



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

**“EVALUACIÓN DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE
SENSORES BIOMÉDICOS Y SU APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE
UN PROTOTIPO DE IoT PARA EL SEGUIMIENTO A PERSONAS CON
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORA: CAMILA FERNANDA RUIZ LÓPEZ

TUTOR: ING. ALBERTO LEOPOLDO ARELLANO AUCANCELA Msc.

Riobamba-Ecuador

2018

©2018, Camila Fernanda Ruiz López

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE SENSORES BIOMÉDICOS Y SU APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE IoT PARA EL SEGUIMIENTO A PERSONAS CON ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA**, de responsabilidad de la señorita Camila Fernanda Ruiz López, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación quedando autorizado su presentación.

ING. JULIO SANTILLÁN

**VICEDECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA** _____

ING. PATRICIO ROMERO

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES** _____

ING. ALBERTO ARELLANO

DIRECTOR DE TESIS _____

ING. DIEGO VELOZ

MIEMBRO DEL TRIBUNAL _____

Yo, Camila Fernanda Ruiz López, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, y el patrimonio de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Camila Fernanda Ruiz López

DEDICATORIA

Después de un largo camino de algunos años para poder realizarme como una profesional y crecer como persona mediante un proceso de enseñanza, es imprescindible dedicar mi trabajo de final de carrera en primer lugar a Dios porque en ningún momento se olvidó de mí, a pesar de que yo sí me olvidé de él cuando tuve pensamientos banales y me alejaron del buen camino. Como no dedicar este trabajo también a aquellos seres que me dieron la vida y ahora son la razón de mi existir; mi mami que me ayudó siempre dándome consejos y también unos buenos regaños por no ser lo que ella esperaba, pero siempre pensando en mi bienestar; mi papi que a pesar de la distancia y que él se considere ausente en mi vida, siempre estuvo en mis pensamientos y para este trabajo fue mi mayor inspiración por el estado de salud que está pasando. Finalmente, a mi hermana Lisett, por ser siempre la mejor guía cuando estuve divagando en momentos de confusión y a mi sobrinito Yeray que tal vez a su corta edad no entienda estas palabras que hoy estoy escribiendo, pero espero que cuando crezca tenga mejores superaciones personales y vea esto como un ejemplo para salir adelante.

AGRADECIMIENTO

Para la realización de este trabajo de titulación, debo agradecer a Dios por ayudarme a superar todas las pruebas y obstáculos que se presentaron. A mis padres y a mi hermana Lisett ya que estuvieron en cada instante con sus palabras de apoyo y motivación desde que inicié mi carrera hasta el día de culminación, como una familia no perfecta pero siempre disponible y preocupada por mí.

A mi hermoso sobrino Yeray, porque con cada locura o nueva ocurrencia de niño que tenía me alegraba el día y me daba las fuerzas para seguir adelante.

A mi enamorado Andrés, por también preocuparse conmigo de todo lo que me pasaba y ayudarme cuando lo necesitaba.

También quiero agradecer a mis amigos y compañeros de la poli, por compartir buenos y malos momentos en clase y fuera de aulas, a veces esas pequeñas vivencias son de las que nos recordaremos toda la vida y nos han hecho ganar experiencias, en especial a mi amigo José por su ayuda éstos últimos meses.

Finalmente agradecer de forma especial a mi tutor, Ing. Alberto Arellano, por su ayuda en todo el proceso de titulación y ser un buen amigo y excelente docente en toda la facultad.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1 MARCO TEÓRICO	5
1.1 Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	5
<i>1.1.1 Tipos.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Factores de riesgo.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Sintomatología.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4 Diagnóstico</i>	<i>7</i>
1.2 Comunicaciones inalámbricas.....	8
<i>1.2.1 Tipos de redes inalámbricas.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.1.1 Red inalámbrica de área corporal.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.1.2 Red inalámbrica de área personal.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.1.3 Red inalámbrica de área local.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.1.4 Red inalámbrica de área metropolitana</i>	<i>16</i>
<i>1.2.1.5 Red inalámbrica de área extensa.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2 Tecnologías inalámbricas</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2.1 Bluetooth.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2.2 Bluetooth Low Energy.....</i>	<i>18</i>
<i>1.2.2.3 GPRS.....</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2.4 Wi-Fi</i>	<i>19</i>
1.3 Telemedicina	21
<i>1.3.1 Servicios de Telemedicina.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.2 Representación de la información</i>	<i>23</i>
1.4 Internet de las cosas	24
<i>1.4.1 Características</i>	<i>25</i>
<i>1.4.2 Arquitectura.....</i>	<i>25</i>
<i>1.4.3 Protocolos para la comunicación en IoT.</i>	<i>27</i>
<i>1.4.3.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).....</i>	<i>27</i>
<i>1.4.3.2 CoAP (Constrained Application Protocol).....</i>	<i>28</i>
<i>1.4.3.3 XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol).....</i>	<i>28</i>
<i>1.4.4 Modelos de comunicación para IoT.</i>	<i>28</i>
<i>1.4.4.1 Modelo de comunicación dispositivo – dispositivo.....</i>	<i>29</i>
<i>1.4.4.2 Modelo de comunicación dispositivo – internet.....</i>	<i>29</i>

1.4.4.3	<i>Modelo de comunicación dispositivo – Gateway</i>	30
1.4.4.4	<i>Modelo Back - End</i>	30
1.5	Plataformas de desarrollo SW de IoT.	31
1.5.1	IBM IoT	31
1.5.1.1	<i>Funcionamiento</i>	32
1.5.2	Ubidots	32
1.5.3	ThingSpeak	33
1.6	Plataformas de desarrollo HW de IoT.	33
1.6.1	Arduino	33
1.6.2	Intel Galileo	34
1.6.3	MySignal	35
1.6.3.1	<i>Sensores médicos</i>	36
1.7	Token de autenticación	36
1.7.1	JSON Web Token	36
CAPITULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	37
2.1	Requerimientos del sistema	37
2.2	Concepción del sistema	38
2.2.1	<i>Arquitectura del hardware del sistema.</i>	38
2.3	Selección de la tecnología a implementar.	39
2.4	Selección de los elementos para la implementación del sistema	42
2.4.1	Tarjetas de desarrollo	42
2.4.1.1	<i>Arduino UNO</i>	42
2.4.1.2	<i>MySignal HW</i>	43
2.4.1.3	<i>Módulo GSM/GPRS Sim 900</i>	44
2.4.2	Sensores del sistema	45
2.4.2.1	<i>Sensor de flujo de aire</i>	45
2.4.2.2	<i>Espirómetro</i>	45
2.4.2.3	<i>Pulsioxímetro</i>	46
2.4.2.4	<i>Esquema de conexión del sistema</i>	47
2.5	Selección de software para el sistema.	48
2.5.1	IDE Arduino	48
2.5.2	Ubidots	48
2.5.2.1	<i>Configuración del sistema</i>	49
2.5.3	Diagrama de flujo del dispositivo	52
2.5.3.1	<i>Diagrama de flujo de sensores cableados</i>	52
2.5.3.2	<i>Diagrama de flujo del proceso de presión arterial</i>	54

2.6	Construcción del prototipo	56
CAPITULO III		
3	PRUEBAS Y RESULTADOS	58
3.1	Servicio en la nube de IoT.	58
3.1.1	<i>Panel de navegación del administrador.</i>	58
3.1.1.1	<i>Registro del médico.</i>	59
3.1.2	<i>Panel de navegación del doctor.</i>	60
3.1.3	<i>Panel de navegación del paciente.</i>	63
3.2	Validación del prototipo	63
3.2.1	<i>Prueba de validación médica</i>	64
3.2.2	<i>Comparación de valores obtenidos.</i>	67
3.3	Análisis de tráfico	70
3.3.1	<i>Capturas de tráfico con Wireshark.</i>	71
3.3.2	<i>Probabilidad de interceptación.</i>	75
3.3.2.1	<i>Identificar los riesgos.</i>	75
3.3.2.2	<i>Cálculo del riesgo</i>	76
3.3.2.3	<i>Plan de tratamiento del riesgo.</i>	77
3.4	Análisis económico del sistema.	78
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Diferencias entre enfisema pulmonar y bronquitis crónica.	6
Tabla 2-1: Grados de severidad de la obstrucción.	8
Tabla 3-1: Características de algunas tecnologías inalámbricas.	9
Tabla 4-1: Comparación entre las tecnologías WLANs.	16
Tabla 5-1: Tipo de datos en la telemedicina.	23
Tabla 1-2: Características de tecnologías inalámbricas.	39
Tabla 2-2: Escala de calificación.	40
Tabla 3-2: Ponderación de factores.	40
Tabla 4-2: Grado de importancia de los factores.	41
Tabla 5-2: Calificación cuantitativa de los factores.	41
Tabla 6-2: Relación de valores cuantitativos con el peso de los factores.	41
Tabla 7-2: Características generales de MySignal HW.	43
Tabla 8-2: Características generales de SIM900.	44
Tabla 9-2: Valores de Referencia para espirometría.	46
Tabla 10-2: Valores del Monitor de presión arterial.	47
Tabla 1-3: Datos de los sujetos.	68
Tabla 2-3: Escala de riesgo.	76
Tabla 3-3: Escala de impacto.	76
Tabla 4-3: Probabilidad de ocurrencia.	77
Tabla 5-3: Escenario de riesgo.	77
Tabla 6-3: Análisis económico del sistema.	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).	6
Figura 2-1: Tipos de redes inalámbricas.	8
Figura 3-1: Niveles de comunicación de una WBAN.	10
Figura 4-1: Banda de frecuencias para WBAN.	11
Figura 5-1: Red WPAN.	12
Figura 6-1: Grupos de trabajo IEEE 802.15	13
Figura 7-1: Capas del protocolo WPAN.	13
Figura 8-1: Aplicaciones de redes WLAN.	14
Figura 9-1: Arquitectura de una WLAN típica	15
Figura 10-1: Modos de operación de estaciones inalámbricas.	15
Figura 11-1: Topologías de Bluetooth.	18
Figura 12-1: Pila de BLE.	18
Figura 13-1: Canalización 802.11	20
Figura 14-1: Formato de trama 802.11.	20
Figura 15-1: Trama de control 802.11	21
Figura 16-1: Clasificación de los servicios de la Telemedicina.	22
Figura 17-1: Arquitectura de IoT.	25
Figura 18-1: Dispositivos conectados a IoT entre 2012 a 2020.	26
Figura 19-1: Arquitectura de MQTT.	27
Figura 20-1: Modelo cliente/servidor.	28
Figura 21-1: Dispositivo – Dispositivo.	29
Figura 22-1: Dispositivo – Nube	29
Figura 23-1: Dispositivo – Gateway	30
Figura 24-1: Back – End	31
Figura 25-1: Diagrama de funcionamiento de IBM IoT.	32
Figura 26-1: API Ubidots.	33
Figura 27-1: Modelos de la familia Arduino.	34
Figura 28-1: Versión 1 y 2 de Intel Galileo.	35
Figura 29-1: Shield de MySignal con el grupo de sensores.	35
Figura 1-2: Estructura general del escenario.	38
Figura 2-2: Diagrama de bloques del sistema	38
Figura 3-2: Arduino UNO.	42
Figura 4-2: MySignal HW.	43
Figura 5-2: Módulo Sim 900	44
Figura 6-2: Airflow.	45

Figura 7-2: Espirómetro.....	46
Figura 8-2: Presión Arterial BLE.....	47
Figura 9-2: Esquema de conexión del sistema.....	48
Figura 10-2: Creación de credenciales en Ubidots.....	49
Figura 11-2: Creación de dispositivos en Ubidots.....	50
Figura 12-2: Creación de variables en Ubidots.....	50
Figura 13-2: Creación de token.....	51
Figura 14-2: Ingreso del token en el código fuente.....	51
Figura 15-2: Condiciones para valores de eventos.....	51
Figura 16-2: Condicionamiento por un tiempo.....	51
Figura 17-2: Condicionamiento por ubicación.....	52
Figura 18-2: Diagrama de flujo del sistema para sensores con conectores plug.....	54
Figura 19-2: Diagrama de flujo del sensor BLE.....	56
Figura 20-2: Construcción del “case”.....	57
Figura 1-3: Tablero del administrador.....	58
Figura 2-3: Creación de usuario en Ubidots.....	59
Figura 3-3: Ingreso al perfil del médico.....	60
Figura 4-3: Configuración de eventos_ Parte 1.....	61
Figura 5-3: Configuración de eventos_ Parte 2.....	62
Figura 6-3: Mensaje de texto.....	63
Figura 7-3: Tablero del paciente.....	63
Figura 8-3: Entrevista al Dr. Fausto Maldonado.....	67
Figura 9-3: Valores teóricos de FEV1 para hombres.....	68
Figura 10-3: Captura Wireshark_1.....	71
Figura 11-3: Captura Wireshark_2.....	72
Figura 12-3: Captura Wireshark_3.....	73
Figura 13-3: Captura de Wireshark_4.....	74
Figura 14-3: Captura Wireshark_5.....	75

INDICE DE ABREVIATURAS

TICS	Tecnologías de la Información y Comunicación
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
TAC	Tomografía Axial Computarizada
VEMS	Volumen Espiratorio Forzado Al Primer Segundo
FEV1	Forced Expiratory Volume In The First Second
FVC	Forced Vital Capacity
WBAN	Wireless Body Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
UWB	Ultra Wide-Band
WIFI	Wireless Fidelity
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
ATM	Asynchronous Transfer Mode
IP	Internet Protocol
DES	Data Encryption Standard
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
PPP	Point to Point Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical (radio spectrum)
MAC	Media Access Control
PHY	Physical Layer
BSS	Basic Service Set
MN	Movil Node
POS	Personal Operative Space
AP	Access Point
DS	Distribution System
ESS	Extended Service Set
SSID	Identifier Service Set
GSM	Global System for Mobile
GPRS	General Packet Radio Services

LTE	Long Term Evolution
BLE	Bluetooth Low Energy
GAP	Generic Access Profile
GATT	Generic Attribute Profile
SMP	Security Manager Protocol
ATT	Attribute Protocol
L2CAP	Logical Link Control and Application Protocol
SoC	System On a Chip
BW	Bandwidth
IoT	Internet of Things
RFID	Radio Frequency Identification
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
CoAP	Constrained Application Protocol
IM	Instant Messaging
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
PPM	Pulsaciones Por Minuto
SMS	Short Message Service
MTU	Maximum Transmission Unit
LKT	Long Term Key
LLID	Link Layer Identifier
PDU	Packet Data Unit
SGSI	Sistema de Gestión de Seguridad de la Información

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de titulación fue la evaluación de la comunicación inalámbrica de sensores biomédicos y aplicarlo en el desarrollo de un prototipo de IoT para el seguimiento a personas con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. Lo cual consistió en determinar de entre todas las tecnologías inalámbricas, la que mejor se adapte al grupo de sensores de la plataforma MySignal, asegurando la información del paciente desde el instante que se colocan los sensores en su cuerpo, hasta que se pueda visualizar la información en una aplicación IoT alojada en la nube. La obtención de los datos se realizó a través de sensores biomédicos y la transmisión mediante tecnología de servicio general de paquetes vía radio (GPRS), de esta manera se logra tener un control en tiempo real del estado médico del paciente, para que el doctor o la persona a cargo reciban alertas en caso de una emergencia y sepan cómo proceder. Se realizó una prueba de integridad de datos con el uso de un sniffer BLE para comprobar la conexión entre el sensor BLE y el shield principal, así se verificó el uso de un canal seguro para la transmisión de los datos. Para comprobar el nivel de aceptación, se realizó una entrevista a un médico especialista para que valide el sistema, con todas las pruebas realizadas, se puede concluir que el prototipo no tendrá problemas de interceptación de datos de algún atacante en ningún instante de tiempo, desde que se establece la conexión hasta que esta finalice, es decir se está protegiendo la información en cuanto a confidencialidad, integridad y disponibilidad. Para la implementación de este sistema en un escenario real se recomienda mejorar la velocidad de transmisión de los datos al subir en la nube, con otra tecnología como 3G o 4G, ya que, en este caso por ser solo una implementación para realizar pruebas, se estableció el uso solo de GPRS.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA>, <ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA>, <SENSORES BIOMÉDICOS>, <WIRESHARK (SOFTWARE)>, <BLUETOOTH LOW ENERGY>, <SERVICIO GENERAL DE PAQUETES VÍA RADIO (GPRS)>.

ABSTRACT

The main objective of the present research work was the evaluation of the wireless communication of biomedical sensors to apply it in the development of an IoT prototype for the follow-up of people with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Which was to determine from all wireless technologies, the one that best suits the group of sensors of the MySignal platform, ensuring patient information from the moment the sensors are placed on your body until you can visualize the information in a IoT application hosted in the cloud. The data was obtained through biomedical sensors and the transmission by means of general packet radio service (GPRS) technology, in this way it is possible to have a real-time control of the patient's medical status, so that the doctor or the person in charge will receive alerts in case of an emergency and know how to proceed. A data integrity test was performed to verify the connection between the BLE sensor and the main shield with the use of a BLE sniffer, thus verifying the use of a secure channel for data transmission. To check the level of acceptance of the prototype, a survey was conducted to a group of 150 people. With all the tests performed, it can be concluded that the prototype will not have problems of intercepting data from an attacker in any instant of time since the connection is established until it is finalized, that is, the information is being protected in terms of confidentiality, integrity and availability. For the implementation of this system in a real scenario, it is recommended to improve the speed of data transmission when uploading in the cloud, with another technology such as 3G or 4G, since, in this case, because it is only an implementation to perform tests, established the use of GPRS only.

Keywords: < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES >, <TELECOMMUNICATIONS>, <WIRELESS COMMUNICATION>, <CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE>, <BIOMEDICAL SENSORS>, <WIRESHARK (SOFTWARE)>, <BLUETOOTH LOW ENERGY>, <GENERAL PACKAGE SERVICE VIA RADIO(GPRS)>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) se presenta por una pérdida eventual de la función de los pulmones, ocasionando problemas significativos en el estilo de vida de las personas que la padecen. Al referirse a esta enfermedad se habla de un conjunto de afecciones pulmonares crónicas que la definen como tal (bronquitis crónica y enfisema principalmente según la OMS), estas dificultan la respiración normal del individuo debido a la reducción del flujo de aire.

La EPOC también es conocida como la tos del fumador, esto porque quienes se ven expuestos al humo del tabaco (fumadores activos y pasivos) corren con mayor riesgo a sufrir este padecimiento, pero es un error creer que este es el único factor que desencadena la enfermedad, puesto que también existen otros factores:

- La contaminación del aire de interiores (por ejemplo, la derivada de la utilización de combustibles sólidos en la cocina y la calefacción);
- La exposición laboral a polvos y productos químicos (vapores, irritantes y gases);
- Las infecciones repetidas de las vías respiratorias inferiores en la infancia.

La EPOC anteriormente era una enfermedad comúnmente presentada en hombres por su preferencia al tabaquismo, pero esto fue cambiando con el paso del tiempo y ahora mujeres también son propensas por la exposición al aire contaminado en interiores. “De acuerdo con el Estudio de la Carga Mundial de Morbilidad, la prevalencia de la EPOC en 2016 fue de 251 millones de casos. Se estima que en 2015 murieron por esta causa cerca de 3,17 millones de personas en todo el mundo, lo cual representa un 5% de todas las muertes registradas ese año”. (OMS | Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC),” 2017)

“La OMS afirma que, para un futuro, en el año 2030 esta será la tercera causa de muertes y cuarta de discapacidad a nivel mundial.” (Mathers & Loncar, 2006).

En el país la EPOC no está considerada dentro de sus registros estadísticos en tasas de mortalidad, pero sí menciona enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, quedando como la novena causa de muerte tanto en hombres como en mujeres para el año 2014. (INEC, n.d.)

Hablando de mecanismos tratados para la EPOC se encuentra un estudio realizado por el Centro Provincial de Información de Ciencias Médicas de Cuba con el título: “Ventilación mecánica no invasiva en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada”, el cual trató a veintisiete pacientes, “donde se determinó que a las 48 horas del tratamiento con la mencionada ventilación disminuyeron los parámetros clínicos siguientes: frecuencias respiratoria y cardíaca y pulsioximetría; asimismo, los valores hemogasométricos obtenidos evidenciaron cambios favorables significativos.” (Centro Provincial de Información de Ciencias Médicas (Cuba), Muguercia Sarracén, Fabré de Armas, Esquivel Lussón, & Zamora Cabezas, 2012)

También, la OMS encabezando la Alianza Mundial contra las Enfermedades Respiratorias Crónicas (GARD) trabaja con un sistema para combatir las enfermedades respiratorias crónicas. “Se centra específicamente en las necesidades de los países de ingresos bajos y medios y de las poblaciones vulnerables, y fomenta las iniciativas de países particulares adaptadas a las necesidades locales” con una meta en común de mejorar la salud pulmonar en todo el mundo. (“OMS | La Alianza Global contra las Enfermedades Respiratorias Crónicas (GARD),” 2013)

Por otra parte, un grupo de investigadores de la Universidad de Cádiz enfocados en la parte biomédica y de telemedicina desarrollaron un sistema de telemonitorización de los pacientes con EPOC. El nombre de la herramienta es AMICA, el cual permite una valoración a diario del estado de la enfermedad en un paciente a través de un banco de preguntas y un registro con sonidos respiratorios por un periodo de seis meses. Este prototipo fue eficaz dando cumplimiento en 86.1% en sus pruebas de campo, logrando grandes hallazgos en la telemedicina para que personas con esta enfermedad tengan un autocontrol en sus actividades cotidianas y también para reconocer los primeros síntomas de deterioro. (Sánchez-Morillo, Crespo, León, & Crespo Foix, 2015)

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La evaluación de la comunicación inalámbrica de sensores biomédicos y su aplicación en el desarrollo de un prototipo IoT ayudará a la detección temprana de los primeros síntomas de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Qué síntomas de la EPOC se deben analizar para su detección temprana?
- ¿Qué tipo de sensores son necesarios para el estudio de los síntomas de la EPOC?
- ¿Qué información será relevante a ser enviada al centro médico a cargo del paciente?

- ¿Qué mecanismos de seguridad existen para la confidencialidad de la información en la plataforma del usuario?
- ¿Qué tipos de sistemas de comunicación inalámbrica orientados a IoT son factibles para el envío de información?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Debido a que la enfermedad pulmonar obstructiva crónica es una causa de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, que afecta negativamente al estilo de vida, estatus social y económico de la persona; tanto porque esta no es informada a tiempo con una detección precoz, así como también por la falta de cumplimiento en las terapias para mejorarse, ya que la EPOC no tiene cura y es una enfermedad terminal.

Entre las medidas de control para EPOC, las más destacadas son: evitar las sustancias que irriten a los pulmones y recibir atención médica continua. En esta última medida mencionada es en la que se centra el presente trabajo de investigación, ya que como punto de partida se necesita un diagnóstico médico el cual se realiza con algunos equipos, donde se analiza la obstrucción o disminución del volumen respiratorio y otros flujos. Para las personas que ya tienen EPOC es importante tomar medidas de control en los síntomas y que retrasen el avance de la enfermedad, implementando una red de sensores inalámbricos para la recolección de señales biomédicas, que posteriormente serán enviadas a un profesional en el área médica.

Según un grupo de investigadores (Sánchez-Morillo et al., 2015) el uso de la tecnología en procesos de telemedicina es muy importante para aumentar la participación de las personas, enfermedades y sus procesos médicos a los que van a estar sometidos.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Con la ayuda de entrevistas que se realizaron a profesionales dentro del campo de la medicina, se pudo apreciar lo importante que es la supervisión de los médicos a aquellos pacientes con enfermedades crónicas y que intentan llevar una vida cotidiana en sus hogares y en la sociedad, es así que monitorear parámetros vitales dentro del ámbito de la salud de una enfermedad de alto riesgo de mortalidad como lo es la EPOC, es la razón principal que conlleva al desarrollo del presente proyecto, con la finalidad de proponer una solución para la prevención y seguimiento de pacientes propensos a sufrir esta patología a través de la implementación de un prototipo tecnológico que se encargará de recoger información relevante y permitirá mantener un control

de las señales biomédicas del individuo, esto se realizará con la ayuda de un grupo de sensores inalámbricos que formarán parte de un sistema de telemedicina.

Los sensores serán ubicados en zonas corporales específicas de la persona a tratar, y tomarán datos que por la sintomatología de la EPOC deban ser supervisados. La información será enviada desde cada uno de los sensores a un módulo de transmisión mediante comunicación inalámbrica, el cual reenviará los datos recibidos a un dispositivo central que tendrá la función de un gateway al transmitir lo recibido al médico a cargo a través de una red externa (WLAN/WAN). De esta forma el médico podrá estar al tanto de su paciente de manera remota sin necesidad de que este último asista al consultorio.

OBJETIVOS GENERALES

Evaluar la comunicación inalámbrica de sensores biomédicos y aplicarlo en el desarrollo de un prototipo de IoT de seguimiento a personas con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar los protocolos de comunicación inalámbrica entre sensores biomédicos.
- Identificar los síntomas de la EPOC que se deben analizar para su detección temprana.
- Determinar la información que será relevante para ser enviada al centro médico a cargo del paciente.
- Establecer los mecanismos de seguridad que existen para la confidencialidad de la información en la plataforma del usuario.
- Implementar el prototipo de IoT para el seguimiento a personas con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analiza la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, sus síntomas, diagnóstico y formas de evaluarla. Además, la relación de la medicina con las TICS para el desarrollo de nuevos prototipos, principalmente en los sistemas de comunicaciones inalámbricos, dentro de los cuales se investiga la tecnología, estándares, sensores, y tarjetas de desarrollo.

1.1 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica o EPOC es un conjunto de afecciones que obstruyen de forma crónica el flujo aéreo en las vías respiratorias y los pulmones, en su mayoría de forma progresiva o parcialmente reversible ante un tratamiento broncodilatador; por lo cual es una enfermedad grave a largo plazo y en personas de edad avanzada. (Pino, Álvarez y Rivero, 2018, p. 109)

1.1.1 Tipos

Se puede describir la EPOC en diferentes tipos tales como:

- Enfisema pulmonar: el cual es un deterioro de los pulmones por la dilatación permanente de los espacios aéreos distales; a causa de la obstrucción y destrucción de las paredes alveolares.
- Bronquitis crónica: se presenta como una tos o expectoración frecuente en los pacientes, con duración de tres meses al año como mínimo y durante dos años consecutivos. (Pino, Álvarez y Rivero, 2018, p. 109)

En la figura 1-1 se muestra gráficamente los tipos de EPOC que puede presentar una persona.

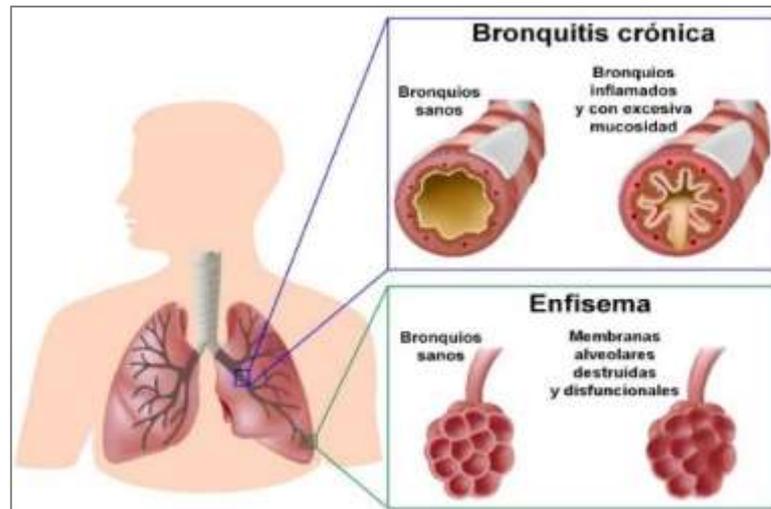


Figura 1-1: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

Fuente: <https://saludiaria.com>

En la tabla 1-1 se presentan las diferencias entre los tipos de EPOC y su correcta valoración, con algunas de sus características.

Tabla 1-1: Diferencias entre enfisema pulmonar y bronquitis crónica.

Características	Enfisema	Bronquitis crónica
Aspecto paciente	Delgado, taquipnéico, hiperinsuflado	Obeso, cianótico, abotargado
Tos y expectoración	Discreta y escasa	Frecuente y abundante
Disnea	Intensa	Ligera
Poliglobulia	Infrecuente	Frecuente
Cor pulmonale	En fases avanzadas	Frecuente
Hipoxemia	Ligera hasta fases avanzadas	Moderada o severa

Fuente: (Jaén Díaz, 2000, p. 2)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

1.1.2 Factores de riesgo

Dentro de las eventualidades que aumentan la probabilidad que una persona contraiga EPOC es la exposición al humo del tabaco tanto para fumadores activos o pasivos, ya que éste factor debilita la función pulmonar y hace que se deteriore de forma progresiva; siendo el principal factor de obtener la enfermedad.

Por otro parte, se tiene la contaminación del aire en interiores por los gases generados por combustión en cocinas o aparatos de calefacción. Además, la exposición continua y prolongada al polvo y químicos que se relacionen con la extracción de materiales irritantes. Así como también

se le asocian las mal llamadas “gripes mal curadas” que son el producto de infecciones en las vías respiratorias con mayor frecuencia y presentadas en la niñez. (Mathers y Loncar, 2006, p. 2011-2030)

1.1.3 Sintomatología

Se consideran síntomas de EPOC la disnea que es la dificultad para respirar haciendo que el paciente tenga una sensación de ahogo, la tos con expectoración de forma crónica. En el avance de la enfermedad éstas molestias hacen que la persona sienta que realiza mayores esfuerzos para ciertas actividades, como el subir y bajar escaleras, el cargar bultos, caminatas, entre otros; haciendo que las complicaciones del paciente se agraven y posteriormente lleguen a una hospitalización. (Mathers y Loncar, 2006, p. 2011-2030)

1.1.4 Diagnóstico

La EPOC se presenta en su mayoría a personas mayores de los 40 años y que hayan estado expuestas a los factores de riesgo anteriormente mencionados. Para su correcto diagnóstico existen algunas pruebas realizadas a personas que presenten la sintomatología ya analizada.

Como primera etapa se realiza un examen físico con un estetoscopio en la tráquea que permite conocer la existencia de alguna obstrucción; este procedimiento consiste en medir en segundos lo que tarda el paciente en expulsar todo el aire de sus vías respiratorias con la boca abierta. Un resultado normal es hacerlo en menos de seis segundos, caso contrario, la prueba es positiva para EPOC. (Pino, Álvarez y Rivero, 2018, p. 110)

Otros métodos de evaluar la EPOC es a través de imagenología, tales como la radiografía de tórax que es un orientador de bronquitis crónica, y ayuda a detectar o descartar algunas complicaciones de la enfermedad. También se tiene la tomografía axial computada de alta resolución (TAC) que ayuda a detectar enfisemas aún en las primeras etapas. (Gordillo Corzo et al., 2002, p. 204-205)

La espirometría forzada es otra prueba básica que permite evaluar el pronóstico de la enfermedad, controlar el tratamiento que se adecúe y caracterizar el tipo de daño que sufren los pulmones. (Pino, Álvarez y Rivero, 2018, p. 110).

El procedimiento consiste en inhalar y exhalar aire hacia los pulmones y observar la velocidad a la que lo expulsa. Es recomendable clasificar los pacientes con EPOC de acuerdo a la severidad de la obstrucción que tienen en valores referenciales y porcentuales, entre ellos tenemos VEMS

o FEV1 que se refiere al volumen espiratorio forzado en 1 segundo, y FVC que es la capacidad vital forzada. A continuación, en la tabla se presenta valores de referencia de una espirometría forzada.

Tabla 2-1: Grados de severidad de la obstrucción.

VEMS	Leve	Moderada	Severa
	65%	65-45%	< 45%

Fuente: (Jaén Díaz, 2000, p. 2)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

1.2 Comunicaciones inalámbricas

El establecimiento de una conexión sin el uso de cables y más bien utilizando el espectro radioeléctrico es a lo que hoy en día se conoce como comunicaciones inalámbricas; lo cual con el avance del tiempo ha ido tomando una gran importancia en el uso de diversas aplicaciones, no solo para el uso tradicional de una llamada telefónica por medio del celular, sino también para el envío de datos críticos de una persona, algún sistema de monitoreo, o simplemente brindar comodidad al tener una computadora conectada a internet vía wifi.

1.2.1 Tipos de redes inalámbricas

La clasificación de las redes inalámbricas se presenta esencialmente por el alcance que tienen, es decir la máxima distancia a la que llega la señal de los dispositivos para definir las necesidades de la red. En la figura 2-1 se puede observar esta clasificación.

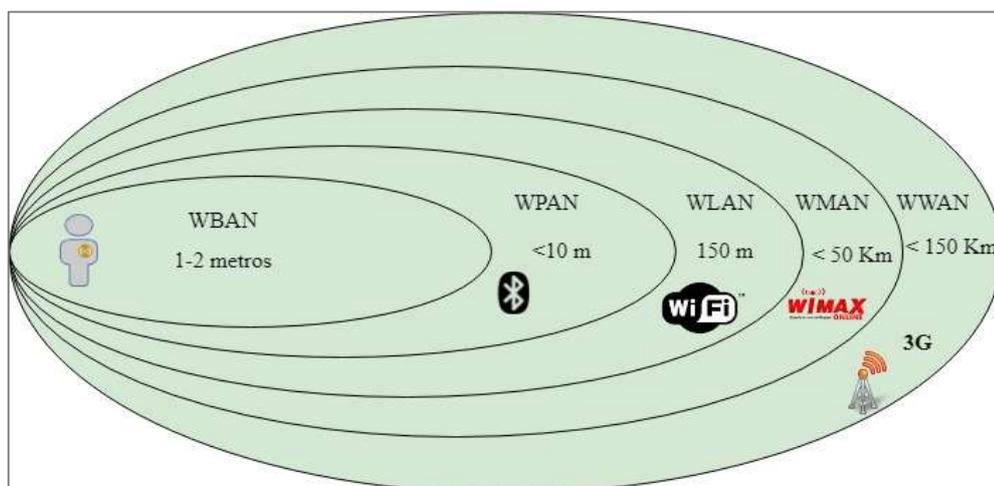


Figura 2-1: Tipos de redes inalámbricas.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

Según (Camargo, 2009, p. 4) la descripción de esta clasificación es:

- WBAN (Wireless Body Area Network): cubren distancias de 1 a 2 metros.
- WPAN (Wireless Personal Area Network): utiliza el estándar IEEE 802.15, teniendo un área de cobertura de hasta 10 metros.
- WLAN (Wireless Lan Area Network): Pensado para entornos de área local como el cubrimiento de un edificio con distancia máxima de 100 a 150 metros.
- WMAN(Wireless Metropolitan Area Network): El área de cobertura es para un entorno metropolitano o cierto espacio de una ciudad. (hasta 50km).
- WWAN(Wireless Wide Area Network): Son basadas en tecnología celular que cubren países o todo una región..

Dentro de esta clasificación existe una estandarización la cual indica otros parámetros como tasas de transferencia, frecuencias del espectro, entre otros. Estas se detallan en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Características de algunas tecnologías inalámbricas.

Tecnología	Estándar	Uso	Velocidad	Alcance	Frecuencia
Irda		WPAN	4Mbps	Menor a 10 m	850 nm
UWB	802.15.3	WPAN	De 110 a 480 Mbps	Hasta 10 m	7.5 GHz
Bluetooth	802.15.1	WPAN	Hasta 720 Kbps	Hasta 10 m	2.4 GHz
ZigBee	802.15.4	WPAN	250 kbps, 40 kbps, 20 kbps	Hasta 10 m	2.4 GHz 915 MHz 868 MHz
Wi-Fi	802.11	WLAN	Hasta 54 Mbps	Hasta 100 m	2.4 GHz
WiMAX	802.16d	WMAN	Hasta 75 Mbps	Aprox. De 6 a 10 Km	11 GHz
WCDMA/UMTS	3G	WWAN	Hasta 2 Mbps	Aprox. De 1.5 a 8 Km	1800, 1900, 2100MHz
LoRa	802.15.4a	LPWAN	De 0.3 kbps a 50 kbps	Hasta 15 Km	867-869 MHz 902-928 MHz

Fuente: (Acosta Ponce, 2006, p. 6)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

1.2.1.1 Red inalámbrica de área corporal

El concepto de WBAN ha ido evolucionando con la idea de monitorear las señales fisiológicas vitales de baja potencia con sensores implantados o sensores colocados sobre el cuerpo de la persona. Los datos obtenidos de éstos sensores son transmitidos a un nodo remoto de forma

inalámbrica, donde los datos se envían a una aplicación para su interpretación. (Thotahewa, Redouté y Yuce, 2014, p. 2)

La arquitectura de una red WBAN se observa en la figura 3-1, la cual consiste de un nodo coordinador o servidor y nodos sensores en el cuerpo de la persona. Por lo general el nodo sensor se conecta directamente con el coordinador, pero si no existiese una línea de vista entre ellos se debe implementar un repetidor que haga de “bridge”. (Alvarado y Juárez, 2012, p. 25)

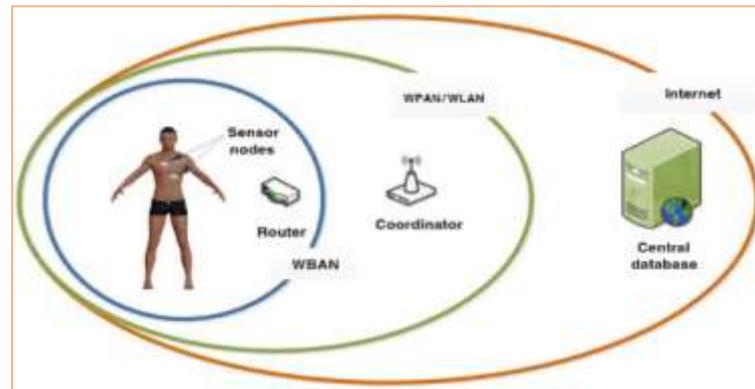


Figura 3-1: Niveles de comunicación de una WBAN.

Fuente: (Thotahewa, Redouté y Yuce, 2014, p.4)

El nodo coordinador es el encargado de sincronizar, y configurar a los nodos sensores para que trabajen en la recolección de señales fisiológicas. También es el encargado de comunicarse con los servidores remotos de atención médica a través de servicios de internet. (Alvarado y Juárez, 2012)

Por otra parte, un aspecto crítico de las WBAN son los sensores nodos que van implantados en el cuerpo o sobre él, deben ser pequeños o hasta miniaturas y trabajar a un nivel de potencia muy bajo el cual no sea muy perjudicial para la salud de la persona. (Thotahewa, Redouté y Yuce, 2014, p.4-5)

Entre los parámetros más importantes según (Alvarado y Juárez, 2012, p. 27) para elegir correctamente los sensores son:

- La portabilidad ya que debe ser ligero y de un tamaño adecuado, analizando el peso de la batería y su capacidad.
- La seguridad que debe establecerse en todos los niveles de comunicación.
- Interoperabilidad que implica tener una red BAN con diferentes elementos tecnológicos de acuerdo a la salud del usuario.
- Baterías de bajo consumo

La IEEE 802 estableció un Grupo de Trabajo llamado IEEE 802.15.6 para estandarizar este tipo de redes, con el objetivo de constituir un estándar de comunicación optimizado para nodos de baja potencia, así atender una variedad de aplicaciones médicas y no médicas. (Kwak, Ullah y Ullah, 2010, p. 1)

El rango de frecuencias establecidas para WBAN disponible a nivel mundial está en la banda IMS (Industrial Scientific Medical) como se muestra en la figura 4-1, ya que soporta grandes tasas de transferencia, pero a su vez presenta interferencias por otros estándares que trabajan bajo esta misma banda. (Villegas, 2017, p. 16)

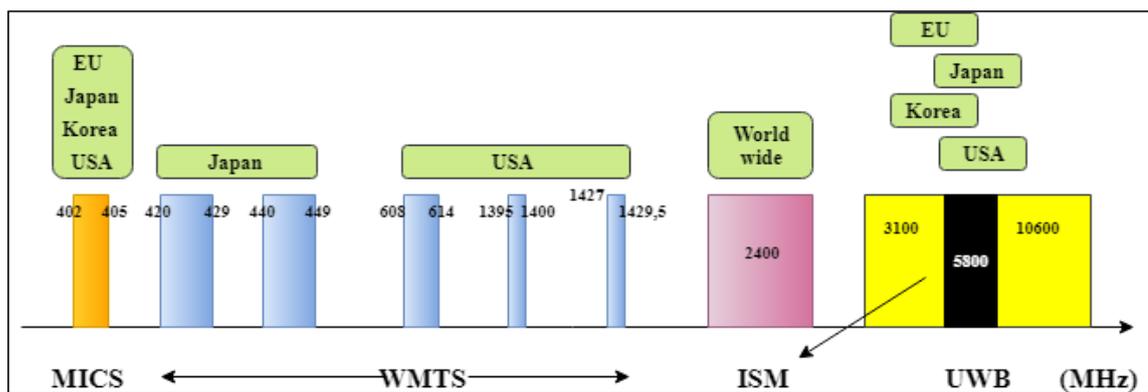


Figura 4-1: Banda de frecuencias para WBAN.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Dentro de las aplicaciones que ofrecen las redes WBAN están las médicas, en las cuales varían dependiendo del sensor y como sea colocado en el cuerpo de la persona. Algunas de ellas son: evaluación de la fatiga a personal militar, entrenamiento deportivo, monitoreo de enfermedades asmáticas o cardiovasculares, análisis del sueño y detección del cáncer. En las aplicaciones no médicas es útil para la transmisión en tiempo real para el entretenimiento y emergencias no médicas. (Kaschel y Torres, 2014, p. 2)

1.2.1.2 Red inalámbrica de área personal

Los dispositivos móviles hoy en día se han convertido en una parte integral de nuestra vida cotidiana. Las nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica permiten que sus dispositivos se conecten casi sin la intervención del usuario. Las redes WPAN se utilizan principalmente para facilitar la conectividad de los dispositivos portátiles ya que están diseñadas para ser fáciles de usar, de tamaño pequeño y de eficiencia en la transmisión de datos. (Xiao y Pan, 2009, p. 107)

A diferencia de una red WLAN, las redes de WPAN aportan con un nuevo concepto de las comunicaciones denominado espacio operativo personal (POS) que es la distancia máxima de cobertura que rodea al individuo, así se encuentre en movimiento. (Xiao y Pan, 2009, p. 107)

Una WPAN es una red inalámbrica de poca distancia, que va desde los 10 metros hasta 20, especialmente diseñada para aceptar dispositivos portátiles como una laptop, PDA, impresoras, celulares, localizadores, dispositivos de almacenamiento y demás dispositivos electrónicos como se observa en la figura 5-1. Bluetooth, UWB y Zigbee son las tecnologías básicas de WPAN que permiten la transferencia de información. (Garg y Kumar, 2007, p. 654)

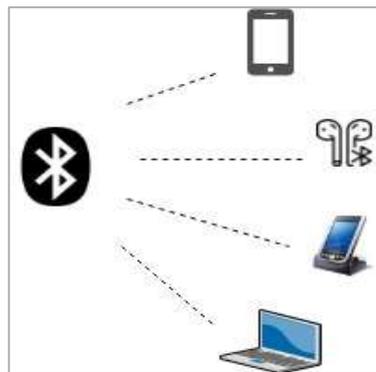


Figura 5-1: Red WPAN.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

El comité IEEE 802.15 ha establecido cuatro grupos de trabajo (figura 6-1) con diferentes características que van de acuerdo a las necesidades de la red de área personal, según (Garg y Kumar, 2007, p. 655) éstos grupos son:

- Grupo de trabajo 802.15.1: Es un estándar basado en el desarrollo de Bluetooth en versión 1 y versión 2. Define la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC) para establecer la conectividad inalámbrica de los dispositivos portátiles o móviles dentro del área de cobertura.
- Grupo de trabajo 802.15.2: Tiene como finalidad la interoperabilidad entre redes y dispositivos WPAN y WLAN para la transferencia de información.
- Grupo de trabajo 802.15.3: Este grupo trabaja en la capa física (PHY) y de acceso al medio (MAC) a velocidades mayores de 20Mbps, con bajo consumo de energía.
- Grupo de trabajo 802.15.4: Desarrollado para tecnología ZigBee. A velocidades de 200kbps con lo que el consumo de energía será bajo, dando una larga duración.

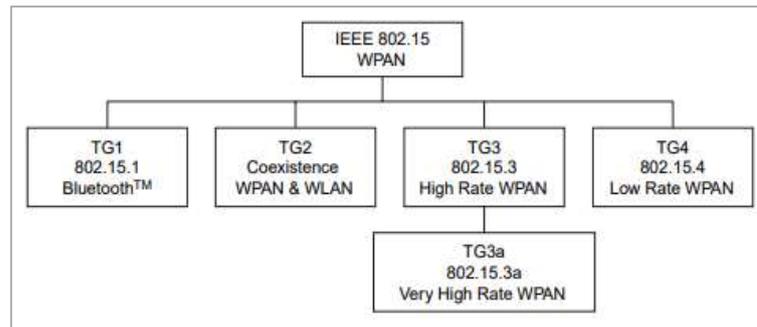


Figura 6-1: Grupos de trabajo IEEE 802.15

Fuente: (Garg y Kumar, 2007, p.655)

Las principales aplicaciones del estándar 802.15 han sido: la interconexión de periféricos de PC's tales como teclados, PDAs, mouse; siendo éstos en el área informática. Para entretenimiento, en juegos interactivos o algunos juguetes; en la supervisión de hogares inteligentes con sensores en cocinas, cortinas, luces, interruptores, puertas, etc. Y ha tenido otros avances como la localización de personas en casos de desastres naturales como terremotos, deslizamientos de tierra, entre otros. (Camargo, 2009, p. 32)

1.2.1.3 Red inalámbrica de área local

Las redes inalámbricas de área local o WLAN reciben este nombre debido a que se fundamentan en los estándares de LAN existentes. Estos estándares fueron creados por la IEEE para la interconexión a través de cables para las computadoras, por ejemplo, el estándar 802.3 o también conocidos como estándares Ethernet. (Khetaguri y Leon, 2011, p. 1)

El estándar 802.11 es el que especifica a redes tipo WLAN. Como se puede apreciar en la figura 7-1, su principal aplicación es transportar paquetes del protocolo IP sobre la capa 3 del modelo OSI. La capa 2, de enlace de datos, se ha adaptado del mundo cableado con relativamente pocos cambios. En la capa 1, la capa física se nota el desarrollo, debido a que, en lugar de cables para transportar los datos, se hace uso de ondas de radio. (Khetaguri y Leon, 2011, p. 1)

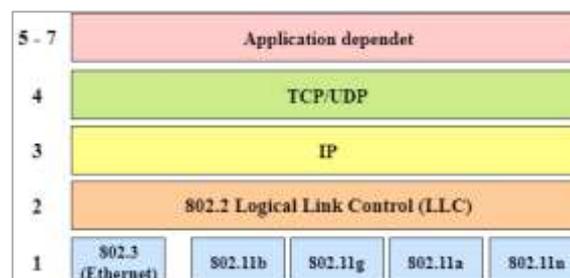


Figura 7-1: Capas del protocolo WPAN.

Fuente: (Khetaguri y Leon, 2011, p. 1)

El área de cobertura para WLAN es desde 10 hasta 100 metros, lo cual hace que transmita a bajas potencias y use bandas de frecuencia sin licencia.

Inicialmente estas redes existieron para el uso en empresas, pero con el paso del tiempo se ha desarrollado otros escenarios para su aplicación. Entre ellos están: para áreas industriales, hoteles, aeropuertos, universidades, hospitales, café internet, parques de diversión y algunos entornos rurales. En la figura 8-1 se muestran algunos de éstos escenarios. (Camargo, 2009, p. 9)



Figura 8-1: Aplicaciones de redes WLAN.

Fuente: <http://www.telemovil.cl/subidas/2016/06/red-segura-wifi-entre-departamentos.png>

Una red WLAN tiene una arquitectura celular, donde cada célula llamada conjuntos de servicios básicos (BSS) consta de nodos móviles (MN) y está controlada por una estación base o “Access point” (AP). La mayoría de las WLAN están formadas por varias celdas donde los AP están conectados a través de algún tipo de red troncal o sistema de distribución (DS). Esta red troncal está generalmente cableada, usando tecnología Ethernet, pero puede ser inalámbrica. (Farkas y Cscs, 2009, p. 59)

Toda la WLAN interconectada, incluidas las diferentes celdas, sus respectivos APs y el sistema de distribución, se conoce como servicio extendido (ESS), al que también se conoce como identificador de conjunto de servicios (SSID). La figura 9-1 muestra los componentes de una WLAN típica. (Farkas y Cscs, 2009, p. 59)

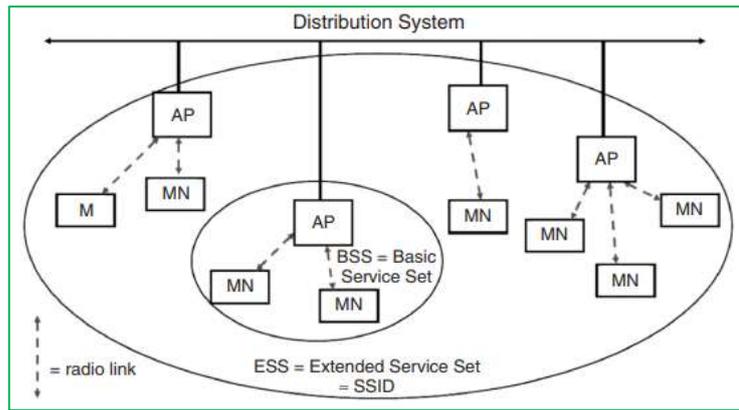


Figura 9-1: Arquitectura de una WLAN típica

Fuente: (Farkas y Cscs, 2009, p. 60)

Después de estudiar la arquitectura de una WLAN, queda por analizar los modos de funcionamiento tanto para los dispositivos móviles o estaciones inalámbricas y para los modos de topologías de red.

Dentro de las estaciones móviles se tiene el modo más usual o ad-hoc (punto a de la figura 10-1), el cual no necesita un AP para interconectar diferentes dispositivos móviles, sino que lo hace directamente. Por otra parte, en el modo infraestructura (punto b de la figura 10-1), es necesario implantar un AP para que realice la gestión de la red. (Pellejero, Andreu y Lesta, 2006, p. 8-9)

Existen tres topologías de red WLAN: Modo IBSS, modo BSS y modo ESS. En el modo IBSS o ad-hoc todas las estaciones inalámbricas se conectan entre sí, dando las funciones de coordinación a todas ellas, con lo que el tráfico que se genere se reparte a todos los equipos sin jerarquía. (Pellejero, Andreu y Lesta, 2006, p.10)

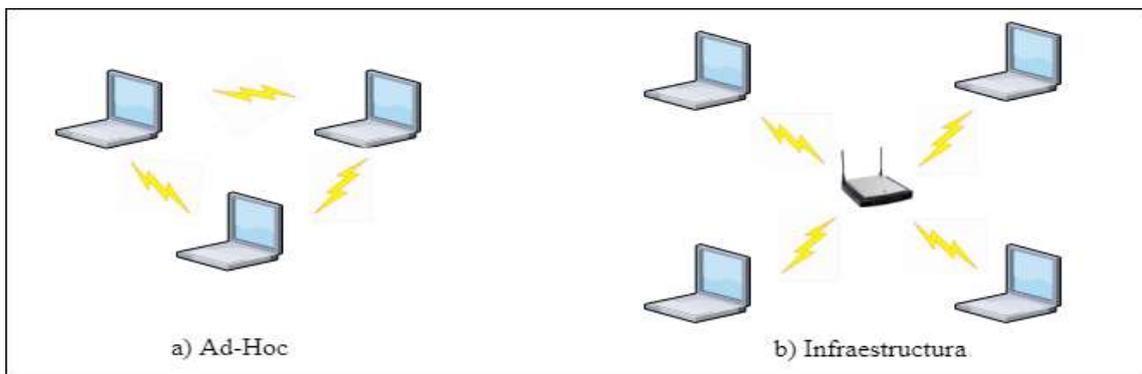


Figura 10-1: Modos de operación de estaciones inalámbricas.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

En el modo BSS existe un punto de coordinación por el cual debe pasar todo el tráfico desde las estaciones inalámbricas hasta la red LAN, es decir que las estaciones inalámbricas no pueden

conectarse directamente y obligatoriamente tienen un intermediario (AP). Finalmente, en el modo ESS es la agrupación de algunas BSS que conforman una subred, con algunos APs y esta conexión puede ser cableada o inalámbrica. (Pellejero, Andreu y Lesta, 2006, p. 10-12)

La velocidad de transmisión y la frecuencia a la que trabajan las redes locales inalámbricas varían dependiendo la tecnología a la que los datos estén sujetos. A continuación, en la tabla 4-1 se muestra un resumen con las características de algunas versiones del estándar IEEE 802.11.

Tabla 4-1: Comparación entre las tecnologías WLANs.

Comparación entre las tecnologías WLANs					
Característica	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	HiperLAN2
Espectro	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz
Máxima tasa de transmisión	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Conexión	No orientado a conexión	Orientado a conexión			
Cifrado	RC4 de 40 bits	RC4 de 40 bits	RC4 de 40 bits		DES, 3DES
Multicast	Si	Si	Si	Si	Si
Soporte de redes fijas	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet, IP, ATM, UMTS, FireWire, PPP
Selección de frecuencias	FHSS o DSSS	DSSS	OFDM portadora única	DSSS y OFDM	Portadora única con selección dinámica de frecuencias.

Fuente: (Camargo, 2009, p. 9-10)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

El cifrado de redes WLAN hoy en día se realiza a través de un algoritmo llamado RC4 de RSA, el cual es un cifrado simétrico ya que se utiliza la misma clave y algoritmo para cifrar y descifrar la información, la clave es de longitud variable, aunque para el estándar 802.11 es de 40 bits. Además, para aumentar el nivel de seguridad, se deben usar otros mecanismos de protección más robustos como la clave compartida de acceso protegido WIFI (WPA-PSK). (Farkas y Cscs, 2009, p. 62)

1.2.1.4 Red inalámbrica de área metropolitana

Con el pasar del tiempo, el uso del estándar IEEE 802.16 ha despertado un gran interés entre los ISP para construir redes de área metropolitana, como una posible solución para respaldar la

comunicación inalámbrica de banda ancha con acceso fijo y móvil. Este estándar ofrece cobertura de banda ancha de alto rendimiento con respecto a las WLAN. (Rekhis y Boudriga, 2010, p. 25)

Principalmente son implementadas cuando el área a cubrir es mayor a los alcances de una red LAN. Estas distancias están alrededor de los 50 kilómetros

1.2.1.5 Red inalámbrica de área extensa

Las redes inalámbricas de área extensa (WWAN) tienen un gran alcance para la transmisión de datos, alrededor de los 100 kilómetros. Un ejemplo de este tipo de redes son las que utilizan telefonía móvil como GSM, GPRS, CDMA, UMTS y LTE.

1.2.2 Tecnologías inalámbricas

Después de realizar un estudio de los tipos de redes inalámbricas, es necesario analizar algunas de las tecnologías inalámbricas empleadas por cada estándar, para analizar su comportamiento y los beneficios que proporcionan en diferentes escenarios.

1.2.2.1 Bluetooth

Es la tecnología del estándar 802.15.1, en su traducción significa “diente azul”. Tiene un radio de 10 metros para su cobertura, donde el terminal móvil puede estar en movimiento e incluso no tener una línea de vista ya que las ondas pasan paredes u objetos que no contengan metal. Trabaja en el rango de frecuencias IMS de 2.4 GHz a 2.48 GHz a velocidades de transmisión desde los 720 Kbps hasta 1 Mbps. (Camargo, 2009, p.11)

Existen tres topologías definidas en las especificaciones del estándar, conexión punto a punto, conexión punto a multipunto simple (piconet) y conexión punto a multipunto múltiple (scatternet). Sus estructuras básicas se muestran en la figura 11-1, la conexión punto a punto se muestra en la conexión única del lado derecho, entre un maestro y un esclavo. (Kwok y Lau, 2007, p. 296)

Del lado izquierdo se presentan tres escenarios de piconets diferentes. Los maestros de Piconet 1 y Piconet 2 se conectan a tres esclavos respectivamente, mientras que el maestro de la Piconet 3 se conecta a dos esclavos. La conexión de estas tres piconets forma una sola red de dispersión. (Kwok y Lau, 2007, p. 296)

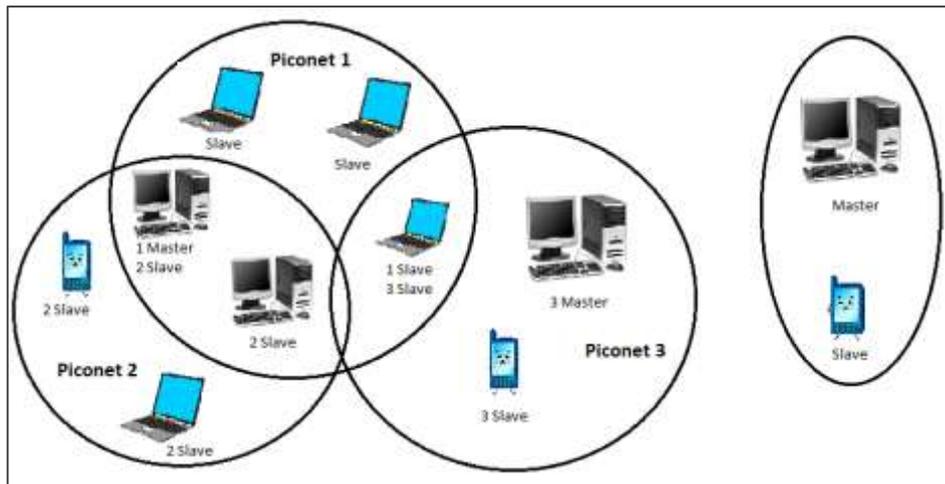


Figura 11-1: Topologías de Bluetooth.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Tal como se muestra en la figura 11-1, hay dos métodos para unir piconets, que es la conexión entre la Piconet 1 y 2, haciendo uso del puente maestro-esclavo, y la conexión entre la Piconet 1 y 3, que hace uso del puente esclavo-esclavo. (Kwok y Lau, 2007, p. 296)

1.2.2.2 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (BLE) es la tecnología principal de la versión 4.0 de Bluetooth, desarrollada por el grupo SIG, tiene como principal característica un bajo consumo de energía al funcionar. Trabaja en la misma banda de frecuencia que su antecesor, pero, a pesar de ello, tiene una distribución distinta de los canales.

La arquitectura del modelo de BLE que se muestra en la figura 12-1, está compuesta de tres partes: El controlador, el host y aplicación.

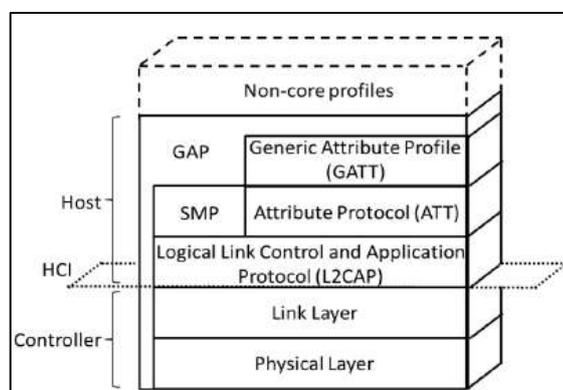


Figura 12-1: Pila de BLE.

Fuente: (Pérez, 2015, p. 2)

Dentro del controlador se encuentra la capa física, la capa de enlace y la interfaz de control del host de lado del controlador, que están encargados de la transmisión y recepción de señales de radio, mediante un sistema basado en chip (SoC). (Pérez, 2015, p.2)

A sí mismo en la parte del host, está conformado por algunas capas, como el perfil de accesos genérico (GAP), perfil de atributo genérico (GATT), protocolo de atributos (ATT), administrador de seguridad (SMP), protocolo de control y adaptación del enlace lógico (L2CAP) y la interfaz de control del host (HCI) pero de lado del host. Todos ellos tienen la funcionalidad de administrar la comunicación entre dos o más dispositivos mediante software. (Akhayad, 2016, p. 4)

1.2.2.3 GPRS

El servicio general de paquetes vía radio (GPRS), es un sistema de comunicaciones basado en su antecesor GSM, el cual presenta mejoras en la transmisión de datos para tener compatibilidad con redes LANs, WANs e internet ya que GSM permite solo el uso de llamadas de voz.

Para el envío de datos desde un usuario, éstos son encapsulados en pequeños paquetes con sus respectivas cabeceras con direcciones de origen y destino, tomando diferentes rutas hasta que lleguen a su destino, haciendo que la capacidad de transmisión sea compartida. La red es liberada al momento que se deja de enviar o recibir paquetes, de tal modo que GPRS utiliza la red radio sólo cuando es requerido. (Sánchez, 2005, p. 28)

Ciertas características relevantes según que tiene GPRS son: su velocidad de transmisión máxima teórica que rodea los 171.2Kbps, el tiempo de conexión es menor a un segundo y es de forma permanente, y la mejor de todas es que el pago de este servicio es por la información que se transmite, más no por el tiempo de conexión que se establece. (Prieto, 2007, p. 67)

1.2.2.4 Wi-Fi

Wi-Fi es la agrupación de algunos estándares bajo la especificación del estándar 802.11. El más común es el 802.11b debido a la frecuencia de 2.4GHz a la que trabaja y la tasa de transmisión de 11Mbps, la demás familia del estándar está descrita en la tabla 4-1.

Por lo general la tecnología wifi hace uso de la banda de frecuencia 2,4GHz que tiene 14 canales de 22MHz cada uno y una separación de 5MHz, por lo cual cada cuatro o dos canales existe superposición entre ellos, como se observa en la figura 13-1. Es por esto que los canales más usados en las configuraciones son el 1, 6 y 11. (ICTP, 2010)

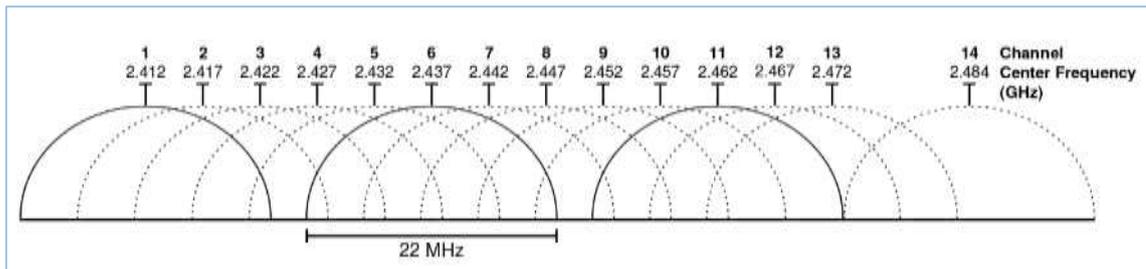


Figura 13-1: Canalización 802.11

Fuente: <https://www.netspotapp.com/images/upload/screens/channels-wiki.jpg>

En wifi la capa física trata de las técnicas para la transmisión de datos en frecuencias de radio, que son:

- **Salto de frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum o FHSS):** Este tipo de técnica transmite la información a una frecuencia en un intervalo de tiempo dado, luego de transcurrir este tiempo la información pasa a otra frecuencia que esté en la misma banda hasta que culmine la transmisión.
- **Espectro ensanchado por secuencia directa (Direct Sequence Spread Spectrum o DSSS):** Esta técnica consiste en reducir la señal en sus niveles de potencia y utilizar un ancho de banda mayor al que se transmite la señal, teniendo así mejoras en interferencias y llevando ventaja en cuanto al ruido.

Además, es importante mencionar el formato de las tramas MAC, comenzando por definir los componentes básicos que se pueden apreciar en la figura 14-1, como son: la cabecera que contiene una trama de control de 16 bits, duración, direccionamiento de 48 bits con puntos de origen y puntos de destino, y un control de secuencia. También un cuerpo de trama con longitud variable que dependerá de la información a transportar, y el checksum de 32 bits que tiene un código de redundancia. (Lopez, 2018, p. 17)

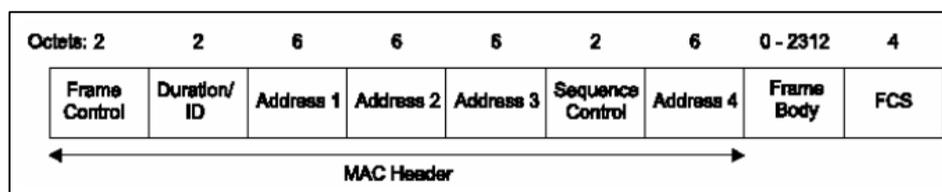


Figura 14-1: Formato de trama 802.11.

Fuente: (Lopez, 2018, p.17)

La trama de control, a su vez tiene algunos campos por definir, como sugiere los cuales son y se pueden apreciar en la figura 15-1:

- Versión: identifica la versión del protocolo 802.11
- Tipo y subtipo: Se refieren si la trama es de gestión, control o datos.
- DS: indican si la trama se envía o recibe del sistema de distribución.
- More Frag: indica si hace uso o no de fragmentación.
- Retry: indica si la trama hace retransmisión.
- Pwr Mgt: indica ahorro de energía.
- More Data: indica si existen tramas en espera.
- WEP: indica el uso del método de encriptado y autenticación.
- Order: indica si requiere ordenamiento estricto.

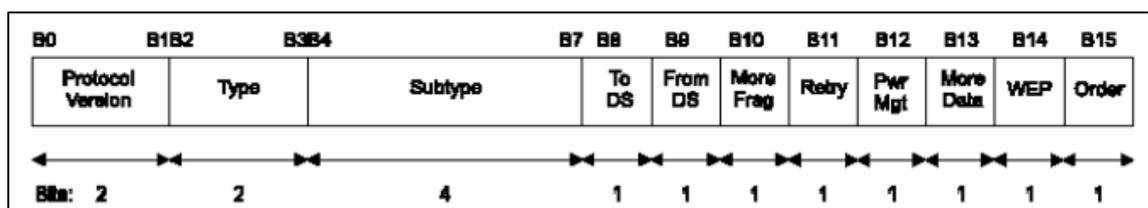


Figura 15-1: Trama de control 802.11

Fuente: (Lopez, 2018, p.17)

1.3 Telemedicina

El término telemedicina hace referencia al uso de las tecnologías de la información relacionadas directamente con la medicina o la salud de las personas, especialmente para casos cuando la distancia es un factor y el seguimiento a un paciente con alguna afección debe ser dado de forma constante. También resulta ser muy útil para tener un historial clínico en todo momento y al alcance del doctor tratante, ya sea que el enfermo haga cambios de hospitales, especialistas, etc.

En efecto, la telemedicina brinda servicios de atención sanitaria por profesionales que requieren de las TICS para transmitir datos y poder realizar diagnósticos, prevenir enfermedades y recetar tratamientos; además ayuda a la formación de otros profesionales para investigaciones posteriores, todo con la finalidad de mejorar la salud de las personas. (Ávila de Tomás, 2001, p. 54)

1.3.1 Servicios de Telemedicina

Dentro de la telemedicina se hace una clasificación de acuerdo a la información que se va a tratar y a las personas que estarán involucradas, tal como se muestra en la figura 16-1.

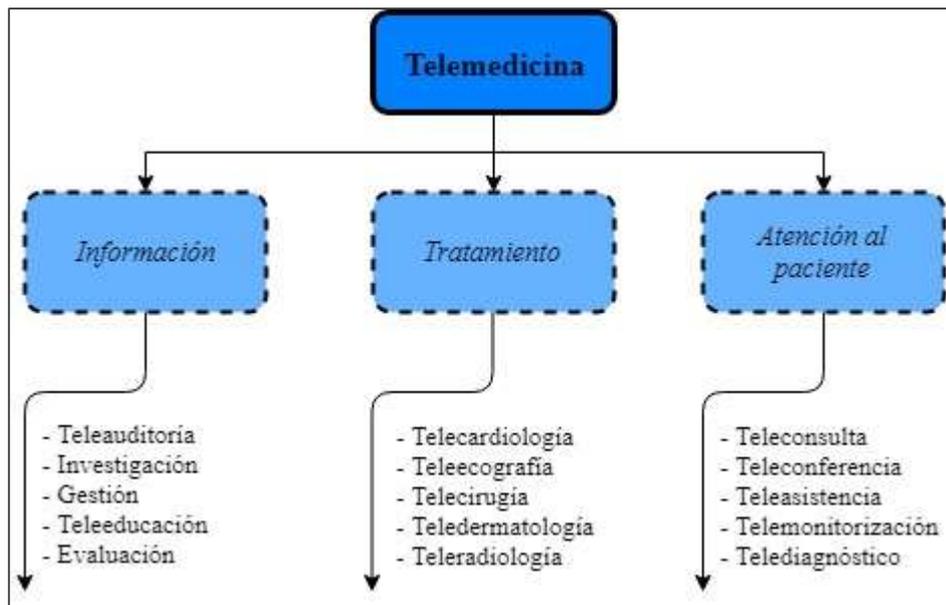


Figura 16-1: Clasificación de los servicios de la Telemedicina.

Fuente: (Arcila y Loaiza, 2010)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

Se puede observar que existen tres grandes grupos dentro de la telemedicina para su mejor estudio y comprensión en los servicios que ofrecen a las personas, para ello analizaremos en su mayoría cada caso a continuación.

En la rama de la información se tiene:

- Teleauditoría: Es una herramienta que permite conocer el estado del paciente después de haber recibido atención médica, realizándole una llamada telefónica y resolviendo un banco de preguntas para conocer su nivel de satisfacción.
- Teleeducación: Se refiere a la enseñanza médica a través de las TICS con la ayuda de videoconferencias, ya sea de uno a uno o tipo clase.

De tratamiento:

- Telecardiología: Es un mecanismo de diagnóstico y control para personas con problemas cardíacos que permiten al personal médico interactuar con el paciente en tiempo real o diferido y así evitar traslados. Entre los periféricos médicos necesarios se encuentran el estetoscopio o fonocardiograma, un electrocardiograma y una radiografía de tórax. (Arcila y Loaiza, 2010, p. 23)
- Telecirugía: Este proceso es desarrollado en casos en los que el médico no puede intervenir directamente con el paciente para una cirugía y se hace el uso de equipos tele-electrónicos

con tecnología alta, donde la precisión y visibilidad deben ser primordiales. (Pomares y Fernández, 2017, p. 7)

- **Tele dermatología:** Se define como la aplicación de la dermatología a distancia con el envío de imágenes y su visualización en tiempo real, así como también para el almacenamiento de las mismas. La cámara debe tener una alta resolución, un zoom óptico con buen aumento y sobre todo que permita el enfoque. (Arcila y Loaiza, 2010, p. 22-23)
- **Teleradiología:** Es una de los métodos más comunes en la telemedicina por el tratado de imágenes en diferentes centros hospitalarios, a pesar que aún es un tema de investigación por la precisión en la calidad.

De atención al cliente:

- **Teleconsulta:** Es un tipo de consulta a un especialista médico por parte de otros o a su vez del propio paciente, todo sobre videoconferencia en tiempo real o a su vez en tiempo diferido cuando la información se encuentra almacenada para su posterior diagnóstico.
- **Teleasistencia:** Es un servicio que se brinda especialmente a adultos mayores, personas que padezcan enfermedades crónicas o tengan alguna disfunción física (visión, audición, etc.) para lo cual necesitan ayuda externa. Se realiza presionando un botón de emergencia que activará una alarma 24/7 a ciertos servicios como policías, bomberos, hospitales; los cuales contarán con toda la información del paciente.
- **Telemonitorización:** Este proceso permite tener un seguimiento continuo del paciente con información de sus signos vitales, expedientes médicos, imágenes, resultados de exámenes y demás variables fisiológicas; logrando así evaluar el tratamiento médico o modificarlo en caso que sea necesario.

1.3.2 Representación de la información

Para la implementación de un canal de comunicación entre ambas partes (emisor y receptor) que intervienen en la telemedicina es necesario el estudio del tipo de datos que se va a transmitir como se muestra en la tabla 5-1, entre los más básicos se tiene: audio, imagen, video y texto.

Tabla 5-1: Tipo de datos en la telemedicina.

Información	Contenido	Formato	Tamaño (Bytes)	BW (Kbps)
Texto	Artículos científicos o divulgativos	TXT		64
	Antecedentes	DOC	800 KB	
	Historia clínica	PDF	80 KB	

	Resultados de exámenes			
Video	Pruebas de diagnóstico por imágenes dinámicas Intervenciones quirúrgicas Reportajes científicos	AVI MOV MPEG	- 800k - 140k - 253k	128 a 512 en general
Fotografías	Imágenes dermatológicas Pruebas de diagnóstico por imagen estática Anatomía patológica	GIF JPEG BMP TIFF	1 MB 9MB	46 285
Sonido	Voz Ruidos Biológicos	WAVE MIDI	8 KB 4 KB	32 64 128
Animaciones	Descripciones animadas Esquemas animados Mapas animados	MMM ANI	-	-
Gráficos y dibujos	Esquemas estadísticos Mapas estadísticos Diagramas estadísticos Gráficos estadísticos	PCX XLS	-	-

Fuente: (Ávila de Tomás, 2001, p. 55; Arcila y Loaiza, 2010, p. 26, 32-33)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

1.4 Internet de las cosas

El internet de las cosas – IoT (Internet of things), es un concepto creado con el avance del internet y los objetos que a través de la tecnología pueden conectarse sin la intervención humana, a través de actuadores, sensores, equipos de red, y más; los cuales convergen para la creación de distintas aplicaciones.

El origen de IoT surge en 1999 por Kevin Ashton, miembro de la comunidad de desarrollo de identificación por radiofrecuencia (RFID) y actualmente se ha convertido en un tema muy relevante en el mundo debido al crecimiento de dispositivos móviles, comunicaciones integradas y datos en la nube. (Yang, 2014, p. 247)

El uso de internet en la actualidad ha permitido crear una red de dispositivos de todo tipo y tamaño, vehículos, smartphones, cámaras, instrumentos médicos, sistemas industriales, animales, personas y edificios; todos conectados y donde la información de cada uno es compartida con un sistema que permita organizar, dar seguimiento y seguridad para el monitoreo en tiempo real. (Patel y Patel, 2016, p. 6122)

Como objetivo el IoT tiene crear un entorno en el que la información recolectada de cualquiera de los participantes (persona u objeto) pueda compartir de forma eficiente con otros en tiempo real. (Yang, 2014, p. 247)

1.4.1 Características

Entre las características más importantes según (Patel y Patel, 2016, p. 6123) de IoT se tiene:

- **Interconectividad:** Cualquier objeto puede estar conectado a la infraestructura de comunicación.
- **Servicios relacionados con los objetos:** Es capaz de proporcionar servicios como la protección de la privacidad y darles sentido a sus elementos físicos con los virtuales.
- **Heterogeneidad:** Los dispositivos en Iot son de diversas tecnologías ya que se encuentran basados en distintas plataformas y redes de computadores, lo cual hace que interactúen con otros dispositivos a través de diferentes redes.
- **Cambios dinámicos:** Tanto la cantidad de dispositivos como sus estados varían de forma dinámica. Por ejemplo, en modo activo e inactivo, conectado o desconectado, o el contexto del dispositivo como su ubicación.
- **Seguridad:** Es uno de los ámbitos más importantes al momento de diseñar una red basada en IoT. Asegurar la infraestructura para prevenir de ataques informáticos que pongan en riesgo los datos que se manejan.
- **Conectividad:** Permite el acceso y la compatibilidad de la red, lo que proporciona la capacidad de acceder y producir datos.

1.4.2 Arquitectura

En la figura 17-1 se puede observar la arquitectura de IoT que se basa en niveles o capas de tecnologías y muestran la funcionalidad de cada una de ellas.



Figura 17-1: Arquitectura de IoT.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

La capa de dispositivos se encuentra en el nivel más bajo, los sensores permiten la interconexión del mundo físico con el digital recolectando información para su procesamiento. Existen diferentes sensores de acuerdo a la finalidad que tienen. Toman medidas como temperatura, calidad de aire, flujo, etc. En ciertos casos éstos sensores tiene capacidad de almacenamiento que permite registrar un número de mediciones. (Patel y Patel, 2016, p. 6124)

Según el portal de estadísticas (Statista, 2018) se prevé que para el año 2020 el número de dispositivos conectados a IoT a nivel mundial será de 50100 millones, ya que en el año 2012 fue de 8700 millones tal y como se muestra en la figura 18-1.

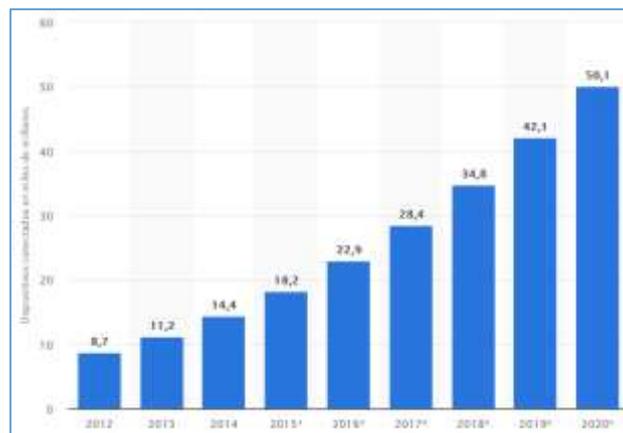


Figura 18-1: Dispositivos conectados a IoT entre 2012 a 2020.

Fuente: (Statista, 2018)

La mayoría de los sensores requieren de un Gateway, como es el caso de redes LAN y redes de área personal. En el caso de los que no requieren de una puerta de enlace su conectividad con los servidores se realiza a través de redes WAN como GSM, GPRS y LTE. Y los sensores de baja potencia y baja velocidad forman redes WSN. (Patel y Patel, 2016, p. 6124)

La capa de comunicaciones es la que se encarga de la conectividad de los dispositivos y la nube, a través de protocolos. Entre los más usados se encuentran el HTTP, MQTT 3.1/3.1.1, CoAP, TCP, UDP. (Barberá, 2016, p. 16)

El servicio de gestión procesa la información analizándola, administrando los dispositivos y realizando controles de seguridad de cada evento o de los datos contextuales, que requieren de filtrado o enrutamiento a sistemas de pos-procesamiento. Es decir, toman decisiones inteligentes en la captura de datos sensoriales periódicos. Para finalizar, la capa de aplicación cubre entornos o espacios inteligentes como una fábrica, un hospital, vivienda, transporte, medio ambiente y energía. (Patel y Patel, 2016, p. 6125)

1.4.3 Protocolos para la comunicación en IoT.

En el desarrollo de aplicaciones de IoT, es importante analizar algunos de los protocolos que hacen posible la comunicación entre los dispositivos y la nube.

1.4.3.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

El protocolo de mensajería instantánea MQTT fue desarrollado por IBM y Eurotech en 1999 y estandarizado en el año 2013. Tiene como objetivo conectar dispositivos integrados con recursos ilimitados o bajo ancho de banda y redes con aplicaciones y middleware, utiliza el método de publicación/suscripción para proporcionar flexibilidad de transición y simplicidad en la implementación. (Al-Fuqaha et al., 2015, p. 2354)

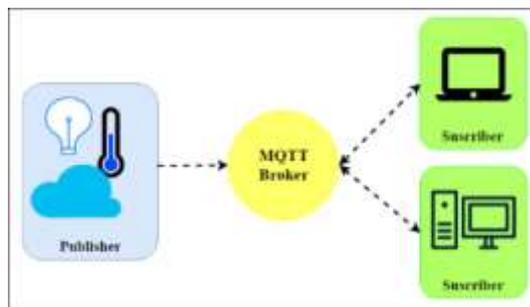


Figura 19-1: Arquitectura de MQTT.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

En la figura 19-1 se observa los tres componentes de MQTT y según (Karagiannis et al., 2010, p. 4; Al-Fuqaha et al., 2015, p. 2354) son:

- **Publisher:** Cada cliente puede ser un publisher registrados que generan datos en específico (temperatura, CO2, on/off) los cuales se transmiten a través del broker.
- **Broker:** Hace de intermediario entre Publisher y suscriber, notificando al suscriber cuando el Publisher haga el envío de datos. En este nivel se aplica seguridad al pedir datos de autenticación como nombre de usuario y una clave.
- **Suscriber:** Es una entidad a la que se transmite toda la información del Publisher, en especial de temas en específico. Recibe mensajes automáticos cada vez que hay una nueva actualización.

1.4.3.2 CoAP (Constrained Application Protocol)

Protocolo de aplicación restringida (CoAP) es un protocolo que utiliza el mismo fundamento que HTTP, se basa en el modelo cliente/servidor que sirve para transferir documentos de internet y recibir una respuesta como se puede observar en la figura 20-1. Donde el servidor hace referencia a los sensores establecidos en un entorno y proveen de la información, y el cliente son los usuarios que tienen acceso a esta información con permisos de modificación. (Chuqui, 2016, p. 10)

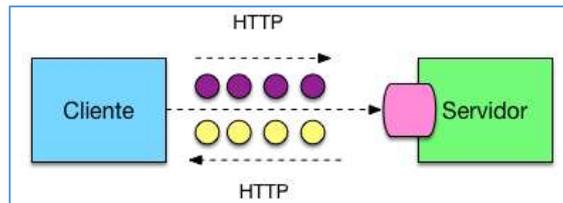


Figura 20-1: Modelo cliente/servidor.

Fuente: <https://www.arquitecturajava.com>

Este tipo de protocolo se ejecuta sobre UDP sin conexión, con direccionamiento multicast y unicast, implementando el estilo de arquitectura REST (Representational State Transfer) con los comandos de HTTP: GET, POST, PUT y DELETE. La razón de diseñar un protocolo de capa de aplicación basado en UDP para administrar los recursos es eliminar la sobrecarga de TCP y reducir los requisitos de ancho de banda. (Karagiannis et al., 2010, p. 3)

1.4.3.3 XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol)

Es un protocolo de mensajería instantánea (IM) estandarizado por IETF: RFC 3920, se utiliza para el envío de mensajes tipo chat, llamadas de voz y videollamadas. Fue desarrollado por la comunidad de código abierto Jabber para soportar un protocolo de mensajería abierto, de tipo seguro, libre de spam y descentralizado, permitiendo a los usuarios comunicarse enviando mensajes entre sí mediante internet. XMPP permite que aplicaciones desarrolladas para mensajería instantánea tengan autenticación, control de acceso, privacidad, compatibilidad con otros protocolos y el cifrado sea de extremo a extremo. (Al-Fuqaha et al., 2015, p. 2355)

1.4.4 Modelos de comunicación para IoT.

Básicamente, los modelos de comunicación permiten identificar el comportamiento de los dispositivos dentro de Iot. Para ello se han identificado cuatro modelos designados por el Comité de Arquitectura de Internet (IAB) a través del documento RFC7452:

- Comunicación Dispositivo – Dispositivo
- Comunicación Dispositivo – Internet
- Comunicación Dispositivo – Gateway
- Comunicación Back-End

1.4.4.1 Modelo de comunicación dispositivo – dispositivo

Dos o más dispositivos son conectados entre sí, figura 21-1, sin la necesidad de tener un servidor que haga de intermediario. Entre los protocolos que operan bajo este modelo se encuentran Bluetooth, ZigBee, Z-Wave; a pesar que también pueden estar bajo el protocolo de internet IP. Son muy útiles para automatizar sistemas en el hogar, como el encendido o apagado de bombillas, cerraduras, interruptores, entre otros. (Rose, Eldridge y Chapin, 2015, p. 19)

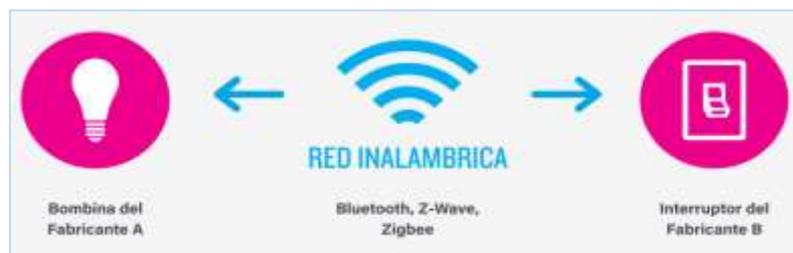


Figura 21-1: Dispositivo – Dispositivo

Fuente: (Rose, Eldridge y Chapin, 2015, p. 20)

1.4.4.2 Modelo de comunicación dispositivo – internet

Este modelo de comunicación permite cargar los datos y manejar el tráfico de mensajes del sensor a un proveedor de servicios de aplicaciones, figura 22-1, que usualmente es de la misma marca del sensor y no existen problemas de interoperabilidad. Es basado en el modelo TCP/IP, usando por lo general conexiones Ethernet o Wi-Fi, aunque con el avance tecnológico está también 4.5G. (Tschofenig, Thaler y Mcpherson, 2015, p. 6)



Figura 22-1: Dispositivo – Nube

Fuente: (Rose, Eldridge y Chapin, 2015, p. 21)

1.4.4.3 Modelo de comunicación dispositivo – Gateway

El modelo descrito en la sección 1.4.1.3 se sugiere para objetos inteligentes que cuentan con su propio proveedor de sensores y aplicaciones, especialmente basados para redes 802.11. Pero en el caso de convergencia hacia tecnologías de menor radio como 802.15.4 o que no estén basadas en el protocolo de internet es necesario introducir una nueva forma. (Tschofenig, Thaler y Mcpherson, 2015, p. 7)

En la figura 23-1 se muestra el modelo de comunicación dispositivo – Gateway el cual evita problemas de interoperabilidad uniendo diferentes tecnologías de red.



Figura 23-1: Dispositivo – Gateway

Fuente: (Rose, Eldridge y Chapin, 2015, p. 22)

Dentro del dispositivo de puerta de enlace se ejecuta un programa de aplicación, haciendo de intermediario entre el dispositivo con sensor y la nube para proveer seguridad y traducción de protocolos. En algunos casos se usa para integrar datos de dispositivos que se encuentran en IPv4 e IPv6. (Rose, Eldridge y Chapin, 2015, p. 21-22)

1.4.4.4 Modelo Back - End

Este modelo de comunicación, figura 24-1, permite la recolección de datos de algunos dispositivos o sensores para analizarlos en un servicio de la nube, en conjunto con otras fuentes para así hacer la toma de decisiones inteligentes.



Figura 24-1: Back – End

Fuente: <https://i0.wp.com/www.ermesh.com>

Tiene algunas aplicaciones en diferentes ramas como por ejemplo en lo empresarial el Big Data; también es útil para deportistas que deseen conocer sus avances, mediante algunos sensores en el cuerpo que midan su presión, actividad eléctrica de los músculos, los movimientos del corazón, entre otros.

1.5 Plataformas de desarrollo SW de IoT.

Una plataforma de desarrollo de software, es el entorno que sirve para crear aplicaciones en el mundo del internet de las cosas, bajo un lenguaje de programación factible para desarrolladores. Existen de diferentes tipos, como las plataformas Open Source que ayudan en áreas de investigación o con fines educativos; o las que se comportan como ecosistemas, es decir que ofrecen hardware y software.

1.5.1 IBM IoT.

Es una plataforma cognitiva para el desarrollo de aplicaciones empresariales que ayudan a mejorar la gestión de los profesionales, permitiendo que sus aplicaciones se comuniquen a los datos recopilados por sus dispositivos, sensores y gateways conectados. (Khriyenko, Ibrahim y Chanda, [sin fecha], p. 2)

Según (IBM, 2018, p. 1) se caracteriza por:

- La conexión está basada en protocolos y estándares como MQTT, Python, Node.js, Java y C#, con instrucciones sencillas para su elaboración y administración.
- Tiene un control de los datos que se reciben, para su gestión con otros servicios y plataformas.
- Permite un análisis en tiempo real de los datos y define normas para la ejecución de tareas automáticas en casos de alertas.

- Realiza una gestión en el ámbito de la seguridad de los datos basada en políticas, para que la información transmitida sea íntegra.

1.5.1.1 Funcionamiento

En la figura 25-1 se puede definir un paso a paso del funcionamiento de la plataforma IBM cuando se va a desarrollar un proyecto. Inicialmente los datos son recopilados por un dispositivo, sensor o un Gateway, y son enviados mediante el protocolo de mensajería MQTT. En la plataforma se configuran y administran los dispositivos conectados para que las aplicaciones puedan tener acceso a los datos en tiempo real o almacenado. Finalmente se tiene acceso a las aplicaciones en la nube, ya sea de IBM o algún otro servidor, que permite la visualización y el análisis con una interfaz gráfica amigable. (IBM, 2018, p. 1)

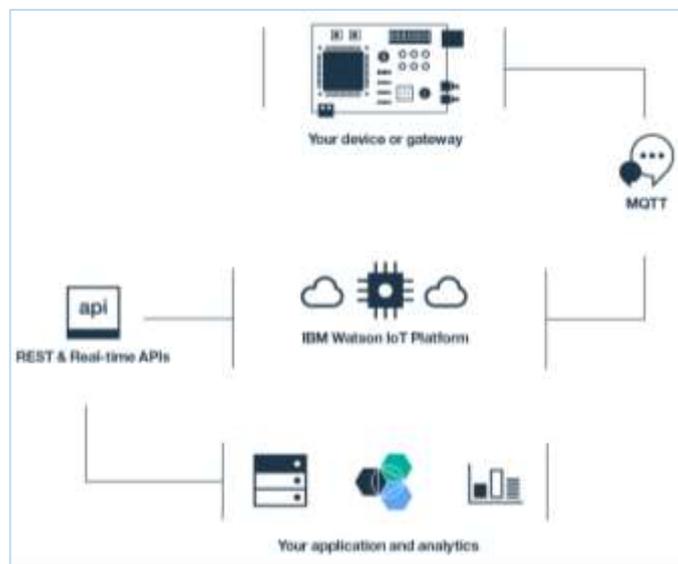


Figura 25-1: Diagrama de funcionamiento de IBM IoT.

Fuente: <https://console.bluemix.net/catalog/services/internet-of-things-platform>

1.5.2 Ubidots

Es una plataforma de IoT desarrollada por los colombianos Agustín Peláez y Jorge Cardona, con la idea de no solo tener información en la nube, sino también automatizar entornos, con la ayuda de un sistema que hace un análisis de diferentes señales tomadas de sensores, figura 26-1, para realizar acciones como envío de alertas, mensajes de texto o correos electrónicos.

Conecta los dispositivos a la API mediante los protocolos HTTP, MQTT, UDP y TCP. Recibe los datos y los almacena por un periodo de hasta tres meses.



Figura 26-1: API Ubidots.

Fuente: https://ubidots.com/docs/images/gif/intro_dashboard.gif

1.5.3 ThingSpeak

Es una plataforma Open Source que permite subir datos a la nube a través de los sensores instalados en ciertos entornos, a través de una API mediante el protocolo HTTP. Se caracteriza porque permite el análisis de los datos conectándose directamente a Matlab, con lo que se puede calcular nuevos datos o generando tablas de fácil entendimiento.

1.6 Plataformas de desarrollo HW de IoT.

Es un hardware que cuenta con un microprocesador muy útil al desarrollar alguna aplicación o prototipo de dispositivo, en su mayoría tienen su propio lenguaje de programación, pero también trabajan bajo algún sistema operativo.

1.6.1 Arduino

El sistema de código abierto, Arduino, es una plataforma para la implementación de prototipos electrónicos capaces de conectar el mundo físico con el mundo virtual, mediante la programación en un lenguaje similar al C++ que permite controlar sensores, alarmas, motores, sistemas de comunicaciones, actuadores, o cualquier proyecto de innovación electrónica. (Tapia & Manzano, 2013, p. 25) La figura 27-1 muestra algunos modelos de Arduino.



Figura 27-1: Modelos de la familia Arduino.

Fuente: <https://slideplayer.es>

Al reducir su trabajo con el uso de microcontroladores, se tiene un sinnúmero de ventajas con respecto a otras plataformas, entre las que más se puede destacar, como lo indica (Enríquez Herrador, 2009, p. 9):

- El bajo costo que tiene tanto para la placa principal, como para otros complementos.
- El IDE tiene compatibilidad con los sistemas operativos más populares, ellos son: Windows, Mac y GNU/Linux. Además, es de fácil manipulación para principiantes y de gran provecho para personas con experiencia.
- Al ser una herramienta de OpenSource, es también prolongable para incrementar librerías que no se encuentren en el IDE, además de estar basado en microcontroladores de Atmel que permite crear una propia versión del módulo.

1.6.2 Intel Galileo

Es una placa creada por Intel para el desarrollo de proyectos, tiene compatibilidad con Arduino IDE y algunas de sus librerías, lo que permite el uso del mismo código. Se puede decir que es más que un microcontrolador, o tal vez un microprocesador por su capacidad de cómputo ser superior, ya que su diseño está basado en SoC (Sistem on a chip) Intel Quarc X1000, es decir que la mayor parte del sistema está cargado en un chip. (Pérez, 2015, p. 14).

La figura 28-1, a continuación, muestra las dos versiones de la tarjeta Intel Galileo.

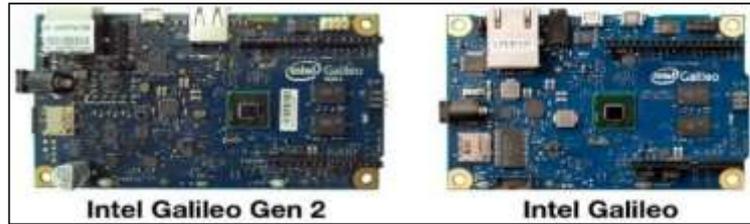


Figura 28-1: Versión 1 y 2 de Intel Galileo.

Fuente: <https://i.pining.com/>

1.6.3 MySignal

MySignal es una plataforma propia de Libelium para que desarrolladores en el área médica y de IoT puedan crear aplicaciones de software eHealth, figura 29-1. El grupo de sensores es capaz de medir veinte parámetros corporales diferentes, los cuales son enviados a la nube de Libelium y así poder tener un registro en tiempo real de los datos.

Los dispositivos de MySignal no son creados para diagnosticar, curar o terminar con alguna enfermedad, son simplemente una ayuda para áreas de investigación a través de las cuales se pueda hacer un estudio con el análisis de resultados.

Anteriormente, la versión de esta plataforma era conocida como eHealth v2 y estaba conformada por un grupo de 10 sensores. En la actualidad el número de sensores aumentó a 16, algunos de ellos con conectividad BLE, también tuvo mejoras en sus microcontroladores, robustez y una visualización de los datos en tiempo real con una pantalla TFT.

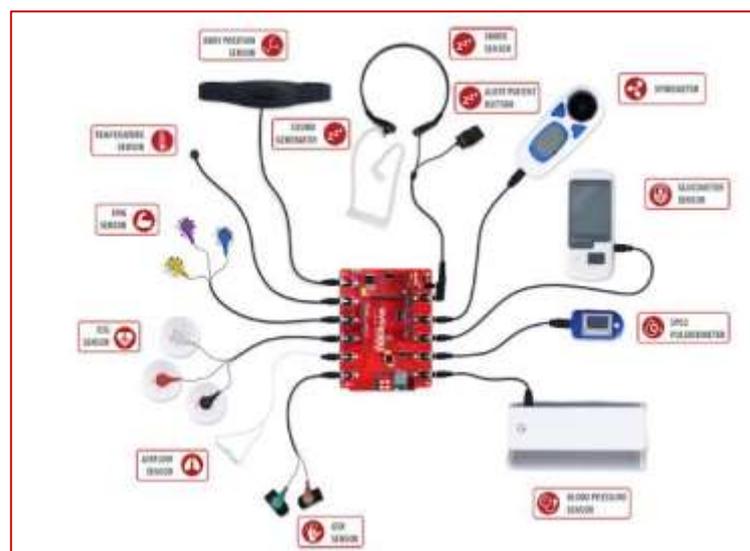


Figura 29-1: Shield de MySignal con el grupo de sensores.

Fuente: <https://www.cooking-hacks.com>

1.6.3.1 Sensores médicos

Los sensores médicos son dispositivos que permiten obtener señales del cuerpo humano, ya sea físicas, químicas o biológicas; para su posterior análisis. Existen diferentes tipos, entre ellos están los implantados en el cuerpo y los que se ubican sobre el cuerpo. Permiten el control de alguna afección en el cuerpo y dar seguimiento al paciente.

1.7 Token de autenticación

Un token de seguridad es una cadena de de números y letras formados de manera aleatoria, que permiten identificar un dispositivo de forma segura. Es generado en el lado del servidor y se transmite directamente hacia el cliente, cada vez que este desee actualizar la información. (Blancarte, 2017)

1.7.1 JSON Web Token

Es un estándar basado en formato JSON que garantiza la validez de la información entre aplicaciones o servicios web, creando un token. La estructura de un JWT está compuesta en tres partes: header, payload y signature. (Xalambri, 2016)

Según (Azaustre, 2015) se definen así:

- Header: Es la cabecera y contiene el tipo y el algoritmo del estándar, en este caso JWT y HS256, respectivamente.
- Payload: Contiene los datos del usuario, entre ellos: ID, nombre y su rol, además se puede agregar fechas de creación y expiración del token.
- Signature: Está compuesta por la cabecera y la carga útil, y es la parte final del token donde se comprueba que la sesión es correcta. Va cifrado en Base64 con clave secreta.

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este capítulo es necesario definir los posibles escenarios que se van a implementar para realizar la evaluación de las distintas tecnologías inalámbricas a las que puede conectarse la tarjeta de desarrollo de sensores biomédicos. Es decir, se explicará cada componente de hardware y software que se utilizarán con sus funciones específicas en el desarrollo del prototipo.

El objetivo primordial de este trabajo es evaluar y definir un tipo de comunicación que sea adecuada para una aplicación médica entre doctor – paciente, la cual ayude a controlar ataques de disnea y sensaciones de ahogo que son los síntomas más comunes en personas con EPOC.

2.1 Requerimientos del sistema

Luego de analizar todo el fundamento teórico en el capítulo anterior, es necesario definir los requerimientos de hardware y software, que debe cumplir el prototipo de IoT para dar el seguimiento a personas con EPOC, analizando el mejor tipo de comunicación y tecnología inalámbrica, mostrando un detalle a continuación:

- Implementar un sistema que sea amigable con el usuario para tener una buena visualización de los datos en la nube y en el prototipo para que el médico pueda realizar una buena valoración.
- Obtener señales biomédicas a través de la medición con sensores no invasivos a personas con problemas de respiración.
- Los sensores deben estar calibrados para obtener mediciones parecidas a las obtenidas en laboratorio.
- Enviar mensajes de alerta al médico cuando algún indicador esté por debajo del valor promedio.
- Establecer la tecnología que mejor se adapte, teniendo en cuenta que las características más importantes para el sistema son: un área de cobertura no tan amplia, una tasa de transferencia considerable para cada punto de conexión, y la seguridad de los datos.

2.2 Concepción del sistema

La figura 1-2 es una recreación general del sistema, la cual está formada por diferentes etapas que se detallaran a continuación:

Inicialmente se realiza una toma de muestras con los sensores sobre el paciente de forma invasiva con un enlace alámbrico a la placa de la plataforma y de este modo se hace una recolección de síntomas del paciente. Mediante una conexión inalámbrica (Wifi o GPRS) se hace el envío de los datos a la nube, donde se tendrá un servidor de IoT que permitirá hacer un control en tiempo real o de datos almacenados. Finalmente, el doctor podrá tener acceso a la información de cada paciente mediante un perfil para hacer revisiones de sus estados. También recibirá alertas cuando algo no esté dentro de valores normales.



Figura 1-2: Estructura general del escenario.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

2.2.1 Arquitectura del hardware del sistema.



Figura 2-2: Diagrama de bloques del sistema.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

El diagrama de bloques de la figura 2-2 representa cada etapa en cuatro bloques del prototipo de IoT: bloque de recopilación que se encarga de obtener la información a través de los sensores, el bloque de alimentación provee de energía a las placas de los circuitos mediante una fuente de poder de 7v, bloque de transmisión que está conformado por el módulo SIM900 que hace uso de

la red celular mediante GPRS y permiten el envío de los datos hasta el servidor de IoT; y por último el bloque de procesamiento conformado por las tarjetas de desarrollo de la plataforma MySignal HW y Arduino UNO, que trabajan en conjunto con los demás bloques.

2.3 Selección de la tecnología a implementar.

Entre algunos de los tipos de tecnologías inalámbricas disponibles que permiten el uso de sensores en proyectos de IoT son: Wifi, Bluetooth y Zigbee. En la tabla 1-2, se encuentran las características que se evaluaron para la selección de la tecnología en la implementación del presente trabajo de titulación, con el método sinérgico de Brown y Gibson ya que, es un algoritmo que califica de acuerdo a las cualidades o características de las opciones que se tiene.

Tabla 1-2: Características de tecnologías inalámbricas.

Características	Wifi-802.11b	Bluetooth Low Energy 4.0	Zigbee
Alcance	32 m	10 m	10 m
Velocidad de transmisión	11 Mbps	1 Mbps	20 - 250kbps
Consumo de energía	Alto	Bajo	Bajo
Cifrado	RC4 de 40 bits	LTK 16bits	Simétrico
Potencia	100mW (20dBm)	10dBm	1mW (0dBm)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Fuente: (Akhayad, 2016; Instituto Nacional de Ciberseguridad de España, 2016; Garijo y Falcone, 2016; Martín Moreno y Ruiz-Fernandez, 2007; Torres Romero, 2017)

El alcance en tecnologías inalámbricas se refiere a la distancia máxima en la que dos dispositivos pueden comunicarse, es decir el área de cobertura. En este caso por cuestión de privacidad de la información, no se requiere que el área de cobertura sea muy grande, inclusive para evitar problemas de interferencia.

La velocidad de transmisión es una medida del número de bits transferidos por segundo, para este sistema la velocidad de transmisión es mínima debido a pequeñas cantidades de información entre los sensores y el dispositivo central, esto provoca que se use una menor potencia de transmisión y un menor consumo energético.

El tamaño de los paquetes que se van a enviar desde el sensor a la placa principal es de 1 y 2 bytes, razón por la cual no es necesaria una tecnología tan robusta en cuanto a la transmisión de datos.

El cifrado es un mecanismo de protección que permite asegurar la información, para lograr este objetivo se usan algoritmos en donde uno es más sofisticado que otro, dependiendo la gestión de claves.

En base a cada tecnología se tiene una valoración del 1 al 4 de cada característica establecida por niveles de importancia como se muestra en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Escala de calificación.

1	2	3	4
Nada importante	Poco importante	Importante	Muy Importante

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

La tabla 3-2 muestra el resultado de la ponderación de los factores que con ayuda de la tabla 2-2 se asignó una calificación de acuerdo al prototipo que se desea implementar.

Tabla 3-2: Ponderación de factores.

ID	Características	Wifi-802.11b (A)	Bluetooth Low Energy 4.0 (B)	Zigbee (C)
F1	Alcance	1	4	4
F2	Velocidad de transmisión	1	3	3
F3	Cifrado	3	4	1
F4	Consumo de energía	1	4	4
F5	Potencia	1	3	4

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

A continuación, se describen el grado de significancia de los criterios de cada una de las características:

- El alcance es el factor más importante entre todos.
- La potencia es más importante que la velocidad de transmisión.
- La velocidad de transmisión es más importante que el cifrado.
- El cifrado es más importante que el consumo de energía.
- El consumo de energía es el factor con menor grado de importancia.

En la tabla 4-2, se determina el valor relativo (peso) con valores binarios de cada una de los factores, de acuerdo a las condiciones establecidas anteriormente. El peso de cada factor se determina con la siguiente fórmula:

$$Peso_i = \frac{Total_i}{Suma}$$

Tabla 4-2: Grado de importancia de los factores.

	F1	F2	F3	F4	F5	Total	Peso
F1	-	1	1	1	1	4	0,4
F2	0	-	1	1	0	2	0,2
F3	0	0	-	1	0	1	0,1
F4	0	0	0	-	0	0	0,0
F5	0	1	1	1	-	3	0,3
Suma						10	1

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Se procede a encontrar un valor relativo (calificación), tabla 5-2, a cada factor en base a cada tecnología. El valor total de cada idea es trasladado de la tabla 3-2 y se obtiene una suma de todos ellos para cada factor. La calificación se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Calif_i = \frac{Total_i}{Suma}$$

Tabla 5-2: Calificación cuantitativa de los factores.

Factores	F1		F2		F3		F4		F5	
	Total	Calif								
A	1	0,111	1	0,333	3	0,375	1	0,111	1	0,125
B	4	0,444	3	0,500	4	0,5	4	0,444	3	0,375
C	4	0,444	3	0,167	1	0,125	4	0,444	4	0,500
SUMA	9		7		8		9		8	

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Al final se encuentra un valor relativo de cada tecnología, tabla 6-2. La tecnología ganadora se determina con el que tenga el valor total más alto, trasladando la columna del PESO de la tabla 4-2 y las respectivas calificaciones de la tabla 5-2, realizando un producto entre estos dos valores.

Tabla 6-2: Relación de valores cuantitativos con el peso de los factores.

Ideas	PESO	A		B		C	
		Calif	Total	Calif	Total	Calif	Total
F1	0,4	0,111	0,044	0,444	0,178	0,444	0,178
F2	0,2	0,333	0,067	0,500	0,100	0,167	0,033
F3	0,1	0,375	0,038	0,5	0,050	0,125	0,013
F4	0,0	0,111	0	0,444	0	0,444	0
F5	0,3	0,125	0,038	0,375	0,113	0,500	0,150
			0,186		0,440		0,374

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Como se observa en la tabla 6-2, la tecnología ganadora es la B o Bluetooth 4.0, puesto que obtuvo el valor de 0,440.

Según (Beltrán, 2016, p. 26) define que para el uso de aplicaciones enfocadas a e-Health, la mejor tecnología es el Bluetooth Low Energy ya que se impone a otros protocolos de baja energía como Zigbee y más aún a WiFi y Bluetooth clásico por el alto consumo energético que estas poseen.

2.4 Selección de los elementos para la implementación del sistema.

Para la implementación del prototipo de IoT es necesario detallar cada componente electrónico que se va a utilizar, como los sensores y circuitos.

2.4.1 Tarjetas de desarrollo

Cabe recalcar que para la selección de cada componente del sistema se optó por usar específicamente el MySignal HW y Arduino UNO por cuestión de compatibilidad y conexión con los sensores médicos que la plataforma Libelium ofrece.

2.4.1.1 Arduino UNO

El arduino UNO, figura 3-2, es una placa de código abierto para el desarrollo de hardware basado en ATmega328, con voltaje de entrada de 7 a 12 voltios, 32k de memoria flash, 14 pines digitales de los cuales 6 proporcionan salida PWM y un cristal de cuarzo (reloj) de 16 MHz. Su conexión es sencilla ya que solo requiere de conectar a la computadora a través de un cable USB o con un adaptador de CA a CC. (Store, 2014)



Figura 3-2: Arduino UNO

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

2.4.1.2 MySignal HW

Este tipo de placa, figura 4-2, es una versión compatible con Arduino para el desarrollo de investigaciones en casos de estudio médicos. Integra sus propios sensores, a pesar que se pueden adaptar otros que no se encuentren en el kit. Realiza una conexión directa a la nube mediante transmisión WiFi, Bluetooth, 3G, 4G, GPRS, ZigBee y BLE, mediante aplicaciones móviles o en sitios web.

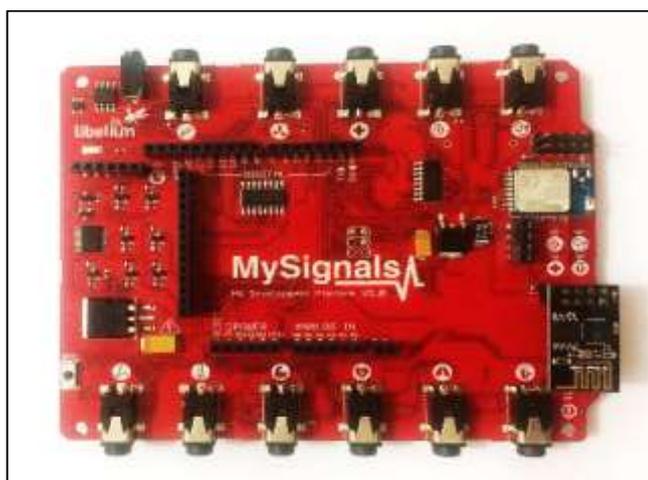


Figura 4-2: MySignal HW.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

En la tabla 7-2 se detalla las características del módulo MySignals HW.

Tabla 7-2: Características generales de MySignal HW.

Arquitectura	Compatible con arduino
Microprocesador	Atmega 328 (Arduino UNO)
Memoria RAM	2K
Memoria Flash	32K
Socket UART	1 (multiplexado)
Case	No
SDK	No
Pantalla	TFT (gráficos básicos)
Pantalla Touch	Si
Almacenamiento en la nube	Si
Aplicación iOS/Android	Si
API Cloud	Si

Número de sensores	16
Tecnologías inalámbricas	BLE, WiFi
Tecnologías inalámbricas extras adaptables	BT, ZigBee, 4G/3G/ GPRS

Fuente: <http://www.my-signals.com/>

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

2.4.1.3 Módulo GSM/GPRS Sim 900

El módulo de SIM900, figura 5-2, básicamente cumple la función de incorporar un celular al desarrollo de proyectos, para el envío de SMS, datos por internet, llamadas e incluso servicio de fax con el uso de las bandas de GSM y GPRS. Utiliza comandos UART que son controlados vía UART. Tiene compatibilidad con algunas versiones de ARDUINO como UNO y MEGA. En la tabla 8-2 se detallan más características de la arquitectura de este shield.



Figura 5-2: Módulo Sim 900

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Tabla 8-2: Características generales de SIM900.

Descripción	Características
Frecuencias de operación (MHz)	850 / 900 / 1800 /1900
Conectividad GPRS	Multi-slot 10/8
Potencia de Tx	Clase 4: 2W (850 / 900 MHz) Clase 1: 1W (1800 / 1900 MHz)
Rango de alimentación	3.1 – 4.8 V en DC
Downlink	85.6 kbps
Protocolo	TCP/UDP integrado

Fuente: (Electrónica Elemon S.A., 2018, p. 1-2)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

2.4.2 *Sensores del sistema*

Para la selección de los sensores es importante analizar los síntomas de la EPOC, como se realizó en el capítulo uno, sección 1.1.4, y en definitiva es necesario que para el presente trabajo de titulación existan una recolección de señales en los pacientes como la frecuencia respiratoria, volumen y flujo de aire, y la cantidad de oxígeno en la sangre.

2.4.2.1 *Sensor de flujo de aire.*

El sensor de flujo de aire, figura 6-2, controla la frecuencia respiratoria de una persona, es decir cuando esta es anormal y sufre de cambios bruscos. Por lo general ayuda en casos de hipoxemia y apnea. El rango para medir la frecuencia respiratoria que está dada en PPM van desde 0 a 60ppm y la intensidad respiratoria dada en voltios es desde 0 a 3.3v. (Libelium Comunicaciones, 2017, p. 126)

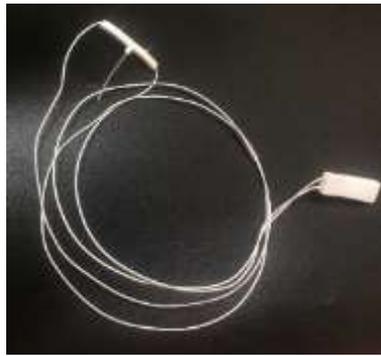


Figura 6-2: Airflow.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

2.4.2.2 *Espirómetro*

La espirometría es una prueba que mide la función pulmonar, es decir la cantidad de aire (volumen) y la velocidad de aire (flujo) que puede una persona inhalar y exhalar. Es una herramienta común para determinar avances de afecciones como asma, fibrosis pulmonar, fibrosis quística y EPOC. (Libelium Comunicaciones, 2017, p. 190)



Figura 7-2: Espirómetro.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

Dentro las características principales del espirómetro de MySignal, figura 7-2, es que tiene la capacidad de medir manualmente el flujo espiratorio forzado (FEF) y el volumen espiratorio forzado en un minuto (FEV1). A continuación, en la tabla 9-2 se muestra el rango de medidas de cada parámetro.

Tabla 9-2: Valores de Referencia para espirometría.

Parámetro	Unidad de medida	Rango	Precisión	Resolución
Volumen	L	0.01L-9.99L	± 0.050L o ±3%	0.01L
Flujo de aire	L/min	50L/min ~ 900 L/min	±10% o ±20L/min	1L/min

Fuente: (Libelium Comunicaciones, 2017, p.191)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

2.4.2.3 Pulsioxímetro

Este sensor, figura 8-2, es un dispositivo que permite medir el pulso y la saturación de oxígeno en la sangre de forma invasiva y automática, con dos parámetros que son la hemoglobina y desoxihemoglobina. Utiliza dos longitudes de onda de 660nm y 940nm. Es necesario en casos donde el paciente tenga niveles de oxigenación inestable y se tenga que determinar la aplicación de oxígeno suplementario. El rango normal de un paciente es de 95 a 99%, y para aquellos que tengan problemas de hipoxia los valores están entre 88 y 94%. (Libelium Comunicaciones, 2017, p. 244)



Figura 8-2: Presión Arterial BLE.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

En la siguiente tabla 10-2 se encuentran las especificaciones técnicas claves para el uso de este sensor.

Tabla 10-2: Valores del Monitor de presión arterial.

Medida	Unidad	Rango
SPO2	%	35-100%
Pulso	ppm	25-250 ppm

Fuente: (Libelium Comunicaciones, 2017, p. 251)

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

2.4.2.4 Esquema de conexión del sistema

En este apartado se explica por puntos la conexión en el nodo coordinador de nuestro esquema.

La figura 9-2 muestra todos los elementos que conforman el sistema para realizar la obtención de datos y el envío de señales al servidor IoT. Está compuesto por el shield Mysignal, Arduino UNO, Módulo sim 900, el sensor de flujo de aire, un monitor de presión arterial y un espirómetro.

- El shield de MySignal es montado sobre el Arduino UNO, de tal forma que los pines encajen correctamente.
- La fuente de alimentación consta de un cable de poder de 7V y es conectado al Arduino al pin de alimentación.
- El sensor de flujo de aire y el espirómetro están cargados con dos baterías AAA, cada uno. Mientras que el sensor de flujo de aire no requiere de alimentación externa.
- La conexión del sensor de flujo de aire a la placa se realiza mediante un cable tipo plug de 3.5mm al pin que tiene el ícono de pulmones.
- La conexión del espirómetro a la placa se realiza mediante un cable tipo plug de 3.5mm al pin que tiene el ícono de ventilador.

- El último sensor, es de tipo inalámbrico con conexión BLE. Establece un enlace con el módulo de BLE ensamblado en la placa de MySignal.
- Los pines 14 y 15 del arduino se conectan a los pulsadores que se usan para habilitar el uso de los sensores.
- Los pines D7(Rx) y D8(Tx) del sim900 van conectados a los pines 2 y 3 del arduino.
- El pin 9 del sim900 es encendido mediante software para habilitar el modulo.
- La alimentación del sim900 es de 5v.

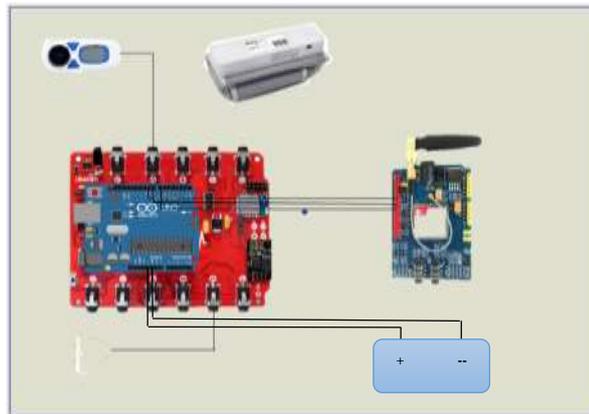


Figura 9-2: Esquema de conexión del sistema.
Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

2.5 Selección de software para el sistema.

Para el desarrollo de la aplicación de IoT se hará el uso de algunas herramientas en software que harán la transmisión y almacenamiento de los datos para su posterior visualización en plataformas libres, entendibles y manejables por un médico tratante.

2.5.1 IDE Arduino

Es un software que permite crear un algoritmo basado en C++, al cual se puede aplicar otras funciones como: la edición del código, su compilación, verificación de errores y hasta elaborar una interfaz gráfica del mismo.

2.5.2 Ubidots

La plataforma de IoT Ubidots permite crear aplicaciones en las que se puede tener almacenamiento de los datos en la nube y hacer un análisis en tiempo real de los sensores, lo que permite hacer envío de alarmas a dispositivos Smartphones o Computadores. Mediante las

herramientas de esta plataforma se logran crear paneles donde controlar dispositivos es algo sencillo y desde cualquier sitio que el usuario se encuentre.

2.5.2.1 Configuración del sistema

Inicialmente se procede a crear una cuenta en Ubidots, figura 10-2, que se considera adecuado para este trabajo de titulación, llenando los campos obligatorios de: Usuario, correo electrónico y contraseña. Ubidots también presenta la opción de loguearse mediante cuentas de Gmail, Facebook, Twitter o GitHub.

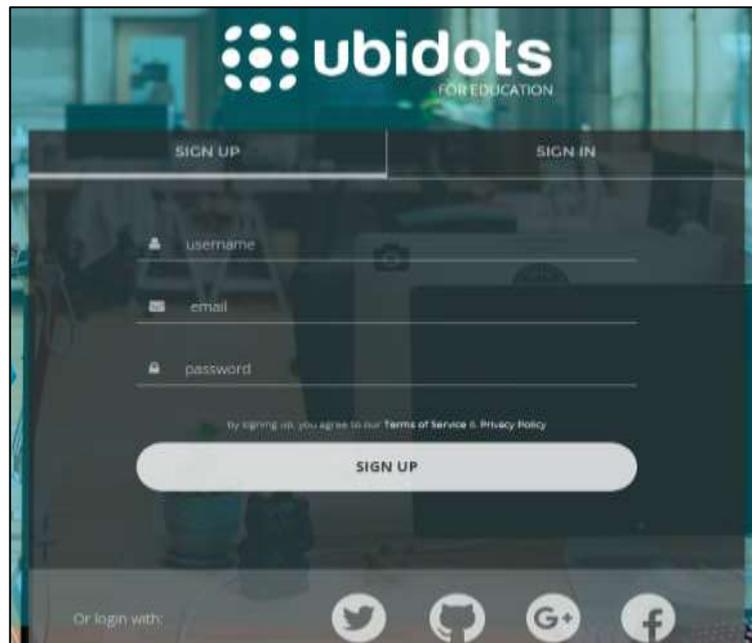


Figura 10-2: Creación de credenciales en Ubidots.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

En la página principal, figura 11-2, el primer paso es crear un dispositivo el cual contiene las variables que se van a controlar en tiempo real para el análisis de su comportamiento, dicho en otras palabras, es el perfil de cada paciente.

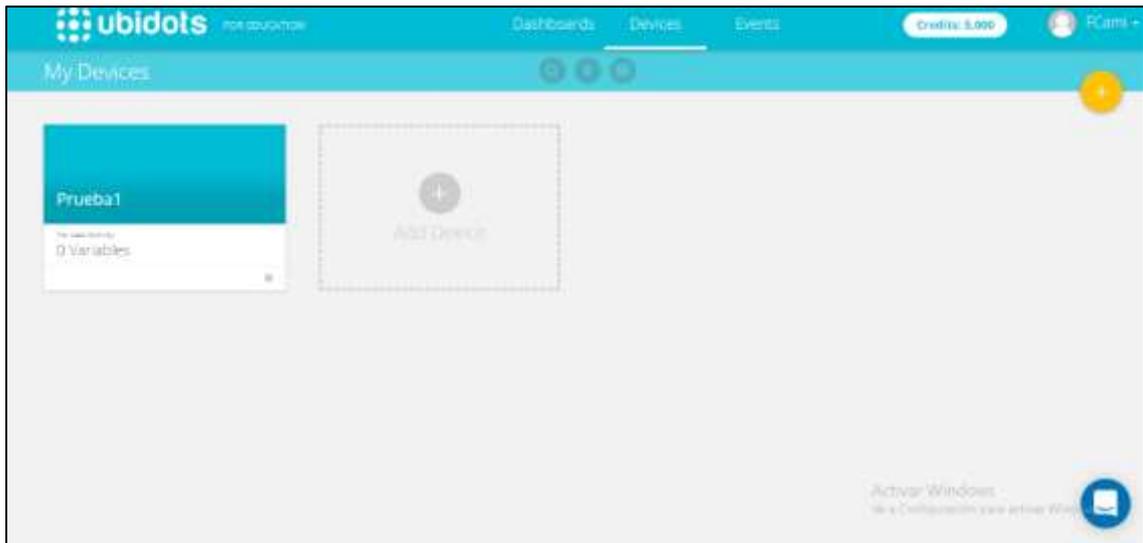


Figura 11-2: Creación de dispositivos en Ubidots.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

La creación de variables, figura 12-2, es la configuración de cada parámetro a analizar, en este caso se escoge el tipo de variable predeterminada, dado que la señal fue procesada en el shield de MySignal y Ubidots solo hará la visualización.

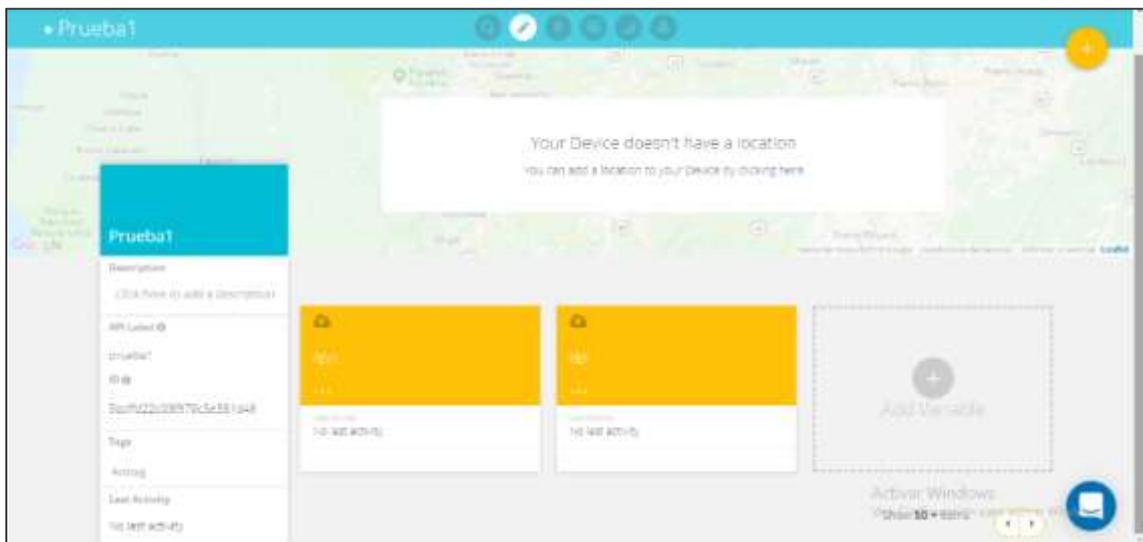


Figura 12-2: Creación de variables en Ubidots.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

Para la creación del token de autenticación, se ingresa al perfil de la cuenta y en el menú de API Keys existe un generador de token's, como se ve en la figura 13-2, que es un código único para cada cuenta de Ubidots. Este sirve para enviar los datos desde el Arduino hasta la cuenta de Ubidots, al ingresarlo en el código fuente, figura 14-2.

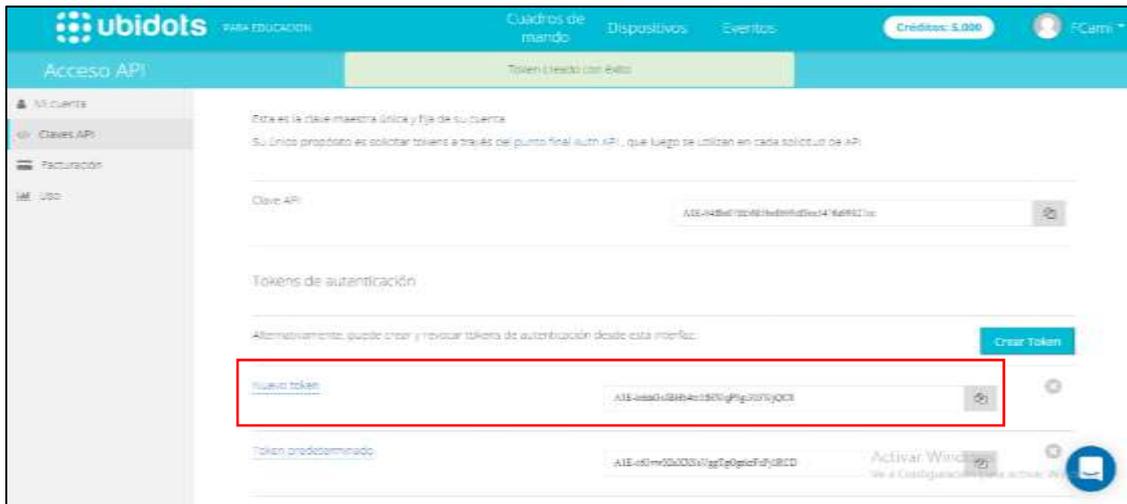


Figura 13-2: Creación de token.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

```
#define APN "internet.cnt.net.ec"
#define USER "" // if your apn doesnt have username just put ""
#define PASS "" // if your apn doesnt have password just put ""
#define TOKEN "A1E-1ehhGsJBHb4tclfHWqP9gi303WjQC8" // Replace it
#define VARIABLE_LABEL "FEV"
```

Figura 14-2: Ingreso del token en el código fuente.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Es necesario crear eventos en Ubidots que permiten enviar mensajes de alerta, como: SMS, correos electrónicos, telegram; cuando el dispositivo presenta valores fuera de los límites normales. Existen tres tipos de eventos:

- Cuando el dispositivo se encuentra condicionado por algún valor.



Figura 15-2: Condiciones para valores de eventos.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

- Cuando se detalla un lapso de tiempo y el dispositivo presenta inactividad.

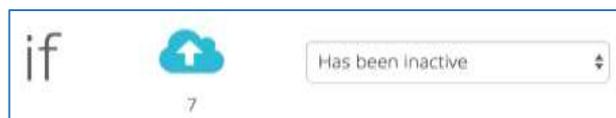


Figura 16-2: Condicionamiento por un tiempo.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

- En caso de georreferenciación, cuando el dispositivo sale del área permitida.



Figura 17-2: Condicionamiento por ubicación.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

2.5.3 Diagrama de flujo del dispositivo.

Es importante mostrar la representación de todo el sistema implementado en diagramas de flujo para tener clara la concepción en cuanto al funcionamiento y como aplicar cada una de las librerías, con el uso de variables y constantes al código fuente en el IDE de Arduino.

2.5.3.1 Diagrama de flujo de sensores cableados.

En la figura 18-2, se muestra el diagrama de flujo del proceso de espirometría y de captación del flujo de aire en una persona.

Para empezar, se definen las librerías del shield de Mysignal, Ubidots y SoftwareSerial.

- **MySignal** y **Wire**, son librerías propias del shield de MySignal y sirven para mejorar el funcionamiento entre la placa y el arduino.
- **UbidotsArduinoGPRS**, esta librería permite enviar los datos a la plataforma de IoT mediante la placa sim900.
- **SoftwareSerial**, esta librería permite la comunicación serial entre el Arduino y la placa sim900, después de habilitar puertos digitales como UART.

En el siguiente punto se procede a declarar los valores de constantes que sirven para enviar información a la nube, y variables que tienen como función almacenar los datos de los sensores.

- **Constantes:** APN, USER, PASS, TOKEN, PEF, FEV1, VOL

- **Variables:** A[], B[], C, PUL1, PUL2

Se procede a inicializar el puerto serial con la función `Serial.begin()`, para establecer una comunicación entre el arduino y la placa MySignal a través de los puertos UART. Con la función `MySignals.begin()` se realiza la inicialización de la placa MySignal.

Bucle de repetición

Si el botón 1 es presionado, comienza el proceso de espirometría.

- A través de la función `MySignal.get.espirometer()` se verifica que el espirómetro esté conectado a la placa. Con la función `MySignals.spir_measure` se tiene el número de medidas del espirómetro.
- `MySignal.spirometerdata.spir_pef`, obtiene los datos del flujo de aire del espirómetro y los guarda en la variable A[]. Y `MySignal.spirometerdata.spir_fev`, obtiene los datos en cuanto al volumen espiratorio y los guarda en la variable B[] .
- Mediante la función `client.add` se asigna los valores de las variables del espirómetro a las variables en el perfil del paciente, para poder ser enviadas a las plataforma Ubidots por medio de la función `client.sendall()`, con GPRS.

A su vez, si el botón 1 no es presionado, existe otro proceso interno donde se comprueba si el botón 2 es presionado. En caso de ser afirmativo se procede a:

- La función `MySignal.get.airflow()` permite obtener los valores del sensor airflow y almacenarlos en la variable C[].
- Mediante la función `client.add` se asigna los valores de las variables del espirómetro a las variables en el perfil del paciente, para poder ser enviadas a las plataforma Ubidots por medio de la función `client.sendall()`, con GPRS.

Y si el caso es negativo, el dispositivo vuelve a comprobar si algún botón es presionado.

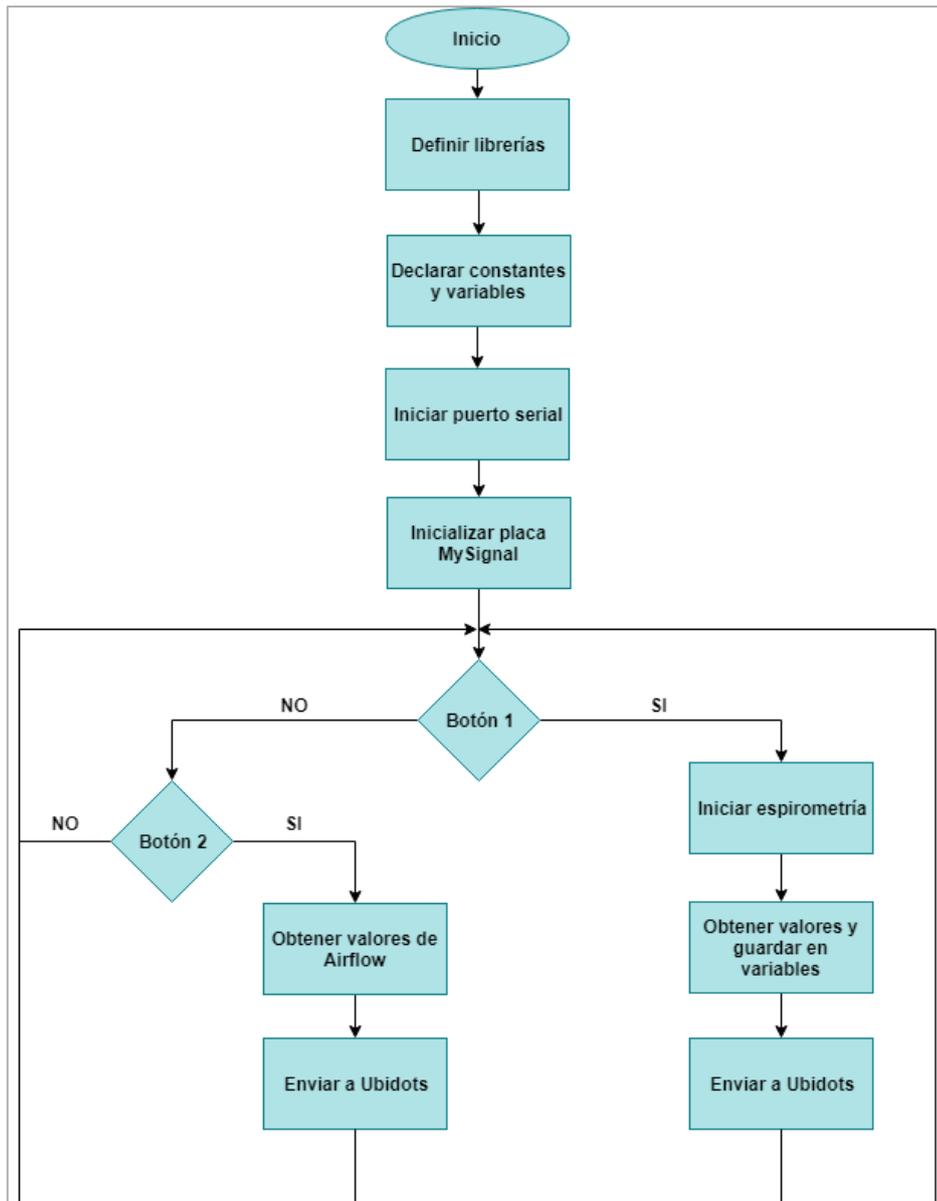


Figura 18-2: Diagrama de flujo del sistema para sensores con conectores plug.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

2.5.3.2 Diagrama de flujo del proceso de presión arterial.

El proceso de captación de señales mediante el monitor de presión arterial se muestra en la figura 19-2. Muy similar al proceso anterior se empieza definiendo las librerías del shield de Mysignal, Ubidots y SoftwareSerial.

- **MySignal**, es una librería propia del shield de MySignal y sirve para mejorar el funcionamiento entre la placa y el arduino.
- **MySignal_BLE**, permite comunicar la placa con el módulo bluetooth integrado.

- **UbidotsArduinoGPRS**, esta librería permite enviar los datos a la plataforma de IoT mediante la placa sim900.
- **SoftwareSerial**, esta librería permite la comunicación serial entre el Arduino y la placa sim900, después de habilitar puertos digitales como UART.

En el siguiente punto se procede a declarar los valores de constantes que sirven para enviar información a la nube, y variables que tienen como función almacenar los datos de los sensores.

- **Constantes:** APN, USER, PASS, TOKEN, SPO2, PULSO
- **Variables:** A, B.

Se procede a inicializar el puerto serial para establecer una comunicación entre el arduino y la placa MySignal a través de los puertos UART. Con la función MySignals.begin() se realiza la inicialización de la placa MySignal. La función MySignal.enableSensoruart(BLE) sirve para habilitar el módulo BLE de la placa MySignal.

Bucle de repetición

- Si se detecta un dispositivo BLE, se realiza una comparación con la dirección física (MAC) del sensor y si esta es correcta, se establece una conexión entre la placa y el sensor de presión arterial.
- Se obtienen los datos de pulso, y se guardan en las variables que corresponden.
- Mediante la función client.add se asigna los valores de las variables del sensor de pulso a las variables en el perfil del paciente, para poder ser enviadas a la plataforma Ubidots por medio de la función client.sendall(), con GPRS
- Al final se cierra la conexión BLE.

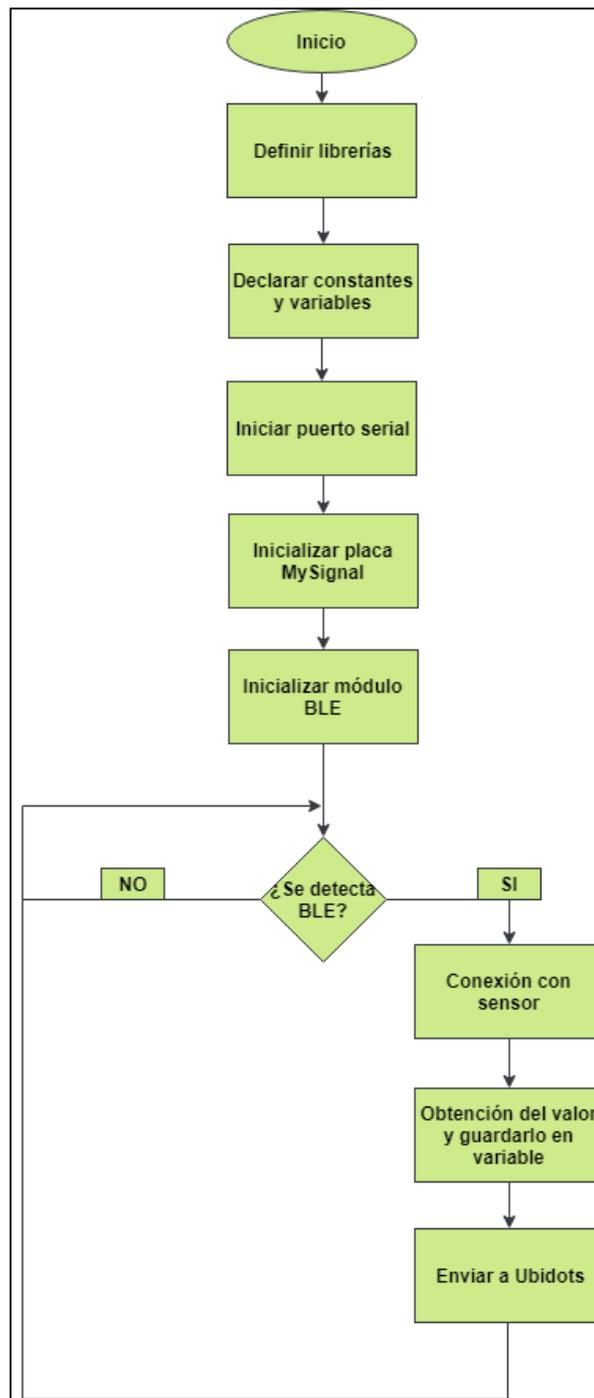


Figura 19-2: Diagrama de flujo del sensor BLE.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

2.6 Construcción del prototipo

La elaboración del armazón del sistema se muestra en la figura 20-2, donde es elaborado de, y posee perforaciones en los costados para la conexión de sensores con cable, la alimentación de la placa, la antena del módulo GPRS y los diodos leds que indican el estado para el envío de datos a la nube. Las dimensiones son de 23cm de largo, 11cm de ancho y 5cm de alto.



Figura 20-2: Construcción del “case”.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

CAPITULO III

3 PRUEBAS Y RESULTADOS

El siguiente capítulo presenta las pruebas que se desarrollaron con el prototipo funcionando. Esto consiste en dos partes. Se evalúa la calidad de servicio que proporciona todo el sistema a los usuarios finales mediante técnicas de investigación como una entrevista a un profesional de medicina respiratoria, además se realizó una comparación entre un paciente con problemas de obstrucciones pulmonares y una persona sin obstrucciones para obtener un contraste de los valores obtenidos de los sensores. Por otra parte, se realiza un análisis de los paquetes enviados desde el sensor inalámbrico hasta el shield principal para determinar la probabilidad de que un dispositivo BLE sea interceptado.

3.1 Servicio en la nube de IoT.

La finalidad de esta prueba fue comprobar la funcionalidad de los diferentes perfiles que tuvo la página web para verificar los datos que se obtienen desde los sensores, estableciendo una comunicación GPRS entre el dispositivo y la nube.

3.1.1 Panel de navegación del administrador.

En la figura 1-3, se muestra la interfaz de la página web desde el punto del administrador, el cual tiene habilitado todos los permisos para crear, editar y eliminar dispositivos, variables, eventos o usuarios.

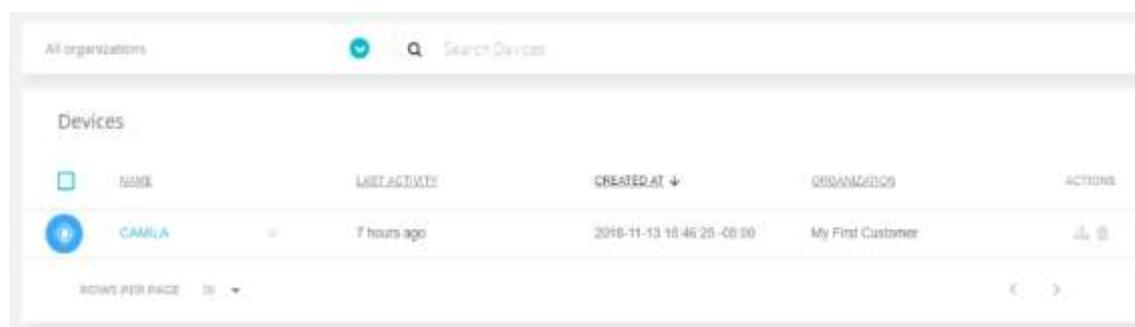


Figura 1-3: Tablero del administrador.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

3.1.1.1 Registro del médico.

En la figura 2-3 se observa los requisitos para el médico, que se debe ingresar para crear su usuario y tener acceso al historial de los datos en la nube, entre ellos son: el nombre de usuario, correo electrónico y una clave de acceso. Como segundo paso se seleccionó una organización a la que debe vincularse el usuario, en este caso se escogió My First Customer. Casi para finalizar, se escogió el tipo de usuario que se creó, en este caso de explorador y de acuerdo a esto se restringió los permisos de edición de datos, tan solo puede modificar los paneles y eventos.

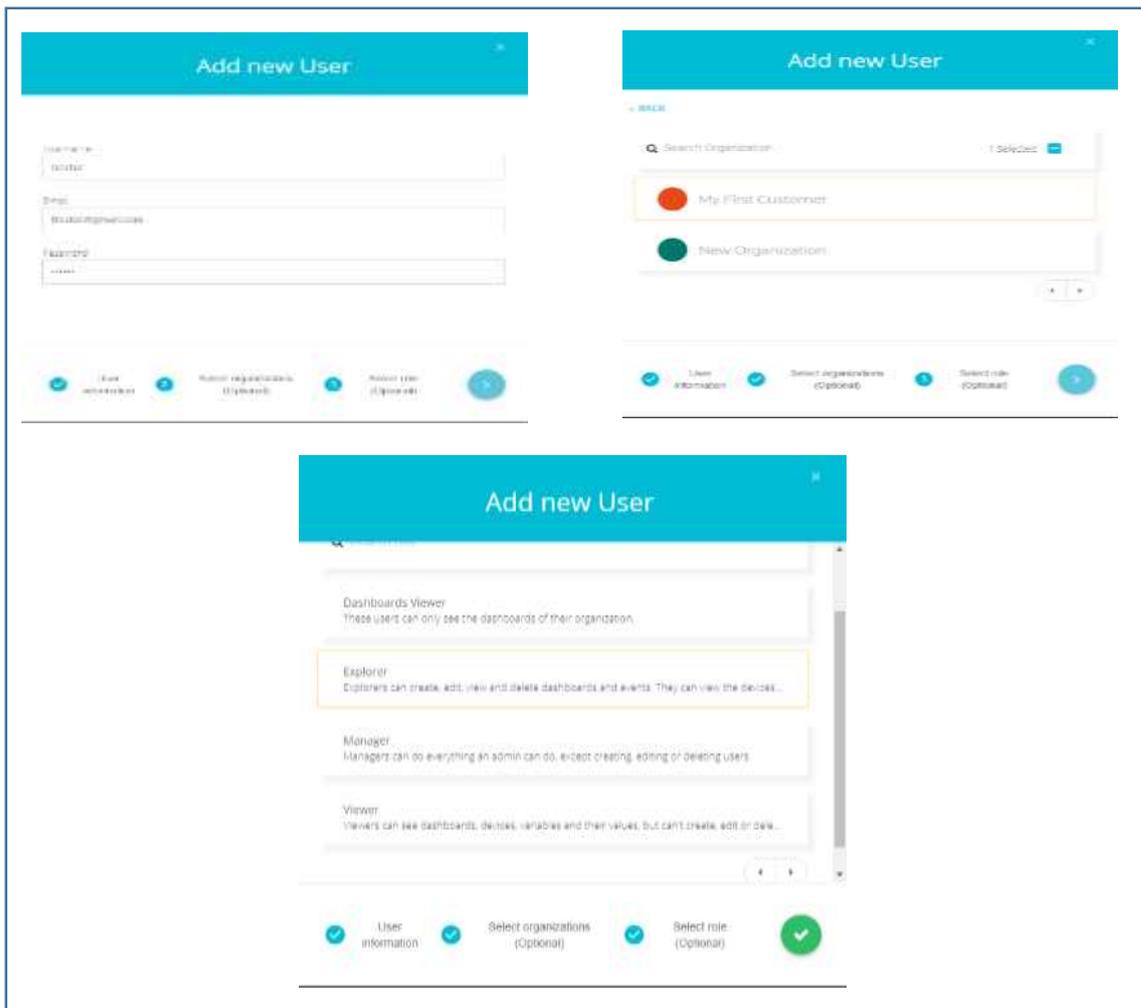


Figura 2-3: Creación de usuario en Ubidots.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Para el registro de los pacientes el proceso se repitió, a excepción de que al final se escogió el perfil de espectador de paneles, y así solo tuvo permisos para visualizar los datos.

3.1.2 Panel de navegación del doctor.

En la figura 3-3 se ingresó con las credenciales anteriormente creadas a la cuenta del médico, y a continuación se visualizó el panel de navegación del médico, donde tendrá el historial de medidas obtenidas por los sensores, gráficas de acuerdo a los días en los que se realizaron las pruebas y valores correspondientes. En este caso se observó los datos del sensor inalámbrico de la presión arterial.

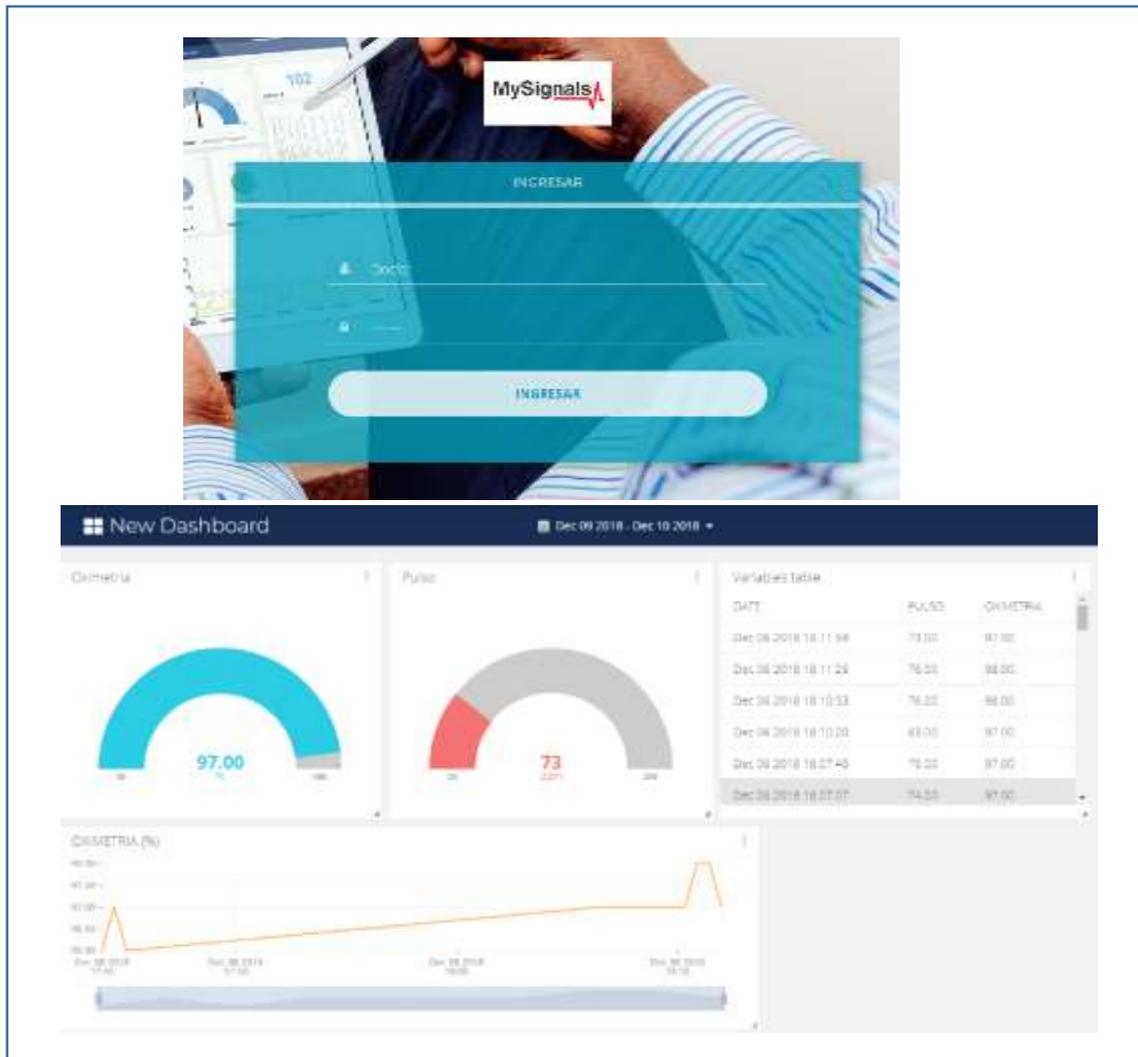


Figura 3-3: Ingreso al perfil del médico.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

El doctor es el personal capacitado para crear eventos que sirve como una alerta cuando los valores de los sensores indiquen que el paciente puede estar en peligro. La configuración de estos eventos inició declarando las condiciones para cada variable y en los rangos que son considerados normales. Posteriormente se procedió a declarar las acciones, es decir qué tipo de alarma se envía al médico, estas pueden ser: SMS, llamadas telefónicas, Telegram, correo electrónico, entre las más comunes.

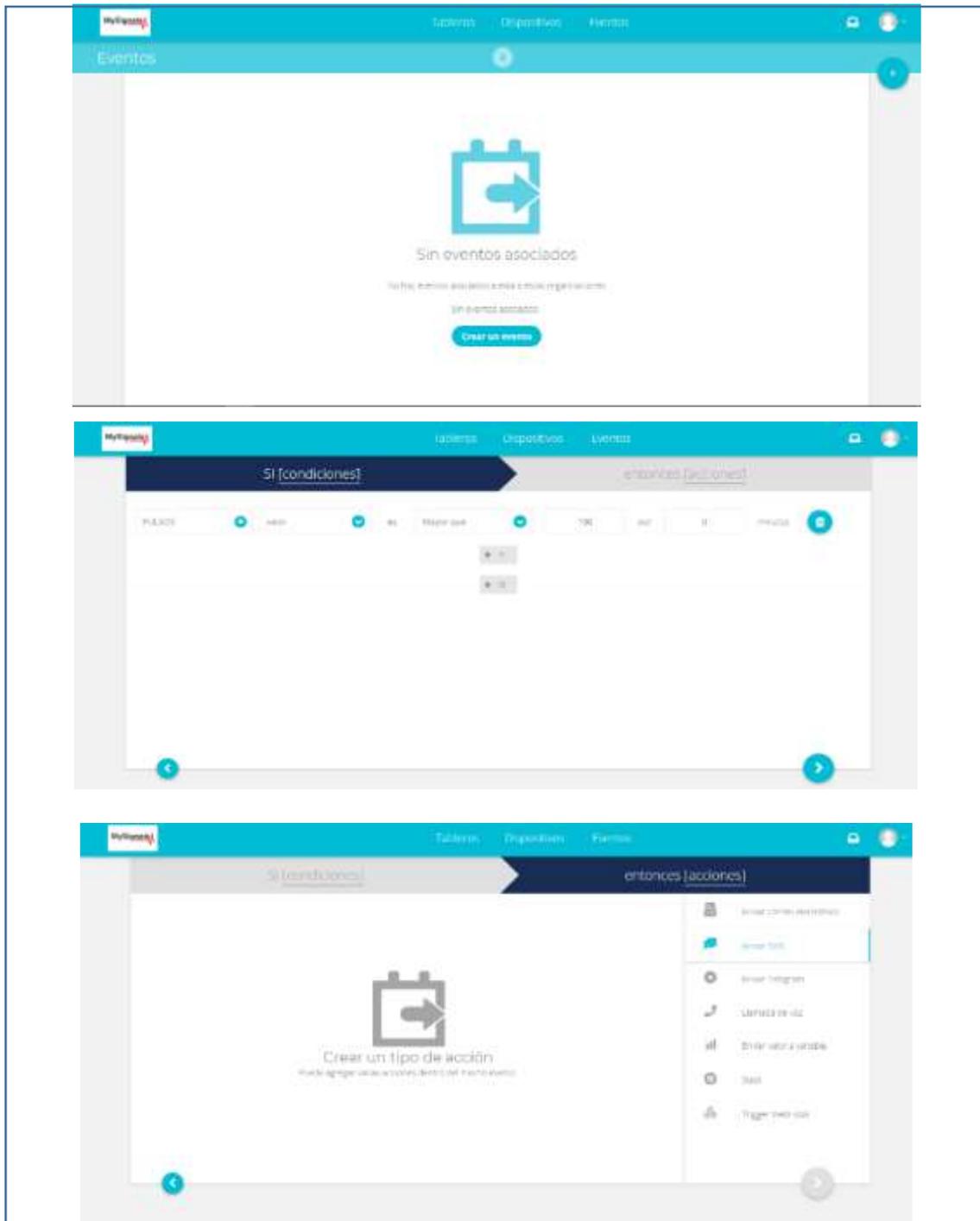


Figura 4-3: Configuración de eventos_ Parte 1

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Para el prototipo se utilizó el envío de SMS por el alcance y confiabilidad que tiene con respecto al uso de los demás servicios que trabajan con la red de internet. Por lo cual, se configuró el número telefónico al cual se enviarán las alertas y el mensaje que contendrá la información. Del paciente. Y para finalizar, se estableció el tiempo en el que el evento va a estar vigente. Todo este proceso se describe en las figuras 4-3 y la figura 5-3.

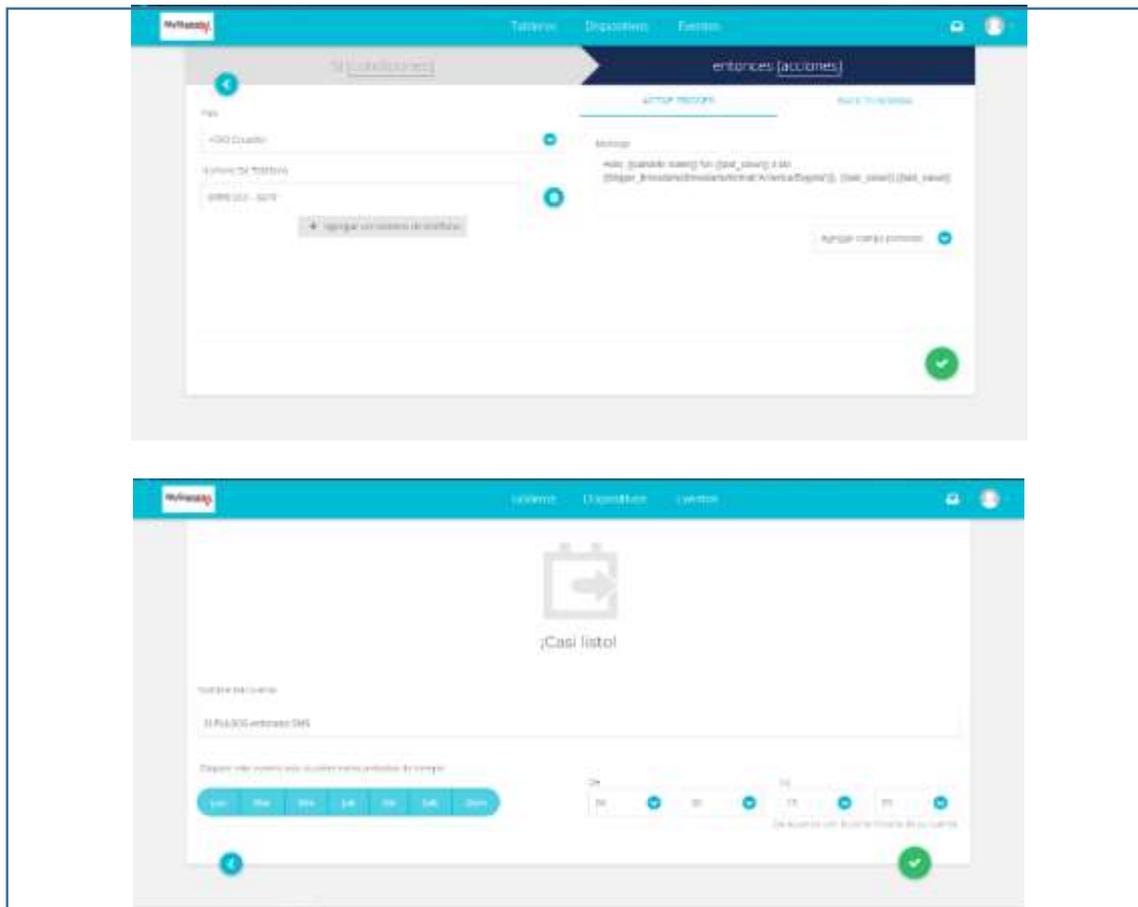


Figura 5-3: Configuración de eventos_ Parte 2.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Y el mensaje de alerta se ve en la figura 6-3, enviado vía SMS. Se optó por este tipo de alerta ya que viaja por la red celular, la cual le permite a la persona que esté a cargo tener la información en casi cualquier lugar que se encuentre, mientras su celular tenga cobertura móvil.



Figura 6-3: Mensaje de texto.
Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

3.1.3 *Panel de navegación del paciente.*

En esta prueba se comprobó que el paciente solo tiene acceso a ver sus datos en el sitio web o en la aplicación móvil de Ubidots, ya que no tiene ningún permiso para realizar otro tipo de acciones. La figura 7-3 muestra el estado del tablero en el sitio de navegación.



Figura 7-3: Tablero del paciente.
Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

3.2 Validación del prototipo

En este apartado se procedió a realizar pruebas del sistema con personas que tengan algún tipo de obstrucción pulmonar o problemas en su respiración y de personas que aparentemente llevan una vida sana, para ver las diferencias de las medidas que se obtuvieron de los sensores, y con la ayuda de un médico especialista en neumología que constate el funcionamiento del sistema.

3.2.1 Prueba de validación médica

Se realizó una entrevista al doctor Fausto Vinicio Maldonado Cajiao, especialista en el Neumología y Terapia Respiratoria, trabajó en el Hospital General Docente de Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, Escuela Superior Politécnica y actualmente tiene su consultorio particular en la ciudad de Riobamba. La finalidad de esta entrevista fue conocer si el prototipo implementado cumple con los objetivos planteados y para ello se necesita la validación del doctor especialista.

Entrevistador: ¿Qué es la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica?

Muchas gracias, un gusto y un saludo cordial a todos los miembros de la escuela de ustedes. Realmente me da mucho gusto de que exista el interés de que la parte técnica nos enlacemos con la parte médica, puesto de que de todo esto los beneficiarios van a ser nuestros pacientes. Cuando hablamos de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica, es un trastorno que aquí en nuestra provincia fue catalogado como la segunda enfermedad con mayor frecuencia en hombres y la tercera con mayor frecuencia en mujeres hospitalizadas. Lo que nos hace ver la importancia de la temática.

Entonces, ¿qué es la EPOC? Es la dificultad que tienen los pacientes para poder eliminar el aire durante la espiración y que generalmente está atribuido a la exposición del humo del cigarrillo y a la exposición del humo de leña, situación que epidemiológicamente es muy grave en el sector rural de nuestra provincia y de nuestro país y sobre todo en la sierra centro.

Entrevistador: Después de dejarnos un poco en claro el concepto de la enfermedad con esta breve explicación, ¿Cómo se logra diagnosticarla?

Nosotros para el diagnóstico de cualquier enfermedad, empezamos por la parte epidemiológica. Esto se refiere a ver si es que el paciente ha estado expuesto a los factores de riesgo antes mencionados, fumadores y ex fumadores, y personas expuestas al humo de leña. Si viene un paciente con la sintomatología que les voy a compartir más adelante, pero nunca ha tenido esta exposición ya de hecho estamos descartando que sea esta posibilidad, necesariamente para que nuestros bronquios se dañen, tiene que haber esta exposición. Luego vamos al cuadro clínico, lo llamativo es la tos crónica, pacientes generalmente por sobre los 50 y 55 años de edad, y ahora hablamos de 50 es porque desgraciadamente la exposición al humo de la leña en nuestras mujeres sobre todo del área rural ha sido de toda la vida, y en el área urbana es porque se está consumiendo

el cigarrillo desde tempranas edades, antes era una enfermedad que veíamos a partir de los 60 años, por ello es muy importante que concienticemos a la ciudadanía.

Luego viene entonces el cuadro clínico que será la tos con expectoración, que es un cuadro que generalmente no llama la atención mucho a los pacientes y muchas veces a los profesionales de la salud. Hay un término que es importante que lo conozcamos, la tos normal del fumador. El paciente tosedor crónico ya asume que es una tos normal y no le da importancia, excepto cuando se vuelve muy intensa, es de predominio matutino y empieza a aumentar la producción de secreciones y estas ya dan indicios de infecciones, es decir se vuelven amarillentas verdosas y algo importante es el ronquido y silbido del pecho, que nos da la idea de que ya se obstruyeron las vías aéreas, hubo un cuadro de broncoespasmo, esta es la manera más frecuente en la que se presenta esta enfermedad que la catalogamos como que pertenece al grupo de bronquíticos crónicos.

Y otra manera en que se presenta la enfermedad es la disnea progresiva, disnea entendemos como la dificultad que tiene la persona para realizar cualquier ejercicio físico. Entonces el paciente se va a quejar que antes caminaba 20 minutos y ahora no puede caminar ni 5 minutos porque se está ahogando. Esto es a lo que catalogamos enfisema pulmonar.

Entonces estas dos maneras son las que comprende las variedades como se presenta el EPOC: enfisema pulmonar y bronquitis crónica.

Entrevistador: ¿Cuál es el seguimiento que se le realizan a estas personas que fueron diagnosticadas con EPOC?

Dentro del diagnóstico existe la tendencia y el consenso de las guías respectivas de que la espirometría es el examen más importante porque nos ayuda a valorar el grado de obstrucción de las vías respiratorias. La radiografía de tórax generalmente es suficiente para poder distinguir que el paciente junto con el cuadro clínico sufre de esta enfermedad. Con esto ya podemos catalogarlo en qué grado de severidad está la enfermedad.

Y aquí viene la parte importante del seguimiento y la parte importante del trabajo que ustedes me han compartido. Un paciente con EPOC tiene el problema de que el humo les ha quemado sus defensas y al estar expuesto al humo son susceptibles de que tengan infecciones a repetición y esto es un grave problema ya que la mayoría de las personas con EPOC se las diagnostica como Neumonía.

Cuando el paciente se reagudiza por infección entonces eso se vuelve una gravedad y el paciente requiere la atención. ¿Pero qué es lo que nos interesa? De que el paciente ya ha sido diagnosticado y recibe su tratamiento adecuado con inhaladores para mantener sus bronquios dilatados y el paciente pueda tener su vida normal.

En el paciente estable es tan importante el poder aplicar las pruebas de control que básicamente sería la flujometría que ustedes muy bien lo han propuesto, y oximetría que también nos da la medición de las frecuencias respiratorias y frecuencias cardiacas que son tan importantes de detectar porque un paciente cuando se agrava lo primero que se va es a disminuir su oxigenación y va a aumentar la frecuencia respiratoria, y esto es importantísimo, que por vía telefónica se pueda ayudar a nuestros pacientes, ¡Sería Fantástico! Y que ellos puedan tener estos dispositivos.

Generalmente el paciente que tiene EPOC tiene otras enfermedades: hipertensión, diabetes, y a la vez tienen problemas de secuelas de enfermedades cerebrovasculares, artrosis, no pueden moverse con facilidad; es decir facilitarles a nuestros pacientes con esta enfermedad la posibilidad de que se hagan la medición en su casa para saber que los niveles de oxigenación están en los adecuados, que para nuestro medio un paciente con EPOC llegue a niveles de 80% es más que suficiente.

Y lo segundo es ver que sus bronquios estén suficientemente dilatados para que pueda tener el FEV en niveles adecuados, entonces el espirómetro es el que nos va a ayudar para que enseñándole bien al paciente como hacerlo, si se encuentra sobre el 70% el paciente está controlado y si baja del 70% vamos a catalogar en niveles de agravamiento que puede ser leve, moderado o grave.

Entonces que útil es que un paciente que tiene muchos problemas, a través de la excelente propuesta que ustedes están haciendo, podamos saber a distancia que la enfermedad está siendo controlada. Y es más importante de resaltar, porque cada recaída de los pacientes implica más daño pulmonar, porque la enfermedad es progresiva. Con la ayuda de estos instrumentos evitamos que la enfermedad progrese rápidamente y les vamos a asegurar una vejez vivible. Porque lo que nos interesa es darles una calidad de vida.

Entrevistador: ¿Cada qué tiempo deberían realizarse esta prueba el paciente con los sensores que estoy proponiendo para tener un control de la enfermedad?

Esto es importantísimo lo que tu mencionas, porque hay pacientes que por ejemplo viven lejos. Yo tengo pacientes que vienen de otras provincias y no les es tan fácil moverse. Con esta

posibilidad un control mensual es lo ideal, y no va a ser nada difícil, y ustedes están aportando al bienestar de los pacientes y a la tranquilidad de nosotros como médicos especialistas, sabiendo que podemos tener la certeza de manera muy objetiva de que nuestro paciente está controlado. Un control mensual y la detección precoz de las reagudizaciones es lo que debe darles a ustedes la felicidad de saber que podemos juntar la técnica con la medicina.



Figura 8-3: Entrevista al Dr. Fausto Maldonado

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

3.2.2 Comparación de valores obtenidos.

Para el análisis de esta prueba se realizó la toma de signos a dos personas con características similares, como la edad, sexo, altura, peso, y lugar de residencia (rural).

En la figura 9-3 se muestran los valores teóricos del parámetro FEV1 el cual corresponde con el volumen máximo de aire que puede ser espirado en el primer segundo. A partir de éstos valores teóricos es posible calcular el porcentaje del FEV1 medido en una persona, donde se considera que si la persona tiene un 70% es un EPOC controlado y menos de este 70% se clasifica el agravamiento del paciente en niveles.

FEV ₁ (Litres)	MALE										
Height	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
Age 10	2.31	2.54	2.77	3.00	3.23	3.46	3.69	3.92	4.15	4.38	4.61
12	2.40	2.63	2.86	3.09	3.32	3.55	3.78	4.01	4.24	4.47	4.70
14	2.49	2.72	2.95	3.18	3.41	3.64	3.87	4.10	4.33	4.56	4.79
16	2.58	2.81	3.04	3.27	3.50	3.73	3.96	4.19	4.42	4.65	4.88
18	2.67	2.90	3.13	3.36	3.59	3.82	4.05	4.28	4.51	4.74	4.97
20	2.76	2.99	3.22	3.45	3.68	3.91	4.14	4.37	4.60	4.83	5.06
25	2.66	2.92	3.18	3.44	3.70	3.96	4.22	4.48	4.74	5.00	5.26
30	2.53	2.79	3.05	3.31	3.57	3.83	4.09	4.35	4.61	4.87	5.13
40	2.26	2.52	2.78	3.04	3.30	3.56	3.82	4.08	4.34	4.60	4.86
50	1.99	2.25	2.51	2.77	3.03	3.29	3.55	3.81	4.07	4.33	4.59
60	1.72	1.98	2.24	2.50	2.76	3.02	3.28	3.54	3.80	4.06	4.32
70	1.45	1.71	1.97	2.23	2.49	2.75	3.01	3.27	3.53	3.79	4.05
80	1.18	1.44	1.70	1.96	2.22	2.48	2.74	3.00	3.26	3.52	3.78

Figura 9-3: Valores teóricos de FEV1 para hombres.

Fuente: <https://www.ugr.es/~jhuertas/EvaluacionFisiologica/Espirometria>

En la tabla 1-3 están los datos de interés de los dos sujetos a los que se les hizo la prueba para obtener los valores teóricos del FEV1 de la figura 9-3.

Tabla 1-3: Datos de los sujetos.

Información	Sujeto 1	Sujeto 2
Edad	39 años	38 años
Altura	1.74m	1.77m
Peso	59 Kg	61Kg
Sexo	Masculino	Masculino
Lugar de Residencia	Riobamba	Riobamba

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

Para los dos sujetos de acuerdo a las características planteadas en la tabla 1-3, el valor del FEV1 es 3.82 en litros para lo que este valor teórico corresponde al 100%, a partir de este valor, a los demás que marcó el espirómetro se hizo una regla de tres para obtener los porcentajes de cada FEV1.

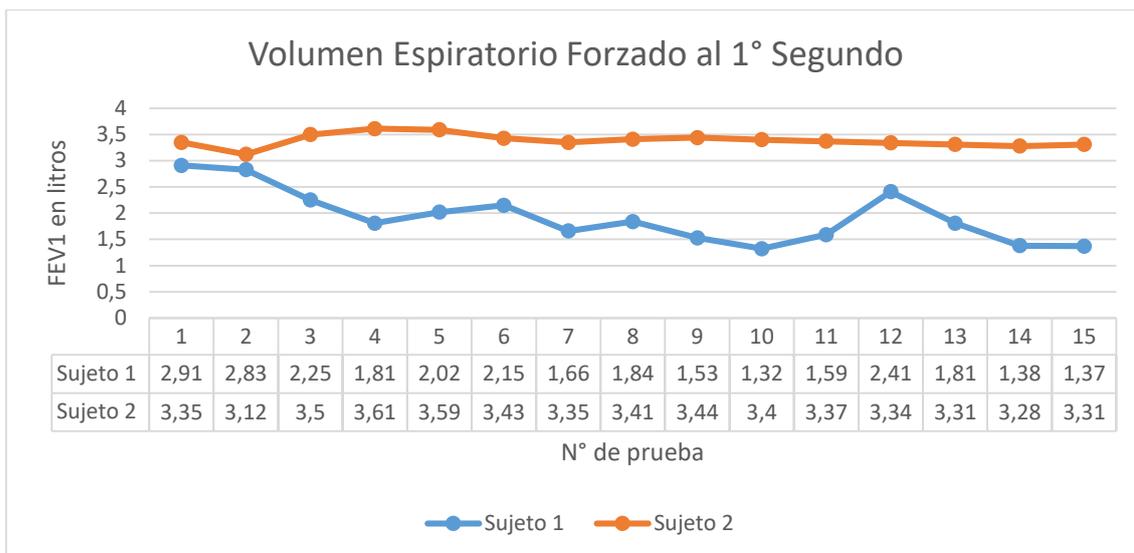


Gráfico 1-3: Valores del FEV1 en litros.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

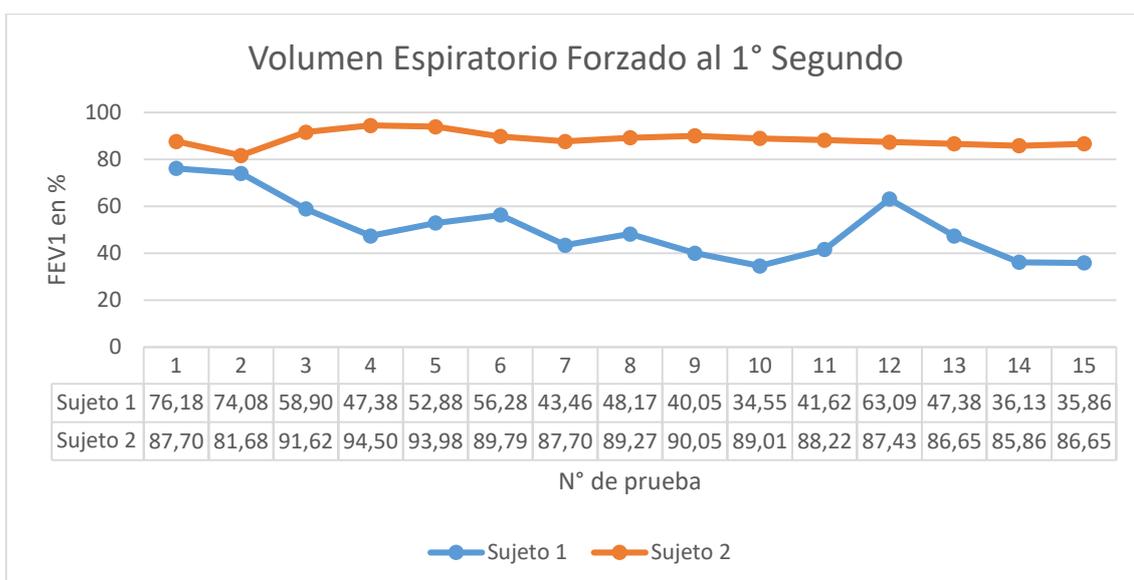


Gráfico 2-3: Valores del FEV1 en porcentajes.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

En las gráficas 1-3 y 2-3 se muestra el volumen máximo expirado en el primer segundo de una espiración forzada, datos obtenidos del espirómetro. Esta prueba se realizó quince veces a los dos sujetos y se obtuvo gráficas similares entre el valor en litros y en porcentaje, donde se observó el contraste entre ambos, ya que el sujeto 1 (línea de color celeste) tiene variaciones y valores con niveles preocupantes, es decir por debajo del 80%, lo cual indica un caso de severidad, para lo cual el médico tendrá que clasificarlo en escalas.

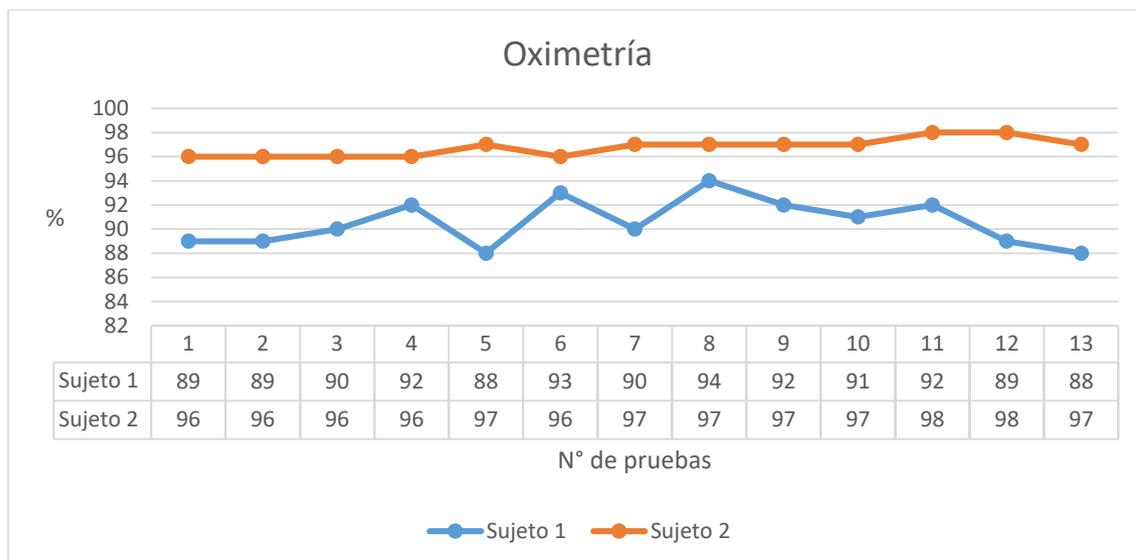


Gráfico 3-3: Valores de oximetría.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

La pulsioximetría en casos de EPOC es un método útil en pacientes estables ya que permite tener un control en casos de empeoramiento de sus síntomas o signos de reagudización, y sobre todo para saber si el paciente necesita ser remitido al especialista o para determinar si se debe suministrar oxígeno y qué cantidad. La exactitud del sensor varía dependiendo de si la persona tiene las uñas pintadas, uñas postizas, mala circulación, manos frías o si la piel de la persona es muy oscura, pero la mayoría de los pulsioxímetros tienen una variación de $\pm 2\%$.

Según en la entrevista con el Dr. Maldonado, en pacientes con EPOC se pretende que sus niveles de oximetría se mantengan entre 90 a 95 %, pero con un valor no menor del 80% y dependiendo del caso también podría catalogarse como estable.

El valor de oximetría de los dos sujetos se observa en el gráfico 3-3 en el cual, luego de trece pruebas se obtuvo la comparación entre ellos, donde se observa que el sujeto 1 (línea celeste) mantiene su saturación entre 88 a 94 %, y el sujeto 2 (línea naranja) mantiene mejores niveles de saturación, entre 96 a 98% que es considerado normal.

3.3 Análisis de tráfico

En esta sección se evaluó la conexión maestro-esclavo de la tecnología BLE y la probabilidad de que en esta comunicación exista una interceptación. Para esta prueba, se utilizó el sensor de presión arterial como esclavo y el shield de MySignal como maestro. En la interceptación, el dispositivo Bluefruit LE Sniffer nRF51822 de Adafruit, y para el análisis de tráfico el software Wireshark V1.10.1.

3.3.1 Capturas de tráfico con Wireshark.

La figura 10-3 muestra el establecimiento de conexión entre los dispositivo maestro y esclavo. A continuación, se procede a detallar la secuencia de pasos.

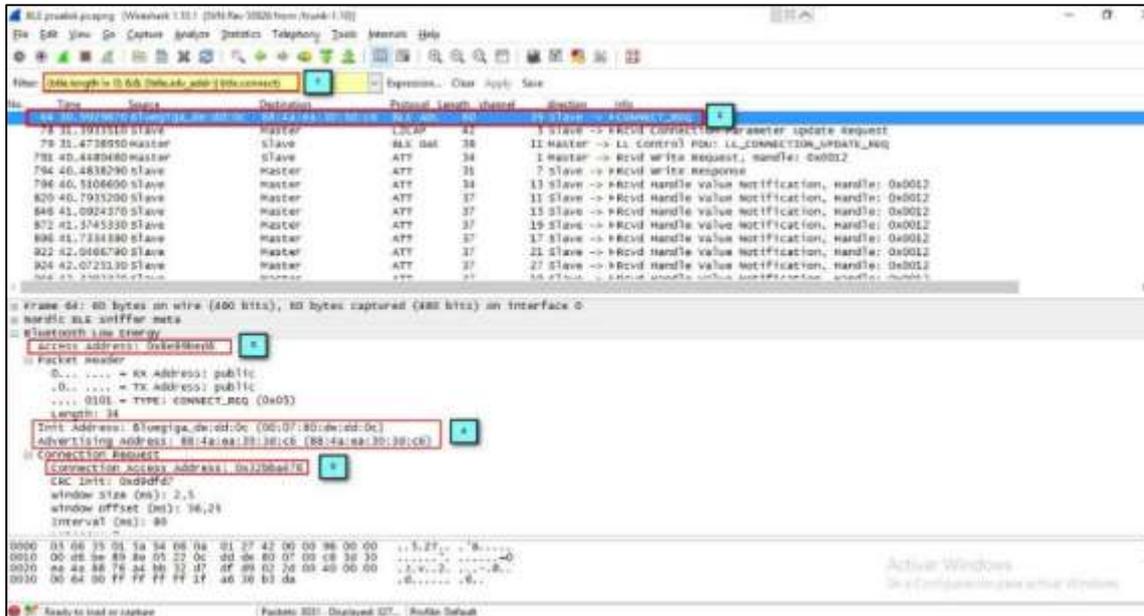


Figura 10-3: Captura Wireshark_1.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

- Punto 1: Se aplicó el filtro (*bt.le.length != 0*) && (!*bt.le.adv_addr // bt.le.connect*) el cual eliminó todos los paquetes que no contienen datos y el envío de anuncios a través de broadcast, excepto las solicitudes de conexión. Es decir, el filtro muestra los datos de conexión, tamaños de MTU que en bluetooth se llaman ATT.
- Punto 2: Mostró una solicitud de tipo CONNECT_REQ en dirección del esclavo al maestro mediante el protocolo de anuncio BLE.
- Punto 3: Es la clave a largo plazo o LKT del esclavo.
- Punto 4: Se mostró las MAC Address, donde primero se observa la dirección de inicio que corresponde al maestro, y luego la dirección de anuncio que corresponde al esclavo.
- Punto 5: Es la dirección de acceso para la conexión, o la clave de conexión, perteneciente al maestro.

En la figura 11-3 se observa el segundo paquete “válido” para el análisis, con sus detalles que se desglosan a continuación:

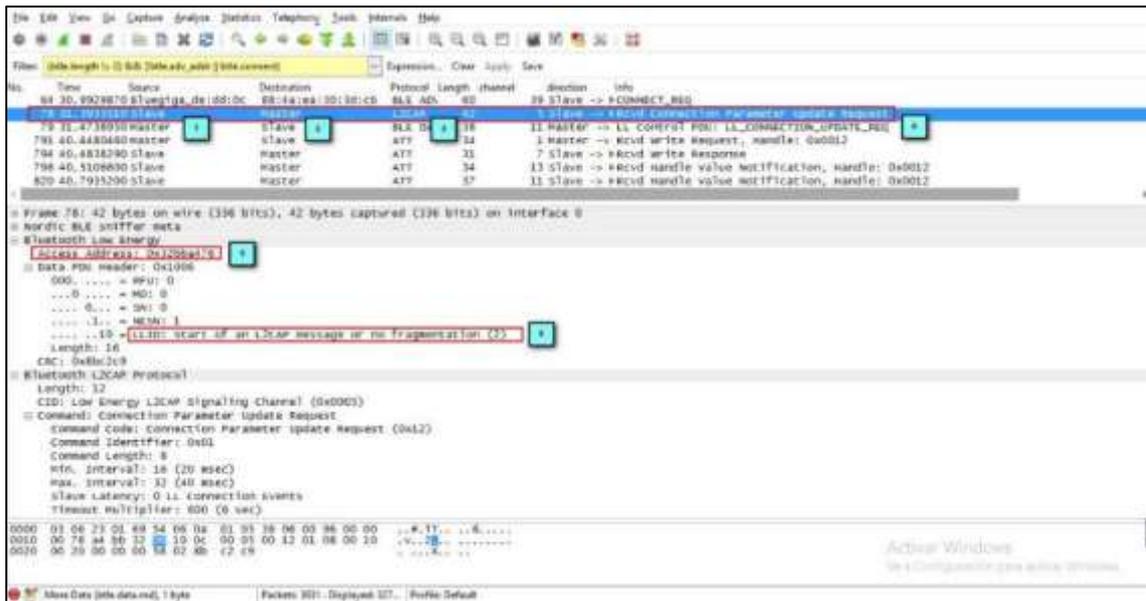


Figura 11-3: Captura Wireshark_2.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

- Punto 1: Es el dispositivo de origen, el esclavo.
- Punto 2: Solo establece el dispositivo de destino, en este caso al maestro.
- Punto 3: Es el protocolo L2CAP, mediante el cual se encapsulan o desencapsulan los demás protocolos de BLE.
- Punto 4: Se actualiza la clave del esclavo por la de CONNECT_REQ.
- Punto 5: El dispositivo maestro comparte su clave de acceso (LTK) el dispositivo esclavo, con la finalidad de cifrar la comunicación. A continuación, la comunicación va cifrada utilizando únicamente la clave de acceso del maestro.
- Punto 6: Se muestra el ID de la capa de enlace (LLID), y su protocolo de adaptación (L2CAP) de tipo 2, para el envío de PDU's sin fragmentación.

En la figura 12-3, se muestra el PDU de control en la capa L2CAP, utilizado para verificar que la conexión se haya realizado exitosamente, y que los dispositivos estén listos para el envío de datos.

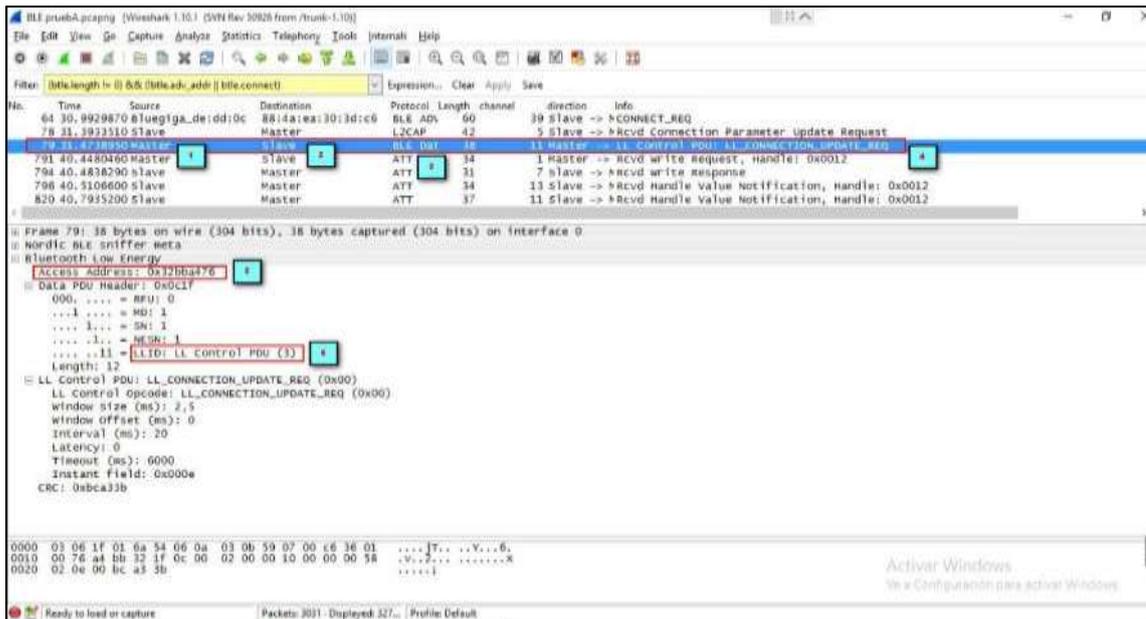


Figura 12-3: Captura Wireshark_3

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

- Punto 1: Se evidenció el origen del PDU de control, en este caso el dispositivo maestro.
- Punto 2: Se evidenció el destino del PDU de control para actualizar la conexión.
- Punto 3: Se mostró el protocolo BLE Data utilizado para enviar el PDU de control.
- Punto 4: Se indica la solicitud para actualizar la conexión.
- Punto 5: Se evidenció que el dispositivo maestro cifra la comunicación utilizando su dirección de acceso LTK de 16 bits (0x32bba476).
- Punto 6: Se observó el PDU de control (3) enviado por el maestro bajo el identificador de enlace de datos (LLID), el cual indica que el esclavo ha sido aceptado y está listo para enviar datos hacia el maestro.

En la figura 13-3, se observó cómo los datos fueron enviados bajo el protocolo ATT.

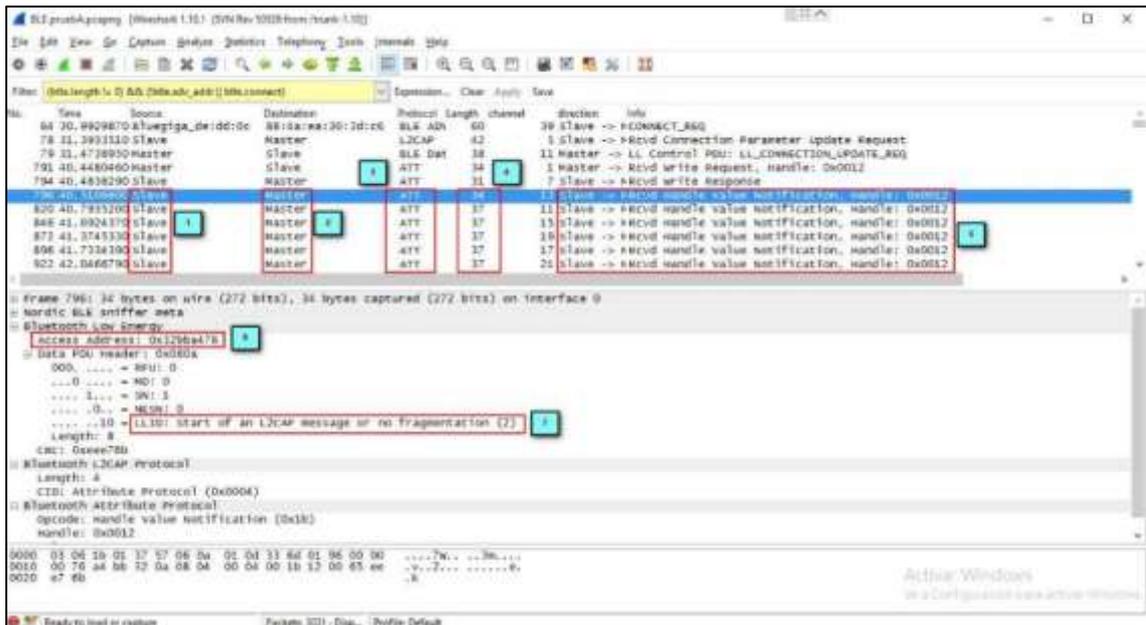


Figura 13-3: Captura de Wireshark_4.
Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

En los puntos 1 y 2 se evidenció los dispositivos de origen y destino de la comunicación. En el punto 3 se encuentra el protocolo de atributos ATT utilizado como base de intercambio de datos en BLE.

Por otra parte, en el punto 4 se observó que la longitud de los paquetes se ajusta a un mismo tamaño. En el punto 5 se indicó la dirección de la conexión y el estado del emparejamiento de los dispositivos. Para el punto 6 el esclavo se mantiene el estado del punto 5 de las figuras anteriores. Y para finalizar en el punto 7, el estado de enlace indicó que los datos están viajando fragmentados.

En la figura 14-3, Se observó la finalización de la conexión.

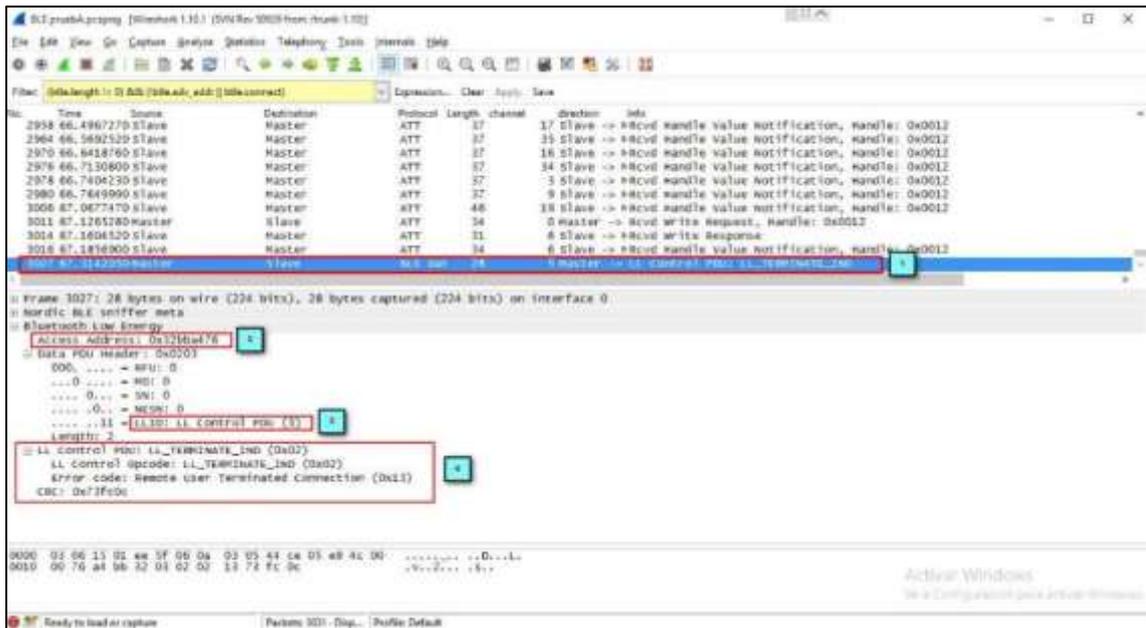


Figura 14-3: Captura Wireshark_5.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

- Punto 1: El maestro deja de recibir datos, y cierra la conexión con el esclavo.
- Punto 2: Se evidenció que el LTK de 16 bits fue utilizado en todo el proceso de conexión y envío de datos, de igual manera para cerrar la comunicación.
- Punto 3: El PDU de control para indicar la comunicación terminó.
- Punto 4: Se cierra el enlace de datos y finaliza la comunicación.

3.3.2 Probabilidad de interceptación.

Para obtener un valor estimado de la probabilidad a la que un dispositivo BLE sea atacado se procedió a analizar las fases de la Norma ISO 27001 para la implementación de un Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI), en el cuál centraremos el estudio en énfasis a los tres últimos pasos.

3.3.2.1 Identificar los riesgos

Para este punto se estableció que el proceso de *Advertising*, donde el dispositivo se quiere anunciar, es la única fase del proceso donde el atacante puede realizar una interceptación de la comunicación y obtener las MAC Address.

El intervalo fijo del proceso de anuncio tiene valores configurables con un mínimo de 20ms hasta un máximo de 10.24s, a cada 0.625ms para el envío de paquetes de tipo Broadcast. (Garijo y Falcone, 2016, p. 25)

3.3.2.2 Cálculo del riesgo

En este paso se determinó mediante un simple cálculo de riesgo al que nuestro sistema está expuesto, para posteriormente definir su tratamiento. La tabla 2-3, es una escala para determinar el riesgo.

Tabla 2-3: Escala de riesgo.

Nivel de Riesgo	Descripción
Alto (6-9)	Si un atacante intercepta la comunicación y modifica los datos
Medio (4-6)	Si un atacante intercepta la comunicación, pero no logra modificar los datos
Bajo (1-3)	Si un atacante trata de interceptar la comunicación pero no lo logra.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018

De acuerdo a la tabla 2-3 donde se definen tres niveles de riesgo, ahora en la tabla 3-3 se da una puntuación ligada al impacto que podría causar.

Tabla 3-3: Escala de impacto.

Impacto	Valoración	Descripción
Alto	3	El atacante intercepte la comunicación en el intervalo del proceso de anuncio, y suplante una mac address válida para el envío de datos modificados hacia el maestro.
Medio	2	El atacante pueda conocer las MAC address, bajo el intervalo de anuncio. Pero no logra enviar datos hacia el maestro.
Bajo	1	El atacante trate de interceptar la comunicación dentro del intervalo de anuncio, pero de ninguna manera obtiene éxito en el ataque.

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

La probabilidad de ocurrencia es un valor subjetivo, el cual, será definido por el investigador en base a un estudio de los factores y niveles de exposición del sistema, tabla, por efecto se tomará el tiempo como indicador para dicha probabilidad. En la tabla 4-3, se definió la probabilidad de ocurrencia de hechos para comprobar si el ataque podría ser exitoso o no, y se indicó el grado de complejidad y el riesgo.

Tabla 4-3: Probabilidad de ocurrencia.

Probabilidad de ocurrencia	Valoración de Probabilidad	Descripción
Altamente probable	1	El atacante no esté dentro del área de cobertura BLE y no disponga de las herramientas hardware y software, en base al tiempo exacto en el cual se produce el intercambio de MAC address e inicio de comunicación, ya que es extremadamente corto.
Probable	2	El atacante puede disponer de herramientas de hardware y software, pero no está dentro del área de cobertura BLE para un ataque exitoso, a su vez que el tiempo para alcanzar una interceptación es demasiado corto.
Altamente Improbable	3	El atacante se encuentre dentro del área de cobertura y disponga de todas las herramientas de hardware y software (sniffer, analizador de paquetes, módulos bluetooth para inyección de código). A su vez que logre interceptar la comunicación en el momento exacto que el dispositivo maestro intercambie su dirección de acceso con el esclavo (t=20ms).

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

De acuerdo al Criterio de Probabilidad se ha tomado en cuenta el tiempo de broadcast, como la única fase del proceso de comunicación maestro-esclavo, en el cual se podría interceptar el paquete inicial que es de 20ms, por lo cual el valor de probabilidad de ocurrencia es ALTAMENTE IMPROBABLE.

Para completar la tabla 5-3 del escenario de riesgo es necesario realizar la siguiente fórmula con los datos anteriores.

$$Riesgo = Impacto * Probabilidad de ocurrencia$$

Tabla 5-3: Escenario de riesgo.

Riesgo	Impacto * Probabilidad	Total	Nivel de Riesgo
R1 =	3 * 1	= 3	RIESGO BAJO
R2 =	2 * 1	= 2	RIESGO BAJO
R3 =	1 * 1	= 1	RIESGO BAJO

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

3.3.2.3 Plan de tratamiento del riesgo.

Para los 3 escenarios se evidencia un nivel de RIESGO BAJO. El cual se encuentra dentro del umbral de Riesgo deseable y por lo tanto NO REQUIERE la implementación de un control para minimizar el Riesgo.

3.4 Análisis económico del sistema.

La tabla 6-3 muestra un desglose económico de todos los elementos que se utilizaron en la implementación de todo el sistema.

Tabla 6-3: Análisis económico del sistema.

Dispositivos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Arduino UNO	2	\$20	\$40
Shield MySignal	1	\$405	\$405
Pulsioxímetro	1	\$135	\$135
Espirómetro	1	\$235	\$235
Aiflow	1	\$59	\$59
Módulo GPRS sim900	1	\$25	\$25
Armazón de cartón	1	\$25	\$25
Otros			\$30
TOTAL			\$954

Realizado por: RUIZ, Camila, 2018.

CONCLUSIONES

- Al realizar un análisis detallado con el método de Brown y Gibson, de las características más importantes de algunas tecnologías inalámbricas que son comunes en aplicaciones médicas, se determinó que el Bluetooth de baja energía es el más adecuado para la recolección de datos en la implementación del sistema por el bajo consumo energético, el corto alcance entre dispositivos y a pesar de la baja tasa de transmisión que tiene para el tipo de datos es suficiente.
- Se desarrolló un prototipo de IoT que ayuda a supervisar los síntomas de la EPOC mediante el uso de sensores biomédicos y su envío de datos a la nube con el uso de la red celular y la tecnología GPRS, que provee de una velocidad de transferencia aceptable ya que el tamaño de los paquetes no es grande y más al tratarse de un prototipo de prueba.
- Los síntomas de la EPOC que se analizaron en el trabajo de titulación fueron la disnea e hipoxemia, ya que son los más notorios y de los cuales se pueden obtener mediciones de VEMS, PEF y saturación de oxígeno en la sangre, para que el médico tratante lleve un control de la enfermedad y en ciertos casos de instrucciones de emergencia.
- Mediante la técnica de la entrevista, se acudió un médico especialista en neumología. De tal forma se determinó que, este tipo de sistemas cumple con las expectativas del tema planteado, ya que, a criterio personal del especialista, el prototipo se encuentra funcionando dentro de los parámetros de evaluación pulmonar planteados, a fin de aportar con el bienestar del paciente y brindar una garantía a los médicos, con la certeza de que su paciente es monitorizado constantemente.
- Se estableció el uso de tokens de autenticación basados en JSON Web Token, que permite el envío y recepción de datos para poder almacenarlos en la plataforma de IoT.
- A través del análisis de tráfico en la comunicación del sensor de presión arterial BLE y el shield de MySignal, se comprobó que el envío de datos se realiza de forma cifrada utilizando una clave a largo plazo LTK de 16 bits, la cual fue desarrollada específicamente por Bluetooth para el uso de aplicaciones médicas donde se combinen servicios de frecuencia cardíaca, por lo tanto, se concluye que un ataque en la comunicación de los dispositivos es altamente improbable.

- El prototipo no tiene problemas de interceptación de algún atacante en cualquier momento que se haya establecido la conexión de inicio a fin, es decir se está protegiendo la información en cuanto a confidencialidad, integridad y disponibilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda cambiar la comunicación inalámbrica a una de mayor velocidad de transferencia de datos, como 3G o 4G en caso de implementar el sistema a un escenario real, con la finalidad de reducir tiempos de respuesta.
- Tomar en cuenta el estado de las luces leds instaladas en el prototipo para que no exista pérdida cuando los datos están siendo enviados a la nube.
- Revisar detalladamente la versión de la placa MySignal y que esta coincida con las versiones de las librerías que se utilizarán, de forma que no altere el rendimiento de la placa ni de los sensores.
- Se recomienda profundizar la investigación sobre sensores inalámbricos-alámbricos, a fin de mejorar la tecnología y garantizar la coexistencia, para obtener un sistema más independiente.
- Incorporar el servicio de geolocalización al prototipo para ayudar al médico a ubicar al paciente en caso de que sufra una crisis y éste pueda brindar la ayuda necesaria.
- Se recomienda continuar con el desarrollo del tema, y de igual forma solicitar a las autoridades pertinentes, la colaboración necesaria y la atención a las solicitudes de los investigadores, de tal forma que garantice la continuidad de los trabajos de titulación que dependan de entidades del sector público, como privadas. **ANEXO 5**

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA PONCE, M.C., *ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4 ZIGBEE PARA COMUNICACIONES INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL DE BAJO CONSUMO DE ENERGÍA Y SU COMPARACIÓN CON EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.1 BLUETOOTH* [en línea]. Tesis Pregrado. Escuela Politécnica Nacional. 2006. [Consulta: 5 junio 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/55/1/CD-0024.pdf>.

AKHAYAD, Y., *Bluetooth 4.0 Low Energy: Análisis de las prestaciones y aplicaciones para la automoción*. S.l.: Universitat Politècnica de Catalunya. 2016.

AL-FUQAHA, A., GUIZANI, M., MOHAMMADI, M., ALEDHARI, M. y AYYASH, M., Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials* [en línea], 2015. p. 2347-2376. [Consulta: 23 julio 2018]. ISSN 1553877X. DOI 10.1109/COMST.2015.2444095. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7123563/>.

ALVARADO, S. y JUÁREZ, D., *REDES DE ÁREA CORPORAL EN EL CUIDADO DE LA SALUD* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional Autónoma de México. 2012. [Consulta: 6 junio 2018]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2568/Tesis.pdf?sequence=1>.

ARCILA, C.E. y LOAIZA, M.J., *Diseño de un enlace de telemedicina para el Hospital Universitario San Juan De Dios Del Quindío*. S.l.: Universidad del Quindío. 2010.

ÁVILA DE TOMÁS, J.F., Aplicaciones de la telemedicina en atención primaria. *Atención Primaria* [en línea], 2001. p. 54-57. ISSN 02126567. DOI 10.1016/S0212-6567(01)78774-4. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0212656701787744>.

AZAUSTRE, C., Qué es la autenticación basada en Token. [en línea]. 2015. [Consulta: 1 noviembre 2018]. Disponible en: <https://carlosazaustre.es/que-es-la-autenticacion-con-token/>.

BARBERÁ, A., ARQUITECTURA DE REFERENCIA EN EL INTERNET OF THINGS. *SUNQU* [en línea], 2016. p. 24. [Consulta: 3 julio 2018]. Disponible en: <https://www.zemania.com/recursos-zemania/whitepapers/DTS/arquitectoraloT.pdf>.

BELTRÁN, J., *Diseño y Desarrollo de un Gadget de e-Health Basado en Bluetooth Low Energy y Compatible con Dispositivos Móviles Inteligentes Android* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Cartagena. 2016. [Consulta: 4 diciembre 2018]. Disponible en: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6690/pfc-bel-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- BLANCARTE, O.**, Autenticación con JSON Web Tokens. *Oscar Blancarte Software Architect* [en línea]. 2017. [Consulta: 1 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.oscarblancarteblog.com/2017/06/08/autenticacion-con-json-web-tokens/>.
- CAMARGO, J.**, *MODELO DE COBERTURA PARA REDES INALÁMBRICAS DE INTERIORES* [en línea]. S.l.: Universidad de Sevilla. 2009. [Consulta: 5 junio 2018]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F5-Capítulo1+-+Introducción+a+las+redes+inalámbricas.pdf+>.
- CHUQUI, L.**, *Desarrollo de una plataforma abierta para el almacenamiento y gestión de información de nodos móviles para internet de las cosas de la célula inteligente de la Universidad Politécnica Salesiana* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2016. [Consulta: 24 julio 2018]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12790/1/UPS-CT006655.pdf>.
- ELECTRÓNICA ELEMÓN S.A.**, SIM900 de SIMCom Wireles Solution. [en línea]. S.l.: 2018. [Consulta: 24 septiembre 2018]. Disponible en: http://www.elemon.com.ar/media/catalogos/z_Boletines_tecnicos/SIM900_Nuevo_módulo_GSM-GPRS.pdf.
- ENRÍQUEZ HERRADOR, R.**, Guía de Usuario de Arduino. [en línea]. San Francisco: 2009. [Consulta: 25 septiembre 2018]. Disponible en: http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf.
- FARKAS, K. y CSCS, G.**, Introduction to WLAN IEEE802.11 Communication on Mobile Devices. *Mobile Peer to Peer (P2P)* [en línea]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. pp. 59-80. [Consulta: 13 junio 2018]. ISBN 9780470747889. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470747889.ch5>.
- GARG, V.**, *Wireless communications and networking*. S.l.: Elsevier Morgan Kaufmann. 2007. ISBN 9780080549071.
- GARIJO, L. y FALCONE, F.**, *Diseño y estudio de un sistema de comunicación inalámbrico basado en tecnología bluetooth low energy con desarrollo de protocolo propio de enrutamiento*. [en línea]. S.l.: Universidad Pública de Navarra. 2016. Disponible en: http://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/21877/TFG_Protocolo_de_Enrutamiento_-_Luis_Garijo.pdf?sequence=1.
- GORDILLO CORZO, R., GOMEZ MONTOYA, L. y CIFUENTES, HIPOLITO, R.**, Enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Medicina critica y terapia intensiva* [en línea], 2002. p. 11. [Consulta: 22 mayo 2018]. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/medcri/ti-2002/ti026b.pdf>.

IBM, Internet of Things Platform - IBM Cloud. [en línea]. 2018. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <https://console.bluemix.net/catalog/services/internet-of-things-platform>.

ICTP, Introducción a las redes WiFi. [en línea]. S.l.: 2010. [Consulta: 28 agosto 2018]. Disponible en: http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFi-es-v2.3-notes.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE CIBERSEGURIDAD DE ESPAÑA, Seguridad en comunicaciones ZigBee | INCIBE-CERT. *INCIBE* [en línea]. 2016. [Consulta: 29 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.incibe-cert.es/blog/seguridad-comunicaciones-zigbee>.

JAÉN DÍAZ, J., EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica). [en línea], 2000. p. 2. [Consulta: 21 mayo 2018]. Disponible en: http://sescam.castillalamancha.es/sites/sescam.castillalamancha.es/files/documentos/farmacia/i_1_enfermedad_pulmonar_obstructiva_cronica.pdf.

KARAGIANNIS, V., CHATZIMISIOS, P., VAZQUEZ-GALLEGO, F. y ALONSO-ZARATE, J., A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things. *Practical Research - Planning & Design* [en línea], 2010. p. 67. [Consulta: 23 julio 2018]. ISSN 2331-4761. DOI 10.5281/ZENODO.51613. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/303192188>.

KASCHEL, H. y TORRES, V., Sistema de un sistema de monitoreo en tiempo real para la detección prematura de la diabetes mediante WBAN. *XV congreso internacional de telecomunicaciones SENATEI* [en línea], 2014. p. 1-7. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/284174377_Sistema_de_Monitoreo_en_tiempo_real_para_la_deteccion_prematura_de_la_diabetes_mediante_WBAN.

KHETAGURI, D. y LEON, M., Wireless local area network integration. *From GSM to LTE-Advanced* [en línea], 2011. p. 1-24. [Consulta: 12 junio 2018]. DOI 10.1002/9781118861943.ch5. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118861943.ch5>.

KHRIYENKO, O., IBRAHIM, S. y CHANDA, S., IBM Internet of Things. [en línea]. Finlandia: 2018. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <http://www.ibm.com/internet-of-things/>.

KWAK, K.S., ULLAH, S. y ULLAH, N., An overview of IEEE 802.15. 6 standard. [en línea], 2010. p. 1-6. DOI 10.1109 / ISABEL.2010.5702867. Disponible en: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5702867.

KWOK, Y.-K.R. y LAU, V.K.N., *Wireless Internet and Mobile Computing: Interoperability and Performance* [en línea]. S.l.: Wiley-Interscience. 2007. [Consulta: 14 junio 2018]. ISBN

0471679682. Disponible en: <http://www.amazon.com/dp/0471679682>.

LIBELIUM COMUNICACIONES, D., *MySignals SW eHealth and Medical IoT Development Platform Technical Guide* [en línea]. S.l.: s.n. 2017. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: http://www.libelium.com/downloads/documentation/mysignals_technical_guide.pdf.

LOPEZ, F., *El estándar IEEE 802.11 Wireless LAN* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid. 2018. Disponible en: <http://www.dit.upm.es/~david/tar/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>.

MARTÍN MORENO, J. y RUIZ-FERNANDEZ, D., *ZigBee (IEEE 802.15.4)* [en línea]. S.l.: Universidad de Alicante. 2007. [Consulta: 30 octubre 2018]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1109#vpreview>.

MATHERS, C.D. y LONCAR, D., Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030. En: J. SAMET (ed.), *PLoS Medicine* [en línea], 2006. p. 2011-2030. [Consulta: 21 mayo 2018]. ISSN 15491277. DOI 10.1371/journal.pmed.0030442. Disponible en: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pmed.0030442>.

PATEL, K.K. y PATEL, S.M., Internet of Things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing* [en línea], 2016. p. 6122-6131. [Consulta: 27 junio 2018]. DOI 10.4010/2016.1482. Disponible en: <http://ijesc.org/>.

PELLEJERO, I., ANDREU, F. y LESTA, A., *Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN: de la teoría a la práctica* [en línea]. Barcelona: Marcombo. 2006. [Consulta: 13 junio 2018]. ISBN 9788426714053. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=k3JuVG2D9IMC&source=gbs_navlinks_s.

PÉREZ, D., *Registrador de datos autónomos con Arduino* [en línea]. S.l.: Universidad de Cantabria. 2015. [Consulta: 25 septiembre 2018]. Disponible en: https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7686/David_Perez_Carazo.pdf;sequence=1.

PINO, R., ÁLVAREZ, O. y RIVERO, J., ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA. [en línea], 2018. p. 109-113. Disponible en: <http://revfinlay.sld.cu/index.php/finlay/article/view/19/17>.

POMARES, F. y FERNÁNDEZ, F., Sistema de Telemedicina UdC: Un nuevo paradigma en la atención médica colombiana para el sur de Bolívar. *Informática y Sistemas: ISSN 2550-6730* [en línea], 2017. p. 1-11. ISSN 2550-6730. Disponible en: <http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Informaticaysistemas/article/view/192>.

- PRIETO, F.**, *Transmisión de imágenes de vídeo mediante Servicios Web XML sobre J2ME* [en línea]. S.l.: Universidad De Sevilla . 2007. [Consulta: 9 octubre 2018]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11372/fichero/Memoria%252FMemoria+completa.pdf>.
- REKHIS, S. y BOUDRIGA, N.**, *WiMAX Security Defined in 802.16 Standards. WiMAX Security and Quality of Service: AN End-to-End Perspective* [en línea]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. pp. 23-62. [Consulta: 13 junio 2018]. ISBN 9780470721971. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470665749.ch2>.
- ROSE, K., ELDRIDGE, S. y CHAPIN, L.**, *La Internet De Las Cosas — Una Breve Reseña. Internet Society-ISOC* [en línea], 2015. p. 83. [Consulta: 27 junio 2018]. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>.
- SÁNCHEZ, J.**, *Análisis y Estudio de Redes GPRS* [en línea]. S.l.: Universidad Austral de Chile. 2005. [Consulta: 9 octubre 2018]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis211a/doc/bmfcis211a.pdf>.
- STATISTA**, *Internet de las cosas: dispositivos interconectados en el mundo 2020. Statista 2018* [en línea]. 2018. [Consulta: 17 julio 2018]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/638100/internet-de-las-cosas-numero-de-dispositivos-conectados-en-todo-el-mundo--2020/>.
- STORE, A.**, *Arduino UNO Rev3. online* [en línea]. 2014. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- TAPIA, C. y MANZANO, H.**, *Evaluación de la plataforma Arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. 2013. [Consulta: 25 septiembre 2018]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5522/1/UPS-GT000511.pdf>.
- THOTAHEWA, K.M.S., REDOUTÉ, J.-M. y YUCE, M.R.**, *Ultra Wideband Wireless Body Area Networks* [en línea]. S.l.: s.n. 2014. [Consulta: 6 junio 2018]. ISBN 978-3-319-05286-1. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Ta69BAAAQBAJ&dq=M.+Yuce,+J.+Khan,+%22Wireless+Body+Area+Networks+-+Technology,+Implementation+and+Applications%22,+Pan+Stanford+Publishing,+2011&source=gbs_navlinks_s.
- TORRES ROMERO, M. del C.**, *Estudio comparativo del posicionamiento indoor con tecnologías Wi-Fi y Bluetooth para la Facultad de Informática y Electrónica.* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017. [Consulta: 30 octubre 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7513>.

TSCHOFENIG, H., THALER, D. y MCPHERSON, D., Internet Architecture Board (IAB) Architectural Considerations in Smart Object Networking. [en línea], 2015. [Consulta: 2 julio 2018]. ISSN 2070-1721. Disponible en: <https://tools.ietf.org/pdf/rfc7452.pdf>.

VILLEGAS, J., *COMUNICACIONES WBAN-IBC:ENFOQUES, PERSPECTIVAS Y APLICACIONES* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Valencia. 2017. [Consulta: 6 junio 2018]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86055/VILLEGAS - Comunicaciones WBAN-IBC%3A Enfoques%2C perspectivas y aplicaciones.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86055/VILLEGAS_-_Comunicaciones_WBAN-IBC%3A_Enfoques%2C_perspectivas_y_aplicaciones.pdf?sequence=1).

XALAMBRÍ, S., Introducción a JSON Web Tokens (JWT). *Platzi* [en línea]. 2016. [Consulta: 1 noviembre 2018]. Disponible en: <https://platzi.com/blog/introduccion-json-web-tokens/>.

XIAO, Y. y PAN, Y., *EMERGING WIRELESS LANs , WIRELESS PANs , AND WIRELESS MANs*. 1. S.l.: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2009. ISBN 9780471720690.

YANG, S.-H., Internet of Things. [en línea]. Londres: s.n., 2014. pp. 247-261. [Consulta: 26 junio 2018]. ISBN 978-1-4471-5504-1, 978-1-4471-5505-8. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-5505-8_12.

ANEXOS

Anexo A: Datos técnicos de las tarjetas de desarrollo que se utilizaron en el sistema.



Arduino UNO

Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328P (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a USB connector, a DC power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller (including a 5V regulator, a USB-to-UART bridge chip, a ATmega328P microcontroller, and the reference voltage divider), and the reference voltage for the Arduino platform, for a complete and portable system.

Index

- Technical Specifications [Page 2](#)
- How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials [Page 6](#)
- Terms & Conditions [Page 7](#)
- Environmental Policies [Page 7](#)

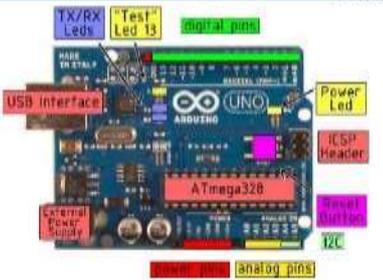
RS **radiospares** **RADIONICS**

Technical Specification

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (min)	6.20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	28 KB of which 0.5 KB used by bootloader
RAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

The board



RS **radiospares** **RADIONICS**

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connector or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm (center positive) plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the GND and Vcc pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than the 5 volt and the board may be unstable. Supplying more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- Vcc:** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin as long as you supply it with the correct polarity (plug into the board's power jack, leads from a battery can be inserted in the GND and Vcc pin headers of the POWER connector).
- 5V:** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. The pin comes either from Vcc via an on-board regulator, or is supplied by USB or another regulated 5V supply.
- 5V GND:** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- GND:** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0.5 KB is used by the bootloader); it has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA, but has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 Ω ohms. In addition, some pins have specialized functions:

- Digital 0 (GND) and 1 (TX):** Used to receive (RX) and transmit (TX) UART data. (These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega328P USB-to-UART bridge chip.)
- External Interrupt: 2 and 3:** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low-to-high change in the pin, or a change in value. See the `attachInterrupt()` function for details.
- PWM: 3, 4, 5, 6, 9, 10, and 11:** Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
- SPI: 10 (MISO), 11 (MOSI), 12 (SS), 13 (SCK):** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- LED: 13:** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it is off.

RS **radiospares** **RADIONICS**

Communication

The Uno has 8 serial ports, each of which provide 16 pins of resolution (i.e., 1638 different values). By default they operate from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the `analogReference()` function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- TX: 4 (MISO) and 1 (MOSI):** Support I2C (TWI) communication using the `Wire` library.

There are a couple of LEDs on the board:

- TX LED:** Indicates voltage for the serial header. Used with `digitalWrite()`.
- Reset:** Being lit the Uno is reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to boards which lack the one on the board.

See also the [expanding memory, digital pins and interrupt pins](#) pages.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software (`download: Select "Arduino Uno w/ ATmega328P" from the "boards" > "board" menu`), according to the microcontroller on your board. For details, see the [reference and tutorials](#).

The ATmega328P on the Arduino Uno comes preprogrammed with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original ST89CDD protocol (`download: 0.00000000`).

You can also program the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header (see [Basic connections](#) for details).

The ATmega328P requires memory code to be available. The ATmega328P is loaded with a DFU bootloader which can be utilized by connecting the solder jumper on the back of the board near the top of the chip and then uploading the DFU. You can then use Atmel's FLIP software (download) or the DFU programmer (Mac OS). It also could be used a new firmware. Or you can use the ICSP header with an external programmer (uploading the DFU bootloader).

RS **radiospares** **RADIONICS**

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega328P is connected to the reset line of the ATmega328P via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (pulled low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, its bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch is running on the board receives one-line configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be used to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It is labeled "RESET-DTR". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from TV to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable fuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 100 mil (2.54"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can effect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on C/C++) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software running on a computer (e.g. [Flash](#), [Processing](#), [Max/MSP](#)).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. [http://arduino.cc/en/GuideHomePage](#)

Linux Install | **Windows Install** | **Mac Install**

Once you have downloaded/installed the Arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

[Blink led](#)

Now you're actually ready to "burn" your first program on the Arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well-known programming "hello world" sketch.

File > **Sketchbook** > **Arduino-0017-Examples** > **Digital** > **Blink**

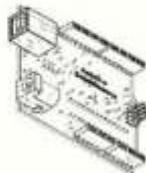
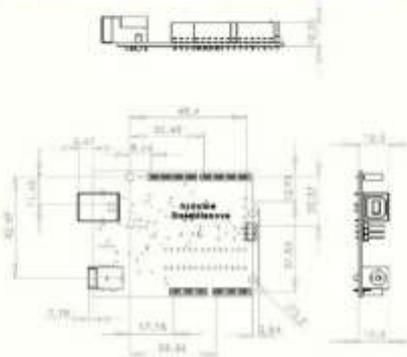
Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools** > **Board** select:

Now you have to go to **Tools** > **SerialPort** and select the right serial port, the one Arduino is attached to.



Dimensional Drawing



Terms & Conditions



- Warranty**
 - The customer accepts the product under the condition that the manufacturer does not warrant the quality of the product. The product is sold as is, without any warranty, either express or implied, and the manufacturer is not responsible for any damage or loss of data or information that may result from the use of the product. The customer is responsible for the safe use of the product and for the safety of the user.
 - The manufacturer is not responsible for any damage or loss of data or information that may result from the use of the product. The customer is responsible for the safe use of the product and for the safety of the user.
 - The manufacturer is not responsible for any damage or loss of data or information that may result from the use of the product. The customer is responsible for the safe use of the product and for the safety of the user.
 - The manufacturer is not responsible for any damage or loss of data or information that may result from the use of the product. The customer is responsible for the safe use of the product and for the safety of the user.
- Intellectual Property**

The customer acknowledges and agrees that the manufacturer and its licensors own all intellectual property, including patents, trademarks, and other rights in the product and its components. The customer agrees not to copy, reproduce, or otherwise use the product or its components for any purpose other than the intended use of the product.
- Changes to specifications**

The manufacturer reserves the right to change the specifications of the product without notice. The customer agrees to accept the product as delivered and to be bound by the specifications of the product as they appear on the product or its packaging.

Environmental Policies

The producer of Arduino® has joined the Impatto Zero® policy of PIRELLA. For each Arduino board produced it provides 1 liter of water after full payment for the Carbon Footprint.

GPRS Module

-SIM900 GSM/GPRS Module

Overview



GPRS module is a GSM/GPRS module based on the SIM900 Quad band GSM/GPRS module. It is controlled via AT commands (GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands), and fully compatible with Arduino / Raspberry and Pi4g.

Features

- Quad Band (850/900/1800/1900MHz)
- GPRS multi-rate class 12.2k
- GPRS module status class 0
- Compliant to GSM phase 22+
- Class 4 (12W@850/900MHz)
- Class 1 (12W@1800/1900MHz)
- Control via commands (GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
- Short message service
- Free serial port selection
- 3.5 inch standard case suitable for PBC and phone
- Operation temperature: -40°C ~ +85°C

Specifications

PCB Size	71.0mm x 46.0mm x 1.6mm
Material	FR4, 4500, 1.6mm, 1.6mm
Power supply	5V
Communication Protocol	UART
Serial	Yes

Electrical Characteristics

Specification	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply (Vsupply)	4.0	-	5.0	VDC
Appl. Voltage (VAppl)	0.7VDC	-	5.0	V
Appl. Voltage (VAppl)	5.0	5.0	5.0	V
Control Consumption (Icontrol)	-	-	2000	mA
Control Consumption (Icontrol)	-	-	500	mA
Stand-by (Istand-by)	-	-	10.000	mA

Hardware

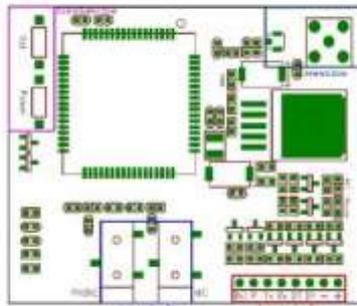


Figure 1 Pin Map

Label	Pin	Description
Res	2	Reset for SIM900 module
P	2	Power supply pin of SIM900 module
Tx	3	UART TX output
Rx	4	UART RX input
DT	5	Serial UART data output
DB	6	Serial UART data input
	7	GND
	8	VCC

Installation

Power on GPRS module

User can power on the GPRS module by pulling down the PWR button in the P pin of control interface for at least 2 second and release. This pin is already pulled up to 3V in the module internal, so external pull up is not necessary. When power on procedure is completed, GPRS module will send following URC to indicate that the module is ready to operate at fixed baud rate.

Indicator LED and Buttons:

NETSTATUS: The status of the NETSTATUS LED is listed in following table:

Status	Description
off	SIM900 is not running
50ms On/500ms Off	SIM900 not registered to the network
50ms On/3000ms Off	SIM900 registered to the network
50ms On/200ms Off	GPRS communication is established

STATUS: Power status of SIM900.
PWR: Power status of GPRS module.

PWR: After the GPRS module power on, you need to press the POWER button for a moment to power on the SIM900 module.

RESET: Reset the SIM900 module.

Revision History

Rev.	Description	Release Date
v1.0	Initial version	2021.12.06

Anexo B: Código del pulsioxímetro.

```
#include <Adafruit_GFX_AS.h>
#include <MySignals.h>
#include <MySignals_BLE.h>

// Write here the MAC address of BLE
device to find
char MAC_SPO2[14] = "00A050072533";

uint8_t available_spo2 = 0;
uint8_t connected_spo2 = 0;
uint8_t connection_handle_spo2 = 0;
uint8_t pulse_spo2 = 0;
uint8_t spo2 = 0;

#define SPO2_HANDLE 15

char buffer_tft[30];

Adafruit_ILI9341_AS tft =
Adafruit_ILI9341_AS(TFT_CS, TFT_DC);

void setup()
{
  MySignals.begin();

  tft.init();
  tft.setRotation(2);
  tft.fillScreen(ILI9341_BLACK);
  tft.setTextColor(ILI9341_WHITE,
ILI9341_BLACK);

  //TFT message: Welcome to MySignals

  strcpy_P((char*)buffer_tft,
(char*)pgm_read_word(&(table_MISC[0]))
);
  tft.drawString(buffer_tft, 0, 0, 2);

  Serial.begin(115200);

  MySignals.initSensorUART();
  MySignals.enableSensorUART(BLE);

  MySignals_BLE.hardwareReset();
  MySignals_BLE.initialize_BLE_values();

  if (MySignals_BLE.initModule() == 1)
  {
    if (MySignals_BLE.sayHello() == 1)
    {
      //TFT message: "BLE init ok";
      strcpy_P((char*)buffer_tft,
(char*)pgm_read_word(&(table_MISC[1]))
);
      tft.drawString(buffer_tft, 0, 15, 2);
    }
    else
    {
      //TFT message:"BLE init fail"
      strcpy_P((char*)buffer_tft,
(char*)pgm_read_word(&(table_MISC[2]))
);
      tft.drawString(buffer_tft, 0, 15, 2);
      //TFT message: "BLE init fail"
    }
  }
}
```

```

    strcpy_P((char*)buffer_tft,
(char*)pgm_read_word(&(table_MISC[2]))
);
    tft.drawString(buffer_tft, 0, 15, 2);

    while (1)
    {
    };
    }

void loop()
{
    available_spo2 =
MySignals_BLE.scanDevice(MAC_SPO2,
1000, TX_POWER_MAX);

    tft.drawString(" ", 0,
30, 2);
    tft.drawString("SPO2 available:", 0, 30, 2);
    tft.drawNumber(available_spo2, 110, 30,
2);

    if (available_spo2 == 1)
    {

        if
(MySignals_BLE.connectDirect(MAC_SP
O2) == 1)
        {
            connected_spo2 = 1;
            connection_handle_spo2 =
MySignals_BLE.connection_handle;

            tft.drawString("Connected ", 0, 45, 2);

            delay(6000);

            //To subscribe the spo2 measure write
            "1" in SPO2_HANDLE
            char attributeData[1] =
            {
                0x01
            };

            if
(MySignals_BLE.attributeWrite(connection
_handle_spo2, SPO2_HANDLE,
attributeData, 1) == 0)
            {
                tft.drawString(" ",
",
0, 60, 2);
                tft.drawString("Subscribed", 0, 60, 2);

                unsigned long previous = millis();
                do
                {
                    if (MySignals_BLE.waitEvent(1000)
==
BLE_EVENT_ATTCLIENT_ATTRIBUT
E_VALUE)
                    {

                        char attributeData[1] = { 0x00 };

                        MySignals_BLE.attributeWrite(connection

```

```

_handle_spo2,          SPO2_HANDLE,          sprintf(buffer_tft,          "SPO2:
attributeData , 1);          %d",spo2);
                           tft.drawString(buffer_tft, 5, 105, 2);

uint8_t pulse_low =          uint16_t errorCode =
MySignals_BLE.event[12];          MySignals_BLE.disconnect(connection_ha
pulse_low &= 0b01111111;          ndle_spo2);
                           tft.drawString("Disconnected", 0,
uint8_t pulse_high =          45, 2);
MySignals_BLE.event[11];
pulse_high &= 0b01000000;          MySignals.disableMuxUART();
                           Serial.println(spo2);
                           Serial.println( pulse_spo2);
                           MySignals.enableMuxUART();
                           connected_spo2 = 0;

if (pulse_high == 0)
{
pulse_spo2 = pulse_low;
}

if (pulse_high == 0b01000000)          }
{          }
pulse_spo2 = pulse_low +          }
0b10000000;          while ((connected_spo2 == 1) &&
}          ((millis() - previous) < 10000));

spo2 = MySignals_BLE.event[13];          connected_spo2 = 0;
spo2 &= 0b01111111;          }

if ((pulse_spo2 >= 25) &&          else
(pulse_spo2 <= 250)          {
&& (pulse_spo2 >= 35) &&          tft.drawString("Error subscribing", 0,
(pulse_spo2 <= 100))          60, 2);
{          }
tft.drawString("          ", 5,          }
105, 2);          else
sprintf(buffer_tft, "Pulse: %d ppm",          {
pulse_spo2);          connected_spo2 = 0;
tft.drawString(buffer_tft, 5, 85, 2);

```

```

    tft.drawString("Not Connected", 0, 45,
2);
    }
}
else if (available_spo2 == 0)
{
    //Do nothing
}
else
{
    MySignals_BLE.hardwareReset();

MySignals_BLE.initialize_BLE_values();
    delay(100);

}
    delay(500);
}
}

```

Anexo C: Código del sensor de espirómetro.

```

#include <MySignals.h>
#include <Wire.h>
#include "SPI.h"
int c[5],d[5];
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    MySignals.begin();
    MySignals.initSensorUART();
}

void loop()
{
    MySignals.getSpirometer();
    if (MySignals.spir_measures>0){
        for (int i = 0; i < 5; i++){
            c[i]=MySignals.spirometerData[i].spir_pef;
            d[i]=(MySignals.spirometerData[i].spir_fev
);
        }
        Serial.println('s');
        Serial.println(c[0]); Serial.println(d[0]);
        Serial.println(c[1]);Serial.println(d[1]);
        Serial.println(c[2]); Serial.println(d[2]);
        Serial.println(c[3]);Serial.println(d[3]);
        Serial.println(c[4]);Serial.print(d[4]);}
        while(1);
    }
}

```

Anexo D: Oficio sin respuesta al Hospital General Docente de Riobamba.



Espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES
Teléfono: 462062 Extensión 2611 Riobamba Ecuador

Riobamba, 7 de noviembre de 2018
Of. No. 555-EIE-TR-FIE

Doctora
Diana Molina
**DIRECTORA MEDICA HOSPITAL PROVINCIAL GENERAL DOCENTE DE
RIOBAMBA**
Presente

De mi consideración:

Reciba un atento saludo, la presente tiene por objeto solicitarle la autorización respectiva, para que se pueda llevar a cabo el desarrollo del trabajo de titulación perteneciente a la Señorita Camila Fernanda Ruiz López, con el tema "EVALUACIÓN DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE SENSORES BIOMÉDICOS Y SU APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE UN PRÓTOTIPO DE IOT PARA EL SEGUIMIENTO A PERSONAS CON ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA". Por lo que solicito de la manera más comedida se nos proporcione Datos Estadísticos a nivel Provincial o Cantonal de la enfermedad en mención.

Por la gentil aceptación que dé a la presente anticipo mis agradecimientos.

Atentamente,


Ing. Patricio Adolfo Romero
**DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES**

Sonia M.

HOSP. HOSP. PROV. GENERAL DOCENTE RIOBAMBA
SECRETARÍA - DIRECCIÓN GENERAL
REC. N.º 08
DI. 08 de 11 de 2018
CONTESTADO:
DI. MES AÑO HORA

Anexo E: Certificado del Especialista en Neumología – Dr. Fausto Maldonado.

Riobamba, 04 de diciembre del 2018.

Dr. Fausto Vinicio Maldonado Cajiao
Médico Neumólogo Terapista Familiar

Certifico:

Que el trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE SENSORES BIOMÉDICOS Y SU APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE IoT PARA EL SEGUIMIENTO A PERSONAS CON ENFERMEDAD OBSTRUCTIVA CRÓNICA", presentado por la señorita, Camila Fernanda Ruiz López de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cumple con las expectativas del tema planteado, ya que a criterio profesional, este prototipo es un gran aporte al bienestar de los pacientes y a la tranquilidad de los médicos especialistas, teniendo la certeza que de manera objetiva se está dando seguimiento a los pacientes con su enfermedad.

Muy Atentamente



Dr. Fausto Maldonado C.

CI: 170446036-7

Dr. Fausto Maldonado M.
NEUMÓLOGO
CÓDIGO CM 8111
MSP INH 06111

Anexo F: Armado del prototipo y pruebas realizadas.

