensores inteligentes 2016

[6] Aboy, M. [7] M. Jose Aguilar -Amat Prior, Juan Alvarez Pineda Prado; Guía oficial de practica clinica en epilepsia, 2012

[8] Cristian Guarnizo Lemus, Análisis de reducción de ruido en señales eeg orientado al reconocimiento de patrones, Revista Tecnológicas No. 21, diciembre de 2008

[9] Juan Feliz Villegas Mendez, Comunicaciones WBAN-IBC, enfoques perspectivas y aplicaciones 2017 Abasolo, D. & Alvarez, D. (2006). Interpretation of the Lempel-Ziv complexity measure in the context of biomedical signal analysis. IEEE Trans Biomed Eng, 53.

## **APÉNDICE A. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.**

WBAN Wireless Body Area Network, Red de Área Corporal Inalámbrica.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

OMS Organización Mundial de la Salud

OSI Open System Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos

ISM Industrial Scientific Medical Bands, Bandas Médicas, Industriales y Científicas

MHEALTH Móvil Health, Salud Móvil

PAN Personal Área Network, Red de Área Personal

IoT Internet Of Things, Internet de las Cosas

IP Internet Protocol, Protocolo de Internet

EEG Electroencefalograma

FISE Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía

QoS Quality Of Service, Calidad en el Servicio

PD Personal Device, Dispositivo Personal

RF Radio-Frequency, Radio-Frecuencia

SAR Specific Absorption Rate, Tasa de Absorción Específica

OQPSK Offset Quadrature Phase Shift Keying, Modulación de Desplazamiento de Fase de Cuadratura Compensada

CSMA/CA Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, Acceso Múltiple de Detección de Operador con Prevención de Colisión

FFD Full Function Device, Dispositivo de Funciones Completas

RFD Reduced Function Device, Dispositivo de Funciones Reducidas

LZ Lempel Ziv

LZW Lempel Ziv-Welch

## APÉNDICE B. EXTRACCIÓN DE LA SEÑAL CEREBRAL

```
clear all;
CSV = csvread('Julio.csv',1,0);

%Asignacion de variables
COUNTER = CSV(1:end-1,1);
%Electrodos
AF3 = CSV(1:end-1,3);
F7 = CSV(1:end-1,4);
F3 = CSV(1:end-1,5);
FC5 = CSV(1:end-1,6);
T7 = CSV(1:end-1,7);
P7 = CSV(1:end-1,8);
O1 = CSV(1:end-1,9);
O2 = CSV(1:end-1,10);
P8 = CSV(1:end-1,11);
T8 = CSV(1:end-1,12);
FC6 = CSV(1:end-1,13);
F4 = CSV(1:end-1,14);
F8 = CSV(1:end-1,15);
AF4 = CSV(1:end-1,16);
%GIROSCOPO
GYROX = CSV(1:end-1,18);
GYROY = CSV(1:end-1,19);
%Tiempo
TIMESTAMP = CSV(1:end-1,23);
sRate = 128;
%Medicion del tiempo de computo
tic;
%Ajuste longitud puntos temporales
L = 2700;
%Electrodo a estudiar
P = O1.';
%Filtrar con el promedio
Pz = P - mean(P);
%Obtencion de frecuencias a graficar
f = 128*(0:(L/2))/L;
toc;
%Seleccionando datos crudos del electrodo seleccionado
figure
subplot (111)
plot(TIMESTAMP,Pz)
xlabel('Tiempo (s)'), ylabel('Volt')
title('Datos crudos EEG, Electrodo F8,estado neutro')
```

## APÉNDICE C. EJEMPLO EN MATLAB DE LZW (TEORÍA DE CODIFICACIÓN)

### Codificador LZW

```
clear all;
s=['ababcbababaaaaaaaa']%cadena a comprimir
p=' '
diccionario=char('a', 'b', 'c', 'ab', 'ba', 'abc', 'cb', 'bab', 'baba',
'aa', 'aaa', 'aaaa')%diccionario
a='1';
b='2';
c='3';
ab='4';
ba='5';
abc='6';
cb='7';
bab='8';
baba='9';
aa='10';
aaa='11';
aaaa='12';
FlujoDeCodigo=[a, b, ab, c, ba, bab, a, aa, aaa, a]%flujo de código
for i=1:16
    fprintf('\tPaso: \t%d ',i);
    c=s(i)%asigna el siguiente valor de código a c de la cadena s
    [p,c] %suma de p+c, se despliega en la pantalla
    comparar=diccionario(i);%compara si el diccionario en i es igual a la
variable comparar para poder crear una condición
    if([p,c]==comparar)%pregunta si la suma de p+c es igual al valor de
comparar para verificar si se encuentra en el diccionario
        fprintf('\tLa cadena p+c esta en el diccionario\t\n');%muestra el
valor de p+c
        p=[p,c]%asigna a p el valor de la suma p+c
    else%sino se cumple lo anterior
        fprintf('\tLa cadena p+c no esta en el diccionario\t\n');
        if(FlujoDeCodigo=='a')
            a='1'
        end
        diccionario=[p,c]%agrega al diccionario la suma p+c
        p=c%asigna a p el valor que hay en c
    end %termina if
end%termina el ciclo
diccionario %muestra el valor que hay en el diccionario
```

### Resultados codificador LZW

Flujo De Código = 1 2 4 3 5 8 1 10 11 1

## APÉNDICE D. VARIANTE PARA LA CREACIÓN DE TCP

Una vez entrando a Scapy:

1. Conocer la dirección IP origen y destino, la dirección origen era la IP de el nodo sensor en cuestión y la dirección destino será la que se le asigne al servidor personal.

***Dirección IP computadora 1 (Fuente): 192.168.15.10***

***Dirección IP computadora 2 (Destino): 192.168.15.12***

2. Crear el paquete en base a las direcciones IP, así como notar en el código la aprte donde se agrega TCP así como su Payload

```
>>> packet = Ether()/IP(dst='192.168.15.12')/TCP()/'Actividad Cerebral Anormal'
```

3. Enviar el paquete a su destino

```
>>> sendp(packet)
```

4. Desde Wireshark en la computadora 2, correr la captura de paquetes en modo inalámbrico y escribir en filtro

```
ip.src_host==192.168.15.10||tcp.port ==80
```

5. Buscar el paquete deseado TCP (a veces el paquete llega en color negro ya que se generó la retransmisión automática), y abrirlo para ver todas sus propiedades

