

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE TITULACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE
SEÑALES ECG EN TIEMPO REAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LONG
TERM EVOLUTION (LTE)**

Autor:

Gustavo Javier Guevara Vásquez

Tutor:

Mtr. Deysi Inca Balseca

Riobamba – Ecuador

Año 2019

Los miembros del Tribunal de Graduación del Proyecto de Investigación de título “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ECG EN TIEMPO REAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION (LTE)**”, para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, presentado por el Señor Gustavo Javier Guevara Vásquez, dirigido por: Mtr. Deysi Inca.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en lo cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite el presente ejemplar original para uso y custodio de la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Giovanni Edgar Cuzco Silva

Presidente del Tribunal



Firma

Dr. Leonardo Fabian Rentería Bustamante

Miembro del Tribunal



Firma

Mtr. José Luis Jinez Tapia

Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

En la calidad de tutor del tema de investigación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ECG EN TIEMPO REAL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION (LTE)**”, realizado por el Sr. **Gustavo Javier Guevara Vásquez**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, octubre 2019

Mtr. Deysi Inca Balseca

C.I 060381048-2

TUTOR:

A handwritten signature in blue ink, reading "Deysi Inca Balseca", is written over a horizontal line.

Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, GUSTAVO JAVIER GUEVARA VÁSCONEZ, con cédula de ciudadanía N°. 180428577-1, soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas alternativas realizadas en la presente investigación previamente establecida por la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones y los derechos de autoría pertenecen a la Universidad Nacional de Chimborazo.

Riobamba, octubre 2019



Gustavo Javier Guevara Vásquez

C.I. 1804285771

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis amorosos padres Gustavo Moisés Guevara e Inés Cadena que me guiaron a través de mi vida con mucho esfuerzo y dedicación para llegar a ser una persona humilde, que me enseñaron a no rendirme y sobreponerme de cualquier adversidad, que cada momento de esfuerzo es recompensado, que pese a los momentos de flaqueza siempre estuvieron alentándome con su apoyo y su amor para avanzar y culminar con mi formación académica.

y que no importa las veces que fracase, sino cuanto logre aprender de los fracasos para convertirlos en triunfos.

A mis apreciados hermanos Jonathan, Lissette y Ariel que confiaron en mí y me brindaron su apoyo en todo momento de mi carrera universitaria.

Gustavo Guevara.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mi abuelo Jesús, por ser mi modelo para seguir, por acogerme momentos de desconsuelo, por brindarme su sabiduría para en la toma de las decisiones que marcaron mi vida.

A mis padres Moisés y Inés, por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, por las palabras de aliento para continuar luchando por mis sueños, por los valores inculcados, y por la oportunidad de tener una excelente educación

Agradezco también a toda mi familia quienes han sido un apoyo y siempre estuvieron conmigo en los momentos más difíciles de mi vida Universitaria, por su paciencia y apoyo recibido.

A todos los docentes, les agradezco por todo el conocimiento impartido dentro y fuera de las aulas de clases, a lo largo de mi vida estudiantil.

A todos los docentes miembros del tribunal por asesorarme en este proyecto de investigación por darme su tiempo, y especialmente a mi tutora Mtr. Deysi Inca

Gustavo Guevara.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	3
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO I	10
1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	10
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 GENERAL	12
1.2.2 ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO II	13
2.1 ANTECEDENTES	13
2.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ECG	14
2.2.1 Introducción al Procesamiento de Señales ECG	14
2.2.2 Estructura del sistema de adquisición de señales cardiacas	16
2.2.3 Adquisición y tratamiento de la señal ECG.....	17
2.3 LAS DERIVACIONES	18
2.3.1 Derivaciones unipolares de las extremidades:.....	19
2.3.2 Derivaciones unipolares precordiales:.....	19
2.3.3 Localización de los electrodos.....	20
2.3.4 Las derivaciones y sus planos.....	20
2.3.5 La cuadrícula electrocardiográfica	20
2.3.6 Ondas de las señales ECG	21
2.4 TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION (LTE)	26
2.4.1 Generalidades	26
2.4.2 Protocolos	27
2.5 COMPONENTES DE ADQUISICIÓN	28
2.5.1 Monitor AD8232	28
2.5.2 Nextion NX4832T035	29
2.5.3 Placa de desarrollo SIM7100A.....	30
2.5.4 Arduino Mega 2560.....	32
2.5.5 Regulador Elevador	32
2.6 SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LA PAGINA WEB	33

2.6.1	AWS EC2	33
2.6.2	EMQ X Broker	34
2.6.3	HeidiSQL.....	35
2.6.4	ATOM	36
CAPÍTULO III.....		37
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
3.1.1	Investigación Experimental	37
3.1.2	Investigación Descriptiva	37
3.2	UNIDAD DE ANÁLISIS	37
3.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN.....	38
3.4	INSTRUMENTACIÓN	38
3.5	HIPÓTESIS	39
3.6	PROCEDIMIENTOS.....	39
3.7	DISEÑO DEL MÓDULO DE MONITORIZACIÓN CARDIACA	41
3.8	ANÁLISIS DE LA RED LTE	43
3.9	CREACIÓN DEL SERVIDOR VPS	43
3.10	INSTALACION DEL SOFTWARE VESTA	44
3.11	CREACIÓN DE LA PRELIMINAR DE LA PÁGINA	45
3.12	VISUALIZACIÓN DE ERRORES	46
3.13	ELABORACIÓN DE LA PÁGINA DE REGISTRO	47
3.14	HABILITACIÓN DE LA COMUNICACIÓN A EQMX.....	48
3.15	CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA EL EMQX.....	50
3.16	DESARROLLO DEL PROGRAMA EN ARDUINO PARA MQTT.....	51
3.17	DISEÑO DE LA PLACA	52
CAPÍTULO IV		54
4.1	RESULTADOS EXPERIMENTALES	54
4.2	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	54
4.3	ANÁLISIS ENTRE VESTA Y AWS.....	54
4.4	PRUEBA DE VELOCIDAD DEL SERVIDOR	55
4.4	TEST DEL MODULO SIM7100	56
4.5	PRUEBAS AL SENSOR AD8232.....	58
4.6	PRUEBA DE INGRESO A LA PÁGINA DE LA SEÑAL ECG.....	60
4.7	PRUEBA DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE MENSAJES ENTRE LA PÁGINA WEB Y MQTT.....	61

4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
4.8 DISCUSIÓN.....	66
CAPÍTULO V.....	67
5.1 CONCLUSIONES.....	67
5.2 RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Pines de habilitación del Módulo LTE.....	32
Tabla 2:Operacionalización de Variables.....	39
Tabla 3:Velocidad de descarga del servidor.....	55
Tabla 4. Velocidad UL y DL en smartphone.....	57
Tabla 5. Resumen de Afectación de la velocidad de descarga de datos.....	58
Tabla 6. Resumen de Afectación de la velocidad de subida de datos.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Algoritmos para procesamiento de señales ECG.....	15
Figura 2. Sistema de adquisición y procesamiento de señales electrocardiográficas.....	17
Figura 3. Triángulo de Einthoven.....	18
Figura 4. Derivaciones bipolares DI, DII y DIII.	19
Figura 5. Derivaciones del plano frontal.	20
Figura 6. La cuadrícula electrocardiográfica.....	21
Figura 7. Onda P.....	22
Figura 8. Onda Tp.:.....	22
Figura 9. Intervalo PR.....	23
Figura 10. Complejo QRS y sus variantes.....	23
Figura 11. Segmento ST y punto J.....	24
Figura 12. Onda T.....	25
Figura 13. Segmento QT.....	25

Figura 14. Onda U	26
Figura 15. El modelo de publicación y de suscripción de MQTT para sensores de IoT	28
Figura 16. Monitor Cardíaco AD8232.....	29
Figura 17. Pantalla Nextion	30
Figura 18. Módulo de desarrollo SIM7100A	31
Figura 19. Placa de desarrollo Arduino Mega 2560	32
Figura 20. Regulador Elevador.....	33
Figura 21. Amazon EC2 servidores en línea	34
Figura 22. EMQX	35
Figura 23. HeidiSQL Editor de base de datos	36
Figura 24. ATOM editor de texto	36
Figura 25. Diagrama general del sistema de adquisición de señal ECG	41
Figura 26. Conexión del módulo SIM7100A con la PC.....	42
<i>Figura 27. Software AT Comman Tester For Simcom para verificación del módulo Sim7100A.....</i>	<i>42</i>
Figura 28. Calidad de la señal de Movistar	43
Figura 29. Comprobación DNS del dominio creado	44
Figura 30. VESTA Instalación en VPS	45
Figura 31. Configuración de la página web con Atom.....	46
Figura 32. Habilidad para visualización de errores	47
Figura 33. Edición de la base de datos en phpMyAdmin	47
Figura 34. Gestor de base de Datos externo	48
Figura 35. Proceso de instalación EMQX en el servidor.....	49
Figura 36. Encendido del servidor EMQX.....	49
Figura 37. Dashboard de EMQ X BROKER.....	50
Figura 38. Base de datos para el servidor de MQTT.....	50
Figura 39. PlatformIO vista principal.....	51
Figura 40. TinyGSM librería para Arduino	51
Figura 41. ATOM programa para Arduino.....	52
Figura 42. Placa diseñada Proteus	53
Figura 43. Dispositivo LTE	53
Figura 44. Comunicación entre VESTA y AWS EC2.....	54
Figura 45. Prueba de velocidad del servidor	55
Figura 46. Test del módulo SIM 7100.....	56

Figura 47. Test de TCP para en modulo Sim7100.....	57
Figura 48. Señal cuando no están con estados los electrodos.....	59
Figura 49. Señal obtenida de un paciente	59
Figura 50. Mensaje de restricción a la pagina	60
Figura 51. Visualización de la página para personas autorizadas	61
Figura 52. Prueba de envío recepción de datos en EMQX.....	62
Figura 53. Envío y recepción de datos desde la página WEB	62
Figura 54. Prueba de Normalidad con la herramienta estadística IBM SPSS	63
Figura 55. Valores Estadísticos descriptivos de BPM por la herramienta IBM SPSS ...	64
Figura 56. Prueba T de medias independiente con la herramienta IBM SPSS.....	65
Figura 57. Diagrama de cajas de Frecuencia cardiaca con la herramienta IBM de SPSS	65

RESUMEN

El presente proyecto realiza la adquisición de señales ECG, para su control, medición y monitoreo en pacientes que presenten alguno tipo de problemas como el sobrepeso, diabetes, el abuso de sustancia psicotrópicas y en personas con defectos cardiacos congénitos, que debido a su condición de salud requieren de una excelente alimentación y de un cuidado adecuado en la suministración de medicamentos, el inadecuado uso de la prescripción médica u omisión de esta tiende a causar afecciones en el organismo del paciente.

La adquisición de la señal ECG se la efectúa mediante el monitor cardiaco AD8232, que se caracteriza por permitir la monitorización del ritmo cardiaco mientras el paciente se encuentra descansando o realizando su actividad cotidiana, esta señal es procesada por una placa de desarrollo ARDUINO basada en microcontroladores para permitir la visualización de la señal, la transmisión de la señal ECG por 4G/LTE se realiza por medio de un servidor creado por ARDUINO y el acoplamiento del módulo SIM7100A.

La monitorización del paciente se realiza mediante un dispositivo que efectúa el control de señales electrocardiográficas. Los resultados obtenidos se observan en una pantalla gráfica y simultáneamente en una página web, a la vez estos resultados se almacenan en una base de datos, en el momento de que se registre una complicación es decir una variación abrupta de la señal ECG en sistema, este enviará un mensaje de alerta al médico de confianza o a la persona a cargo del cuidado del paciente, mediante la red LTE.

Se realizaron pruebas de comportamiento del servidor con distintas plataformas por medio de variables del diseño de la página WEB, la plataforma EMQ X Broker basa en el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) demostró ser eficiente para proyectos IoT, un ejemplo del uso de este protocolo es la aplicación del Messenger de Facebook para los dispositivos móviles.

Se ha visto una amplia factibilidad para el diseño de prototipos con comunicación LTE gracias a que permiten una mayor movilidad, y se puede transmitir grandes volúmenes de datos en tiempo real

La aplicación me ha permitido ampliar el conocimiento de la tecnología médica o telemedicina, que requiere grandes prestaciones de servicio, para que los pacientes sean correctamente atendidos y tengan un estándar de vida digna y saludable.

Abstract

This project makes the acquisition of ECG signals, for measurement and monitoring control who present some problems such as overweight, diabetes, substance abuse and in people with congenital heart defects, due to their condition Health require excellent nutrition and proper care in the supply of medications, the inappropriate use of medical prescription or omission of this tends to cause ailments in the patient's body.

The acquisition of the ECG signal made through the AD8232 heart allowing the monitoring of the heart rhythm while the patient is resting or performing a daily activity, this signal is processed by an ARDUINO development board based on microcontrollers in order to allow the sign to be displayed, the transmission of the ECG signal by 4G / LTE is carried out by means of a server created by ARDUINO and the coupling of the SIM7100A module.

Patient monitoring is carried out using a device that controls electrocardiographic signals. The results obtained are observed on a graphic screen and simultaneously on a web page, at the same time these results stored in a database, at the time a complication recorded, that is, an abrupt variation of the ECG signal in the system, this will send an alert message to the trusted doctor or the person in charge of patient care, through the LTE network.

Behavior tests of the server with different platforms were carried out through variable to the website design, the EMQ X Broker platform based on the MQTT protocol (Message Queue Telemetry Transform) proved to be efficient for projects, an example of the use of this protocol is the Facebook Messenger application for mobile devices.

Extensive feasibility saw for the design of prototypes with LTE communication thanks to the fact that they allow greater mobility and large volumes of data transmitted in real-time

The application has allowed me to expand my knowledge of medical technology or telemedicine, which requires excellent service so that patients are appropriately treated and have a decent and healthy standard of living.


Reviewed by Caisaguano Janneth

Language Center Teacher



INTRODUCCIÓN

Innegablemente en el presente los humanos avanzan tecnológicamente con mucha mayor rapidez, debido a que permite realizar tareas complejas en un menor tiempo, responder de una mejor manera y mucho más eficiente ante cualquier problema o amenaza, se podría decir que el desarrollo tecnológico depende de la creatividad.

La necesidad de saber el funciona el cuerpo humano ha permitido el desarrollo de tecnologías destinadas a monitorear a personas enfermas, donde su organismo se ve afectado por diversos problemas pudiendo terminar en el peor de los casos en la muerte.

Las enfermedades isquémicas del corazón (EIC) son consideradas de entre las enfermedades no transmitirles como la principal causa de muerte prematura, estas enfermedades produjeron 9,48 millones de defunciones a nivel mundial en el año 2016.

En el presente proyecto de investigación se pretende realizar un sistema de registro cardiaco electrocardiograma (ECG) que permita realizar un seguimiento a pacientes con problemas ya preestablecidos, esto es para ayudar limitar futuras complicaciones y a su vez permitirá seguir en la medida posible con la actividad diaria de las personas con EIC.

Se han registrado en Ecuador 46,133 defunciones por causa de las enfermedades isquémicas en el periodo de 2001 al 2016, de las cuales 6,093 defunciones se registraron en el año 2016. (Solange Núñez-González, 2018)

El análisis oportuno a pacientes mediante un electrocardiograma faculta la posibilidad anticipar las acciones por parte de doctores y el personal de enfermería, en caso extremos permite planear intervenciones necesarias a pacientes y evitar las posibles complicaciones, dando la posibilidad de desarrollar planes adecuados a las necesidades de cada individuo, garantizando un cuidado integral y de calidad.

Los electrocardiogramas son una de las formas más efectivas para el control de las enfermedades del corazón, pero los precios de estos dispositivos son altos sobre todo aquellos que ofertan movilidad y monitoreo constante, la adquisición de estos sistemas es afectada en los hospitales por motivo de presupuestos limitados y de especialistas.

Efectivamente el monitoreo para el control de estas enfermedades es más fácil gracias a la transmisión inalámbricas de datos, convirtiéndolos en sistemas de suma importancia

ya que en función de estos se puede llegar a sectores que no cuentan de infraestructuras cableadas.

El propósito de este sistema ECG es mejorar el alcance de la salud pública obteniendo un mayor alcance social, por lo cual este diseño se centra en comunicaciones inalámbricas 4G LTE debido a la predisposición en la que se basan, estos permiten: flexibilidad, excelente desempeño y de bajo costo.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Los electrocardiogramas son una de las formas más efectivas para el control de las enfermedades del corazón, pero los precios de estos dispositivos son altos sobre todo aquellos que ofertan movilidad y monitoreo constante, la adquisición de estos sistemas es afectada en los hospitales por motivo de presupuestos limitados y de especialistas.

Las condiciones cardiacas son potencialmente incapacidades ya que imponen limitaciones físicas, económicas y de salud que está estrechamente relacionada a la calidad de vida de las personas afectadas, estas condiciones se convierten en una carga económica, impactando a la sociedad debido a los gastos en el tratamiento de la atención sanitaria y la pérdida de la productividad por el impacto que se genera en el trabajo. Estas condiciones cardiacas son un problema de salud pública debido a que son la principal causa de muerte en la región de América Latina.

En Ecuador constituye un problema mayor de salud pública entre las cuatro condiciones cardiacas: hipertensión (HTN), infarto al miocardio (MI), fibrilación auricular (AF), insuficiencia cardiaca (HF) afectan aproximadamente a 1.4 millones de personas en Ecuador, alrededor de 14% de la población adulta. (Economics, 2016)

“El costo financiero en Ecuador en 2015 a causa de estas condiciones cardiacas se estima en \$615 millones de USD, de este valor se estima que aproximadamente 37% es el costo del sistema de salud (Economics, 2016). La diferencia de estos costos está comprendida en pérdidas de productividad, entre estas se encuentran la pérdida de ingresos a causa del ausentismo, una participación reducida en el empleo, muerte prematura y pérdidas en la recaudación tributaria para el gobierno”.

“La edad promedio de individuo con insuficiencia cardiaca es de 62.2 años” (Economics, 2016), esta condición impone una carga para los cuidadores informales (familiares), debido a que necesitan una cantidad relativamente superior de tiempo, ya que el tiempo invertido en la atención es tiempo que no puede dirigirse a otras actividades como trabajo pagado, trabajo no pagado (como trabajo doméstico o jardinería) o a recreación.

Efectivamente el monitoreo para el control de estas enfermedades es más fácil gracias a la transmisión inalámbricas de datos, convirtiéndolos en sistemas de suma importancia ya que en función de estos se puede llegar a sectores que no cuentan de infraestructuras cableadas.

Un control inadecuado de la atención también resulta en mayores estancias hospitalarias y readmisiones de los pacientes. La telemedicina es un enfoque emergente en el control de las condiciones cardiacas al utilizar la monitorización remota de los indicadores pronósticos (por ej. peso, arritmias, presión arterial, frecuencias cardiacas en reposo y durante el esfuerzo, etc.) para facilitar la detección temprana de los cambios clínicamente significativos, prevenir las admisiones a emergencias y evitar complicaciones (Anker et al, 2011).

Existen muchas definiciones de telemedicina, la definición adoptada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1998) es “brindar servicios de atención sanitaria, donde la distancia es un factor crítico, por todos los profesionales de atención sanitaria utilizando tecnologías de información y comunicación para el intercambio de información válida para el diagnóstico, el tratamiento y la prevención de enfermedades y lesiones, la investigación y evaluación y para la educación continua de los proveedores de atención sanitaria, todo en interés de lograr un avance en la salud de los individuos y sus comunidades”.

Los servicios de telemedicina que se enfocan principalmente en el diagnóstico y el control clínico se ofrecen rutinariamente en las regiones industrializadas, incluyendo más no limitándose al Reino Unido, Irlanda del Norte, Escandinavia, Estados Unidos y Australia. Además, los dispositivos de medición biométrica como aquellos que miden la frecuencia cardiaca (HR), la presión arterial (BP) y los niveles de glucosa sanguíneos se están utilizando crecientemente para monitorear de forma remota y controlar a los pacientes con condiciones agudas y crónicas.

El propósito de este sistema **ECG** es mejorar el alcance de la salud pública obteniendo un mayor alcance social, por lo cual este diseño se centra en comunicaciones inalámbricas **4G LTE** debido a la predisposición en la que se basan, estos permiten: flexibilidad, reducir la variabilidad de los diagnósticos, así como también para mejorar el control clínico y de bajo costo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema adquisición de señales ECG en tiempo real utilizando la tecnología LTE.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar un prototipo para la adquisición de señales del corazón a través de sensores y un microprocesador para detectar las señales.
- Implementar una plataforma de almacenamiento de datos para el acceso remoto del dispositivo a través de la tecnología LTE.
- Evaluar el desempeño del sistema ECG a través de las pruebas para determinar la eficiencia.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO A LA TEMÁTICA

2.1 ANTECEDENTES

El corazón tiene un sistema de conducción cardiaco que permite un control de cada contracción llegue a todas sus células musculares en una secuencia ordenada, este sistema se registra por el electrocardiógrafo que es una herramienta esencial para el diagnóstico, en las últimas décadas el desarrollo de la electrofisiología cardiaca ha permitido la curación de muchas patologías mediante el uso de la herramientas diagnósticas, entre estas la más práctica es el electrocardiograma y, por tanto, para el tratamiento de las arritmias cardiacas.

El procesamiento de la señal ECG es crucial para determinar el tipo de afectación del corazón, “El electrocardiógrafo es un dispositivo diseñado para mostrar la dirección y magnitud de las corrientes eléctricas producidas por el corazón. Debido a que la corriente fluye en múltiples direcciones del músculo cardíaco, este aparato obtiene la resultante de todos los vectores que se generan en un momento dado mediante el uso de electrodos (contactos eléctricos) colocados en diferentes partes del cuerpo sobre la piel.”

Electrocardiografía y Arritmias

En la Universidad de Antioquia se realizó una investigación titulada “Diseño e implementación de un sistema electrocardiográfico digital” cuyos autores son Cristian Vidal Silva y Valeska Gatica Rojas, los cuales manifiestan que, trabajar con señales bioeléctricas del cuerpo humano no es una tarea simple. Es necesario conocer aspectos biológicos y eléctricos propios del cuerpo humano. Este trabajo describe conocimiento y pasos necesarios para el diseño e implementación de un sistema digital para la adquisición y tratamiento de una señal eléctrica del cuerpo humano; la señal electrocardiográfica (ECG). Algunos de los aspectos más importantes a ser considerados en la implementación de un sistema de procesamiento digital de señales (DSP, del inglés digital signal processing) para trabajar con señales bioeléctricas humanas son descritos: computación gráfica, diseño de circuitos electrónicos con restricciones de tiempo real, análisis de señales eléctricas del cuerpo humano y diseño de algoritmos en línea. En el contexto de los últimos dos aspectos señalados, se dan a conocer algunos algoritmos de filtrado de la

señal ECG y se muestran algunos resultados de mejoras a un algoritmo clásico para la detección de complejos QRS de la señal ECG. (Silva, 2010)

En la Universidad de Tarapacá se llevó a cabo una investigación con el tema “Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales electrocardiográficas” por los estudiantes Cristian Vidal Silva y Leopoldo Pavesi Farriol, los mismos que manifiestan que, el electrocardiograma es un registro gráfico de los potenciales eléctricos generados en el corazón durante el ciclo cardiaco. El electrocardiograma suele designarse por las letras (ECG o EKG), y entrega una información muy útil acerca del funcionamiento del corazón. Esta representación consiste en una línea base y varias deflexiones y ondas. Colocando electrodos en diversas posiciones del cuerpo y conectando dichos electrodos a un aparato electrocardiográfico, se pueden registrar las variaciones del potencial eléctrico cardiaco. La disposición específica que guardan los electrodos en el cuerpo humano recibe el nombre de “derivación”. Las derivaciones más importantes reciben el nombre de Bipolares, Aumentadas y Precordiales Unipolares. En este trabajo se utilizaron sólo las derivaciones bipolares. (Silva, 2004)

2.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES ECG

2.2.1 Introducción al Procesamiento de Señales ECG

El procesamiento de señales se lleva a cabo hoy en día en la gran mayoría de los sistemas para el análisis y la interpretación de ECG. Para (Vidal & Pavesi, 2005), el objetivo del procesamiento de señales ECG es recolectar y comprender las mejoras de precisión en las mediciones y la reproducibilidad (cuando se compara con mediciones manuales) y la extracción de información no fácilmente disponible a partir de la señal a través de la evaluación visual.

En muchas situaciones, el ECG se registra durante condiciones ambulatorias o extenuantes, de tal manera que la señal está dañada por diferentes tipos de ruido, a veces procedente de otro proceso fisiológico del cuerpo. Por lo tanto, la reducción de ruido representa otro objetivo importante del tratamiento de la señal de ECG; De hecho, las formas de onda de interés son a veces tan fuertemente enmascaradas por el ruido que su presencia sólo puede revelarse una vez que el procesamiento de señal apropiada se ha aplicado primero.

La detección de bajo nivel, los cambios en la amplitud de la onda T alterna es otro ejemplo de comportamiento oscilatorio que se ha establecido como un indicador de mayor riesgo de repentinas arritmias cardíacas potencialmente mortales. Ninguna de estas dos propiedades de señales oscilatorias puede ser percibida a simple vista de una impresión estándar de ECG. Común a todos los tipos de análisis de ECG (si se refiere a la interpretación del ECG en reposo, pruebas de esfuerzo, la monitorización ambulatoria, o un control de cuidados intensivos), es un conjunto básico de algoritmos que condicionan la señal con respecto a los diferentes tipos de ruido y los artefactos, detectar los latidos del corazón , extraer mediciones de ECG básicos de amplitudes de onda y duraciones, y comprimir los datos para el almacenamiento o la transmisión eficiente; en la figura 1 se muestra el diagrama de bloques que representa al conjunto de algoritmos para el procesamiento de señales ECG. (Almeida, 2014)

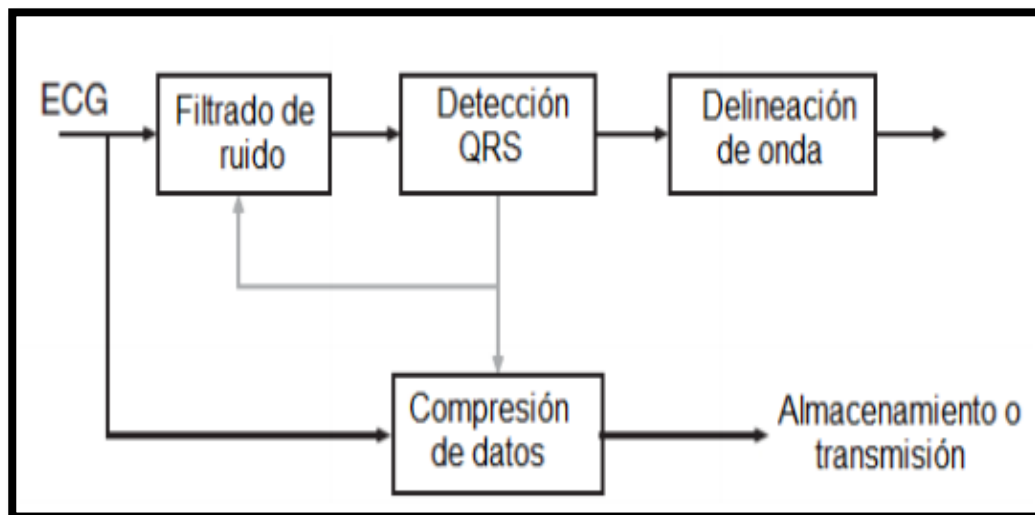


Figura 1. Algoritmos para procesamiento de señales ECG

Fuente: (Cuesta, 2001)

Los sistemas de clasificación de señales cardíacas normalmente actúan junto a módulos de adquisición y preprocesamiento de las señales eléctricas del corazón. Estos módulos son requeridos debido a que dichos sistemas necesitan que la señal obtenida sea lo más clara posible y libre de errores en el proceso de adquisición. Las señales eléctricas de corazón, o el empleo de un electrocardiograma (ECG), permiten conocer el comportamiento de dicho órgano. Estas señales indican un registro toda la actividad realizada por este músculo y a través de ellas es posible identificar cuando el corazón funciona normalmente o tiene alguna falla. (Ochoa, 2010)

La interpretación del ECG tradicionalmente se ha realizado mediante la observación visual del trazado electrocardiográfico por parte de un especialista entrenado que, basado en experiencia y en criterios establecidos, llega a una conclusión sobre la presencia o no de trastornos en la actividad cardíaca. Este proceso es propenso a imprecisiones por las propias características del trazado y por factores objetivos y subjetivos (fatiga, experiencia, capacidad visual, etc.) que afectan a los humanos en esta tarea. Debido a ello, en las últimas décadas ha cobrado gran auge la interpretación automática del ECG y ya es común que los electrocardiógrafos actuales incluyan esta característica. Sin embargo, aún no se ha logrado la estandarización y cada fabricante desarrolla su propio método de interpretación. Todos estos avances han sido posibles debido a la miniaturización, bajo consumo y potencia de cómputo alcanzado por las componentes electrónicas actuales, así como por los avances en los métodos para el procesamiento digital de bio-señales. (Ochoa, 2010)

Las señales bioeléctricas son una herramienta muy importante en el diagnóstico médico, en específico, las señales electrocardiográficas dan información sobre la actividad cardíaca, un buen recurso en el diagnóstico de las arritmias cardíacas, en la valoración de la respuesta al tratamiento, en proporcionar información relativa a algunos procesos fisiológicos o patológicos que afectan al corazón. Para su medición comúnmente se utilizan electrodos Ag/AgCl los cuales se colocan sobre la piel, la cual debe ser previamente preparada, limpiando y afeitando la zona donde se colocarán, posteriormente se utiliza un gel electrolítico, el cual después de un tiempo irrita la piel. Es por esto que en este trabajo se presenta en una nueva tecnología, el electrodo capacitivo, que basa su funcionamiento en la detección de carga por inducción eléctrica, el cual elimina los inconvenientes de los electrodos convencionales. (Delgado, 2013).

2.2.2 Estructura del sistema de adquisición de señales cardíacas

La estructura interna del sistema de adquisición de señales cardíacas propuesto que permitirá generar un electrocardiograma. En la figura 2 se puede observar un sistema de adquisición está compuesto por tres módulos que interconectan al usuario con el equipo electrónico (computadora): etapa de amplificación y pre-filtrado, etapa de digitalización y filtrado, y la etapa de almacenamiento y transmisión de datos. Es importante mencionar que entre el usuario y la primera etapa existe un sistema de protección que lo previene de posibles corrientes de fuga. (Columba Díaz, 2012)

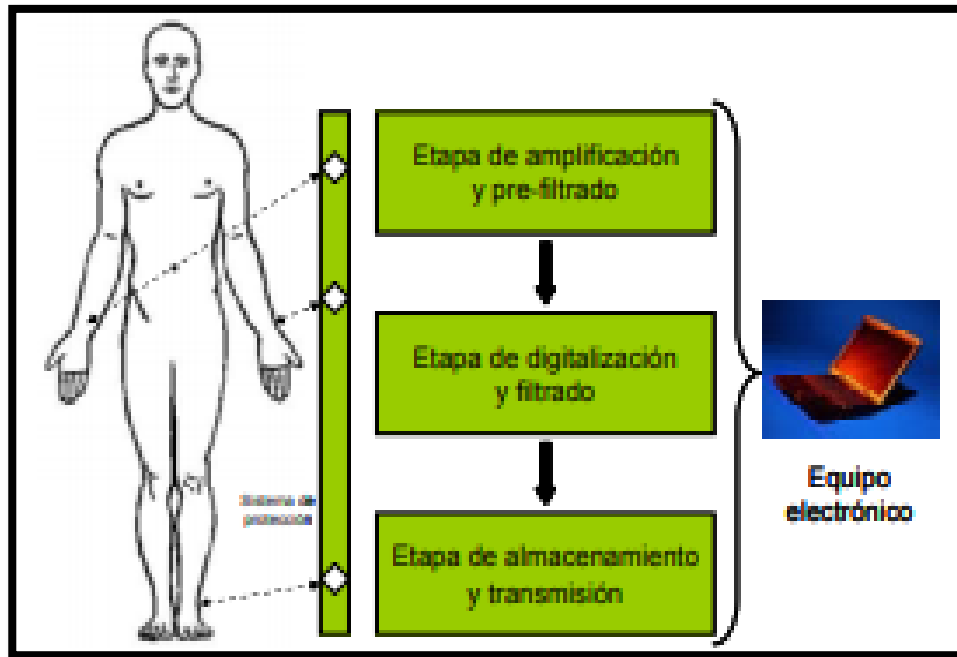


Figura 2. Sistema de adquisición y procesamiento de señales electrocardiográficas.

Fuente: (Columba Díaz, 2012)

2.2.3 Adquisición y tratamiento de la señal ECG

Una de las labores más importantes presente en cualquier sistema de adquisición y tratamiento de señales es determinar las características físicas de la señal que se desea manipular, en la figura 3 se puede observar el Triángulo de Einthoven, el cual es utilizado para la adquisición básica de señales. Hay dos enfoques equivalentes que permiten obtener información en dominios diferentes: dominio del tiempo y dominio de la frecuencia. El dominio del tiempo se refiere al análisis de la señal respecto al tiempo, mientras que el análisis de las componentes frecuenciales de la señal se denomina dominio de la frecuencia. Lo anterior es relevante desde un punto de vista electrónico, algorítmico y computacional, para trabajar con técnicas de reconocimiento de patrones (características de la señal). (Silva, 2019)

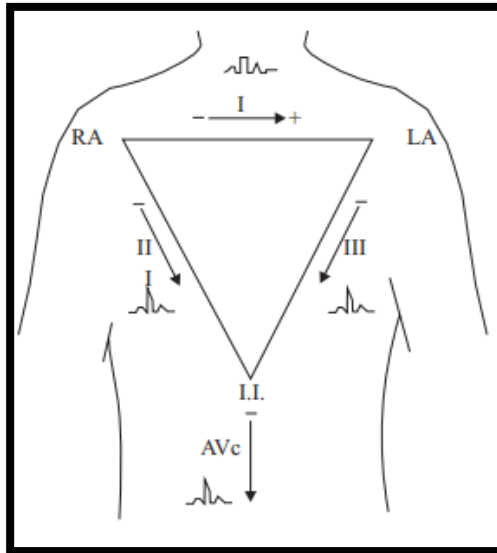


Figura 3. Triángulo de Einthoven

Fuente: (Silva, 2019)

2.3 LAS DERIVACIONES

“La finalidad de una derivación electrocardiográfica es medir la corriente que va en la dirección marcada por una línea recta que une los electrodos utilizados”. (Uribe, 2015),

Derivaciones bipolares: En una derivación bipolar de las extremidades se coloca un electrodo positivo en una extremidad y uno negativo en otra, midiendo la diferencia de potencial entre ambos. Las derivaciones bipolares de las extremidades son: DI, DII y DIII. (Uribe, 2015)

Las derivaciones bipolares DI, DII y DIII. Miden la diferencia de potenciales entre el electrodo positivo y negativo de cada derivación. (Uribe, 2015)

La figura 4 describe la ubicación de los electrodos en el cuerpo que son utilizadas en las derivaciones bipolares.

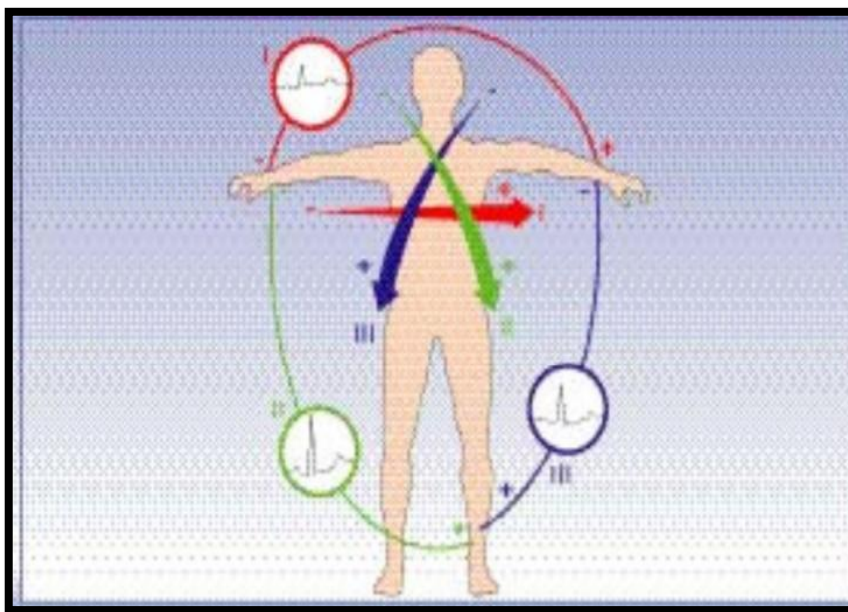


Figura 4. Derivaciones bipolares DI, DII y DIII.

Fuente: (Arévalo & Cano, 2019)

2.3.1 Derivaciones unipolares de las extremidades:

Fueron ideadas por Frank Wilson en 1934 con el fin de medir la fuerza eléctrica absoluta de un electrodo positivo (+) en el cuerpo. Para esto se necesita que el otro electrodo sea de potencial cero (0), y esto se logró uniendo los cables de las extremidades correspondientes a los electrodos negativos de tal manera que se anulen sus fuerzas respectivas. Estas derivaciones unipolares de las extremidades se llamaron derivaciones V y a la que va de la unidad central (en donde están unidos los electrodos negativos) al brazo izquierdo se le llamó VL (L, Left), al brazo derecho VR (R, Right) y a la pierna izquierda VF (F, Foot). Debido a que estos potenciales deben ser amplificados (porque son de muy bajo voltaje) se agregó la letra a (a, augmented) al principio. (Uribe, 2015)

2.3.2 Derivaciones unipolares precordiales:

Las derivaciones precordiales son un sistema unipolar no amplificado. La unidad terminal o electrodo cero representa el centro eléctrico del corazón, donde los vectores (ejes) QRS y T tienen su origen. Este centro eléctrico está localizado cerca de la mitad del tórax, un poco a la izquierda. (Uribe, 2015)

2.3.3 Localización de los electrodos

- **Derivaciones bipolares**
 - ❖ DI: electrodo (+) en el brazo izquierdo y (-) en el brazo derecho.
 - ❖ DII: electrodo (-) en el brazo derecho y (+) en la pierna izquierda.
 - ❖ DIII: electrodo (-) en el brazo izquierdo y (+) en la pierna izquierda. (Ortiz, 2012)

2.3.4 Las derivaciones y sus planos

- **Plano frontal**

En la figura 5 se describe las derivaciones bipolares y las derivaciones unipolares de las extremidades miden la dirección de la corriente que va por el plano frontal, o sea, de arriba abajo y de izquierda a derecha. (Uribe, 2005)

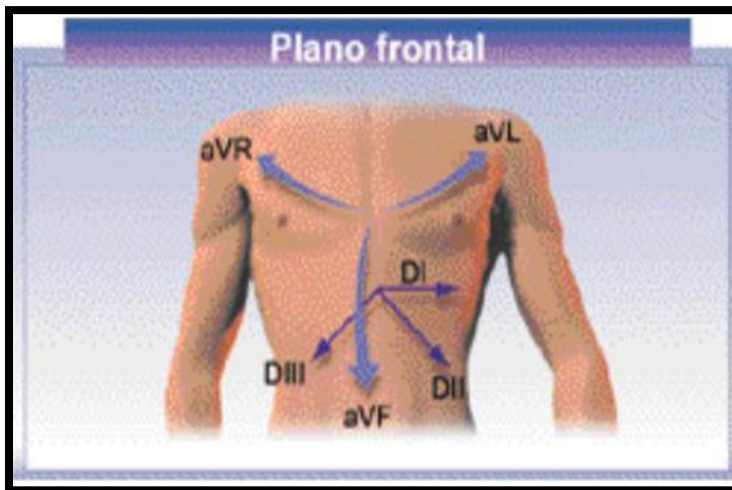


Figura 5. Derivaciones del plano frontal.

Fuente: (Uribe, 2005)

2.3.5 La cuadrícula electrocardiográfica

Los valores de las cuadrículas dependen de la estandarización. La mayoría de los electrocardiógrafos traen una perilla para estandarizar el ECG a 1 mV y 0.5 mV, sólo algunos permiten estandarizar a 2 mV. En la figura 6 se observa la estandarización que normalmente se utiliza para registrar un ECG es la de 1 mV. Sin embargo, cuando los complejos son de muy alto voltaje se utiliza la de 0.5 mV y cuando son de muy bajo voltaje la de 2 mV. Cuando estandarizamos el equipo en 1 mV el estilo alcanza una altura

de 10 mm. Si la estandarización se hace a 0.5 mV quiere decir que 1 mV equivale a 5 mm y si se hace a 2 mV, quiere decir que 1 mV equivale a 20 mm. (Uribe, Duque, & Medina, 2005)

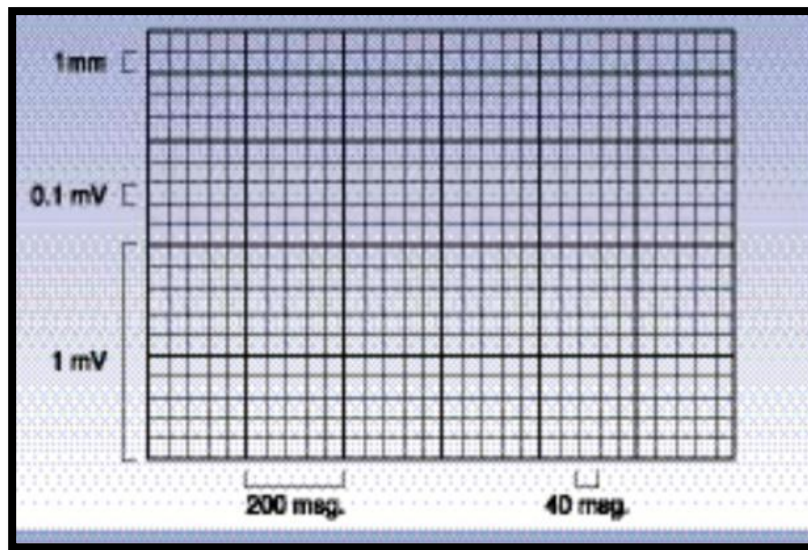


Figura 6. La cuadrícula electrocardiográfica

Fuente: (Uribe, 2005)

2.3.6 Ondas de las señales ECG

Onda P: la primera onda de un ciclo cardíaco representa la activación de las aurículas y en electrocardiografía se denomina onda P.

La primera parte de la onda P como se observa en la figura 7 representa la activación de la aurícula derecha, la sección media representa la parte final de la activación auricular derecha y el inicio de la activación auricular izquierda y, por último, la porción final representa la culminación de la activación auricular izquierda. El nodo auriculoventricular (AV) se activa cuando se está inscribiendo la porción media de la onda P y esta activación prosigue lentamente hacia los ventrículos durante la porción final de la onda P. (Uribe, Duque, & Medina, 2005)

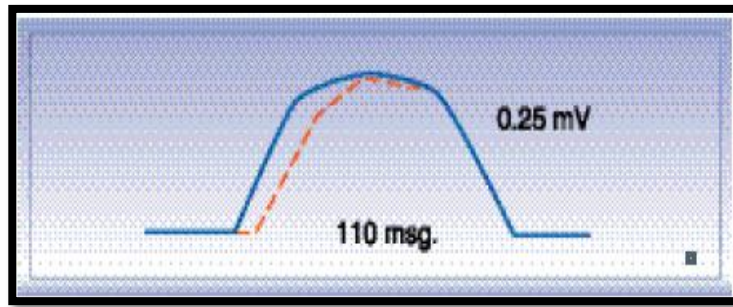


Figura 7. Onda P.

Fuente: (Uribe, 2005)

Onda P. Note que la despolarización de la aurícula izquierda se inicia unos cuantos milisegundos después que la aurícula derecha (línea punteada).

Onda Tp: es la onda que representa la recuperación eléctrica de las aurículas. Esta onda se inscribe al mismo tiempo en que está sucediendo la despolarización ventricular (complejo QRS) y por lo tanto no se observa en el ECG normal. En la figura 8 demuestra que es posible observarla en individuos con bloqueo AV de primer grado o completo. (Uribe, 2005)

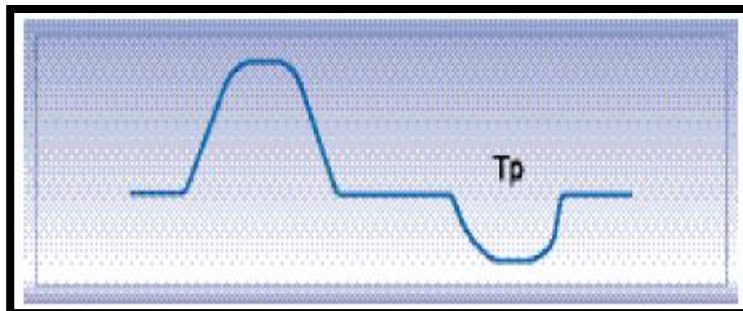


Figura 8. Onda Tp.:

Fuente: (Uribe, 2005)

Intervalo PR: se mide desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS, exista o no onda Q. Este intervalo mide el tiempo entre el comienzo de la activación del miocardio auricular y el ventricular (tiempo que tarda el impulso en viajar desde el nodo sinusal hasta las fibras musculares del ventrículo). Este intervalo comprende el “Segmento PR” localizado entre el final de la onda P y el inicio del complejo QRS, la [Figura 9](#) muestra comparación entre el intervalo PR y el segmento PR. El segmento PR representa el retraso fisiológico del impulso sinusal en el nodo AV. (Uribe, 2005) (Uribe, 2005)

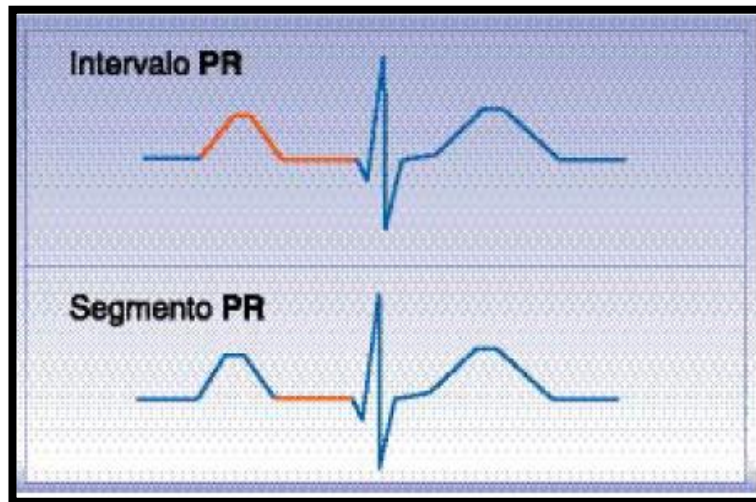


Figura 9. Intervalo PR

Fuente: (Uribe, 2005)

Complejo QRS: este complejo es la representación la activación de los ventrículos. La [Figura 10](#) describe la sección qRS de la onda senoidal y sus variantes el complejo QRS puede aparecer normalmente como una (monofásico), dos (bifásico) o tres (trifásico) ondas individuales. Por convención, toda onda negativa al comienzo del complejo QRS es llamada onda Q. La primera deflexión positiva que presenta un complejo QRS es llamada onda R (exista o no onda Q). Una deflexión negativa que siga a una onda R es llamada onda S. Cuando se presenta una segunda deflexión positiva es llamada R' y si se continúa con otra deflexión negativa ésta se llamará S'. Si el complejo QRS es monofásico negativo se denomina QS. El intervalo QRS es una medida fiel del tiempo de duración de la activación ventricular. (Uribe, 2005)

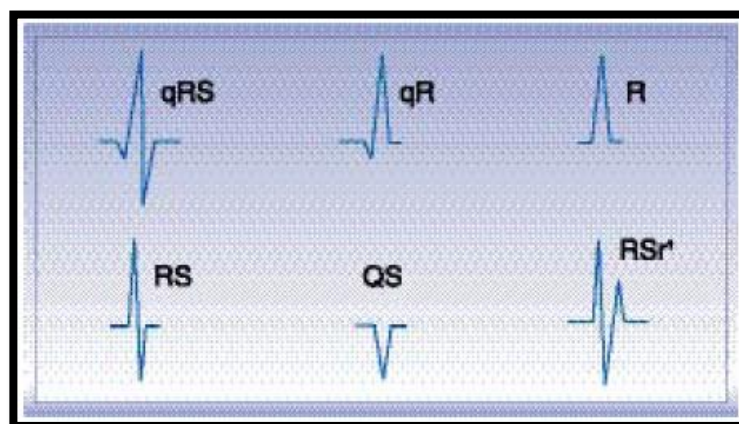


Figura 10. Complejo QRS y sus variantes

Fuente: (Uribe, 2005)

Segmento ST: es el intervalo entre el final de la activación ventricular y el comienzo de la recuperación ventricular. El término de segmento ST se utiliza sin importar si la onda final del complejo QRS es una onda R o S. La [Figura 11](#), describe el sitio de unión entre el complejo QRS y el segmento ST se conoce con el nombre de Punto “J” (Junction point). Este punto se utiliza para determinar si el segmento ST está elevado o deprimido con respecto a la línea de base del ECG. (Uribe, 2005)

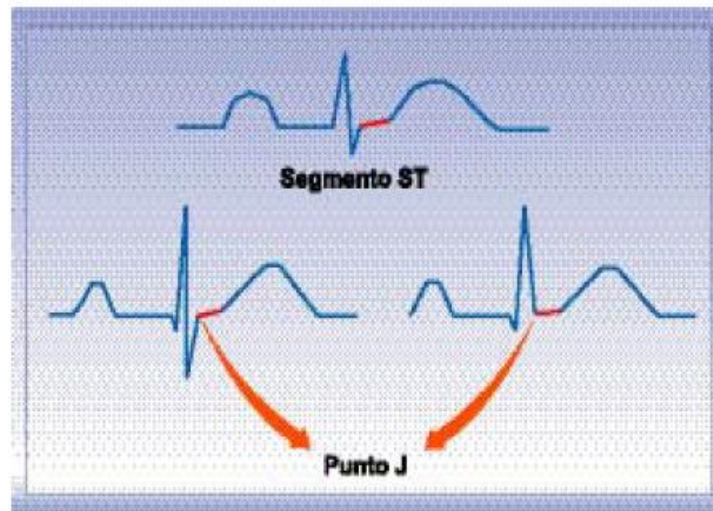


Figura 11. Segmento ST y punto J

Fuente: (Uribe, 2005)

Onda T: es la onda del ciclo cardíaco que representa la repolarización de los ventrículos. Debido a que la recuperación de las células ventriculares (repolarización) causa una contracorriente opuesta a la despolarización, uno podría esperar que la onda T fuera opuesta al complejo QRS. Sin embargo, las células epicárdicas se repolarizan más rápidamente que las células endocárdicas (debido a que en estas últimas la presión ejercida por la sangre es mayor y a que sorprendentemente la repolarización ocurre durante la sístole mecánica ventricular), lo que hace que la onda de repolarización se dirija en dirección opuesta a la onda de despolarización. Esto trae como resultado el hecho de que, en las personas normalmente, la onda T tenga la misma dirección del complejo QRS, ya que direcciones opuestas de repolarización y despolarización más direcciones opuestas de los campos eléctricos que avanzan producen una dirección igual del vector eléctrico. (Uribe, 2005)

En la ~~Figura 12~~Figura 12, se describe la onda T después de la repolarización después del complejo QRS.

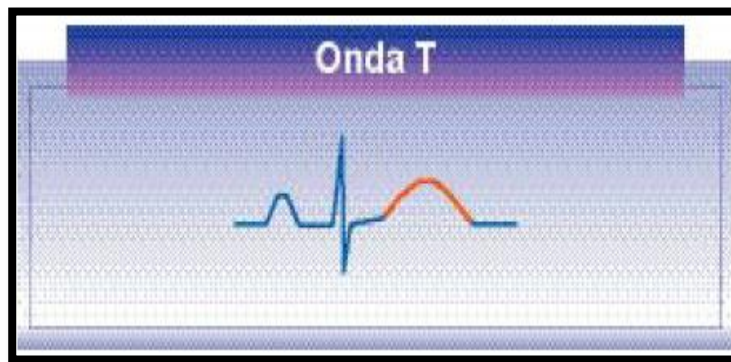


Figura 12. Onda T

Fuente: (Uribe, 2005)

Es una onda positiva en presencia de un complejo QRS de predominio positivo.

Segmento QT: representa el intervalo entre el comienzo de la activación ventricular y el final de la recuperación ventricular, que corresponde a la sístole mecánica ventricular (sístole y diástole eléctricas). En la ~~Figura 13~~Figura 13 se describe este segmento donde se mide desde el inicio del complejo QRS (exista o no onda Q) hasta el final de la onda T. (Uribe, Duque, & Medina, 2005)

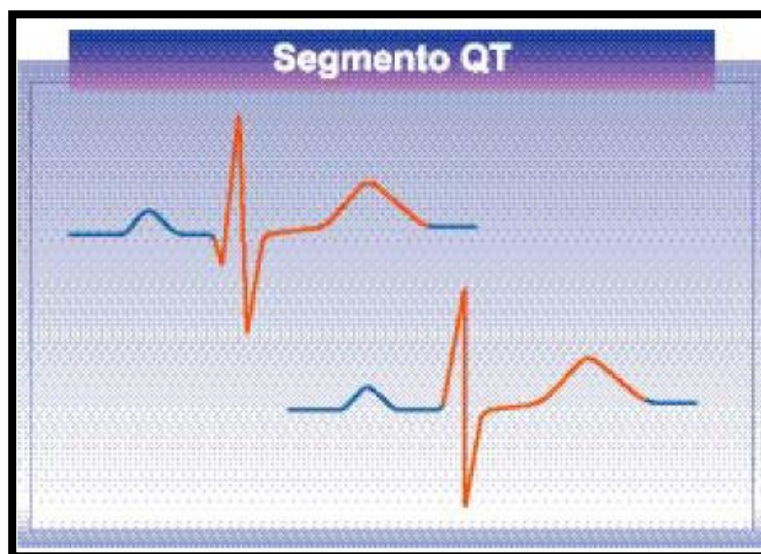


Figura 13. Segmento QT

Fuente: (Uribe, 2005)

Onda U: es una onda de bajo voltaje que se encuentra después de la onda T de un complejo y antes de la onda P del complejo siguiente, la Figura 14 describe a la onda U antes de la onda P y después de la onda T. Hay varias teorías que explican su origen:

- 1) Repola-rización del sistema de Purkinje,
- 2) Repola-rización de los músculos papilares. (Uribe, 2005)

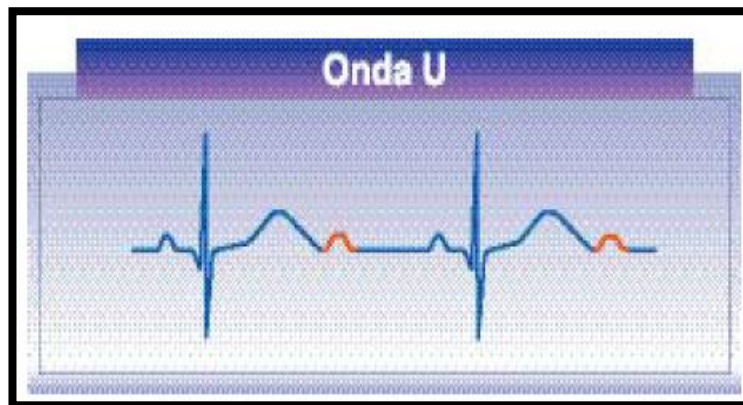


Figura 14. Onda U
Fuente: (Uribe, 2005)

2.4 TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION (LTE)

2.4.1 Generalidades

LTE es un estándar desarrollado por el grupo 3rd Generation Partnership Project (3GPP) para comunicaciones móviles de alta velocidad, buscando mejorar los picos máximos de descarga de datos, tener un ancho de banda escalable, mejorar la eficiencia espectral, utilizar IP en toda la red, soportar multitud de tipos diferentes de usuarios y reducir la brecha de intercambio de datos con redes de datos fijas. (Intriago, 2018)

El objetivo principal de LTE es proporcionar una alta tasa de datos, baja latencia y optimización de paquetes, con una tecnología de acceso de radio con un ancho de banda flexible, permitiendo a los operadores migrar sus redes de HSPA a LTE, para lo cual se dispone de una nueva arquitectura de red, que permite soportar en movimiento un tráfico de conmutación de paquetes, con garantía de calidad de servicio a una mínima latencia. (Muñoz, 2011)

El sistema puede operar en dos modos *Frequency Division Duplex* (FDD) y *Time Division Duplex* (TDD). LTE permite flexibilidad en el espectro, donde el ancho de banda puede

ser escogido entre 1.4MHz y 20MHz dependiendo de la disponibilidad del espectro. El ancho de banda de 20MHz puede proporcionar una tasa de datos de hasta 300Mbps en *downlink* y una tasa de datos de 75 Mbps en *uplink*. Se reduce la latencia a 10ms para la transmisión de un paquete desde la red al dispositivo del usuario. (Muñoz, 2011)

Arquitectura LTE y protocolos.

La arquitectura LTE está diseñada con el objetivo de soportar tráfico de conmutación de paquetes; con movilidad sin fisuras, calidad de servicio y mínima latencia. Presenta una arquitectura más plana y simplificada, con sólo dos tipos de nodos, la cual está en contraste con los nodos de red en la arquitectura actual de los sistemas 3G. Un cambio importante es el Radio Network Controller (RNC), elemento de la arquitectura de red definida en el Release 6 del 3GPP. Todos los algoritmos que están localizados en el RNC se han incorporado en las estaciones base, conocidas como eNodeB. Además de los protocolos de radio, gestión de la movilidad, compresión de cabecera y todas las retransmisiones de paquetes. La idea de esta estructura funcional es mantener un núcleo de red sin conocimiento de la tecnología de acceso de radio y de su distribución. (Muñoz, 2011).

2.4.2 Protocolos

- **TCP/IP:**

Probablemente el protocolo más común utilizado en las redes modernas es de hecho una un grupo de protocolos, cada uno de los cuales establece las reglas y los estándares para una acción específica de la red. (Lic. Rodrigo Rodríguez, 2007)

- **FTP**

Es un protocolo que se encuentra dentro del grupo de protocolos de TCP/IP, que se encarga de la transferencia de archivos entre los nodos de red (Lic. Rodrigo Rodríguez, 2007)

- **MQTT**

(Message Queue Telemetry Transport) Este protocolo de conectividad máquina a máquina se ha convertido en algo esencial para el desarrollo del IoT (Internet de las cosas).

“Su aplicación original era vincular sensores en oleoductos de petróleo a satélites. Tal como sugiere su nombre, se trata de un protocolo de mensajería con soporte para la comunicación asíncrona entre las partes. Un protocolo de sistema de mensajes asíncrono separa al emisor y al receptor del mensaje tanto en el tiempo como en el espacio y, por lo tanto, es escalable en ambientes de red que no sean de confianza, A final de 2014, se convirtió oficialmente en un patrón abierto OASIS, con soporte en los lenguajes de programación populares, usando diversas implementaciones de software libre.” (IBM, 2018)

La figura 15 describe como se realiza el proceso de las comunicaciones entre los sensores y un Broker media publicación y suscripción utilizados en MQTT.

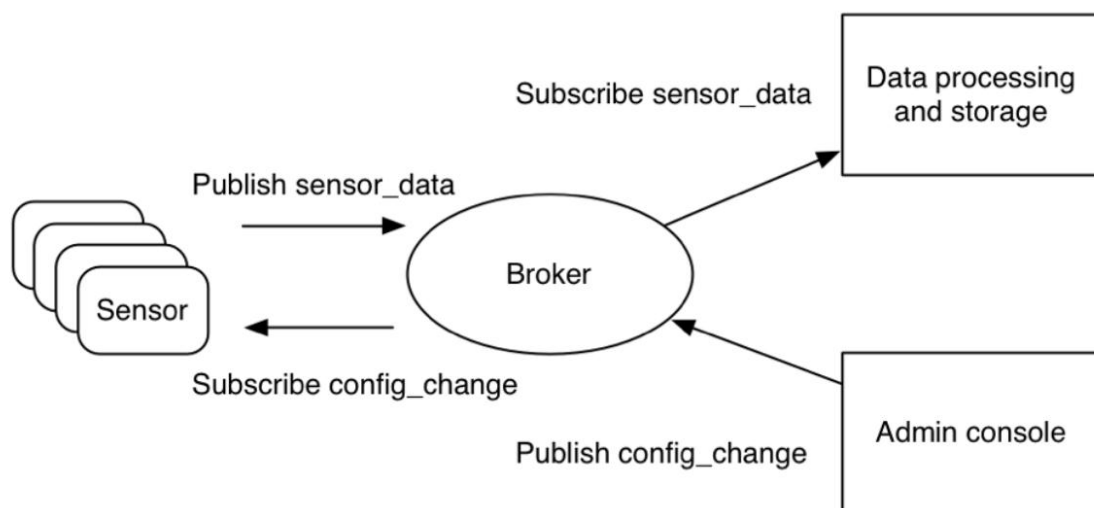


Figura 15. El modelo de publicación y de suscripción de MQTT para sensores de IoT

Fuente: (IBM, 2018)

2.5 COMPONENTES DE ADQUISICIÓN

2.5.1 Monitor AD8232

Es una placa fue desarrollada para medir la actividad eléctrica del corazón, al adquirir la actividad eléctrica esta se puede graficar, pero los Electrocardiogramas pueden ser extremadamente ruidosos, La ~~Figura 16~~ ~~Figura 16~~ muestra la placa del sensor AD8232 Single Lead Heart Rate Monitor el cual actúa como un amplificador operacional para ayudar a obtener una señal clara de los intervalos PR y QT fácilmente.

Características

- Alimentación: 3.3 Vdc
- Salida Analógica
- Detección de derivaciones
- Pin de apagado
- Indicador Led
- Jack de 3,5 mm para conexión de almohadilla biomédica.

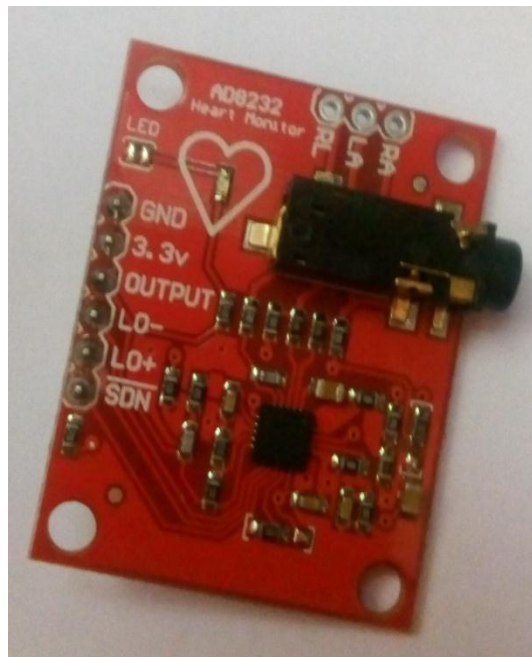


Figura 16. Monitor Cardíaco AD8232

Fuente: Autor

2.5.2 Nextion NX4832T035

Las pantallas de la compañía Nextion son una solución del interfaz hombre-máquina (HMI) esto se debe a que combina el procesador integrado y la pantalla táctil de memoria con su propio de desarrollo software Nextion Editor en proyectos HMI GUI. (Nextion, 2011)

El software Nextion Editor, proporciona al desarrollador crear rápidamente la interfaz gráfica de usuario de HMI a través las acciones de arrastrar y soltar (gráficos, texto, botón, control deslizante, etc.) e instrucciones basadas en texto ASCII para codificar cómo interactúan los componentes en el lado de la pantalla. (Nextion, 2011)

La ~~Figura 17~~ describe a la placa desarrollada por nextion de donde se puede obtener el modelo específico de la pantalla.

“La pantalla Nextion HMI se conecta a la MCU periférica a través de TTL Serial (5V, TX, RX, GND) para proporcionar notificaciones de eventos en las que la MCU periférica puede actuar, la MCU periférica puede actualizar fácilmente el progreso y el estado a la pantalla Nextion utilizando instrucciones de texto ASCII simples.” (Nextion, 2011)

Características

- Tamaños de pantalla versátiles de 2.4 "a 7.0"
- Pantalla táctil resistiva TFT RGB 65K
- Procesador integrado y memoria
- Interfaz serie TTL XH2.54 4P (+ 5V, TX, RX, GND)
- 4/16 MB de memoria para proyecto HMI
- 1% de intervalo de brillo ajustable
- Funciona con Arduino, Raspberry Pi.
- Cumple con CE y RoHS



Figura 17. Pantalla Nextion

Fuente: Autor

2.5.3 Placa de desarrollo SIM7100A

SIMCOM es una compañía china que se encargan de la creación de estos dispositivos para el desarrollo de las telecomunicaciones de presenta un módulo inalámbrico sim7100 a ultra compacto y fiable que se basa en Qualcomm mdm9215 multiple-mode LTE plataforma.

Sim7100 a es un completo multibanda LTE/WCDMA/módulo de gnss diseñado con núcleo muy potente procesadores la integración de aplicación

La [Figura 18](#) describe al módulo LTE este módulo con chip sim7100 a funciona con Arduino, Raspberry Pi, Android, Linux y Windows, puerto serie UART, antena GPS, 4 G Antena e interfaz Micro USB.



Figura 18. Módulo de desarrollo SIM7100A

Fuente: Autor

PIN NO.	PIN NAME	Descripción del Pin
1	SUPPLY	Power supply, rango de voltaje: 5 ~ 18v
2	GND	Ground.
3	VBAT	3.8v output
4	PWR	System reset on/off control input, active High.
5	RESET	System reset control input, active High.
6	NET	LED control output as network status indication.
7	STA	Operating status output.
8	NC	No connetion.
9	GND	Ground

Tabla 1: Pines de habilitación del Módulo LTE

Fuente: (DIYMALL, 2018)

2.5.4 Arduino Mega 2560

La ~~Figura 19~~ describe a la placa del Arduino Mega que es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo.

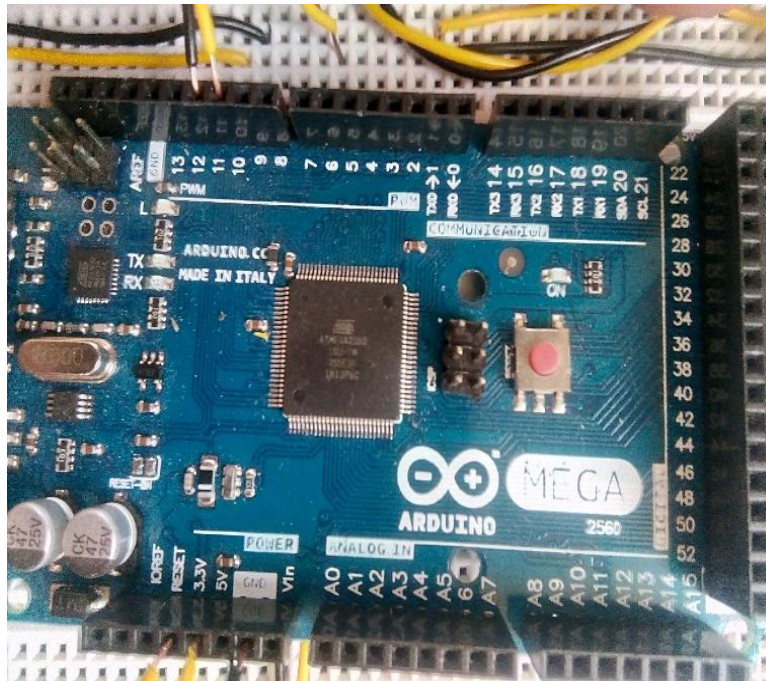


Figura 19. Placa de desarrollo Arduino Mega 2560

Fuente: Autor

2.5.5 Regulador Elevador

El convertidor DC-DC XL6009 es un regulador de tipo conmutado elevador (Step-Up o Boost) con una alta eficiencia de conversión, excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. El módulo reduce al mínimo el uso de componentes externos para simplificar el diseño de fuentes de alimentación. En la ~~Figura 20~~ se muestra la placa del regulador elevador el cual permite obtener un voltaje regulado a partir de una fuente con

un voltaje inferior, por ejemplo: obtener 5V o 12V a partir de una batería de litio de 3.7V. Es capaz de manejar una carga de hasta 3A o 10W máx.

CARACTERISTICAS

- Intensificar DC a DC
- entrada 5 - 32V DC
- salida 5.5 - 34V DC
- Corriente de salida 3A
- Eficiencia 92%
- chip genético XL6009

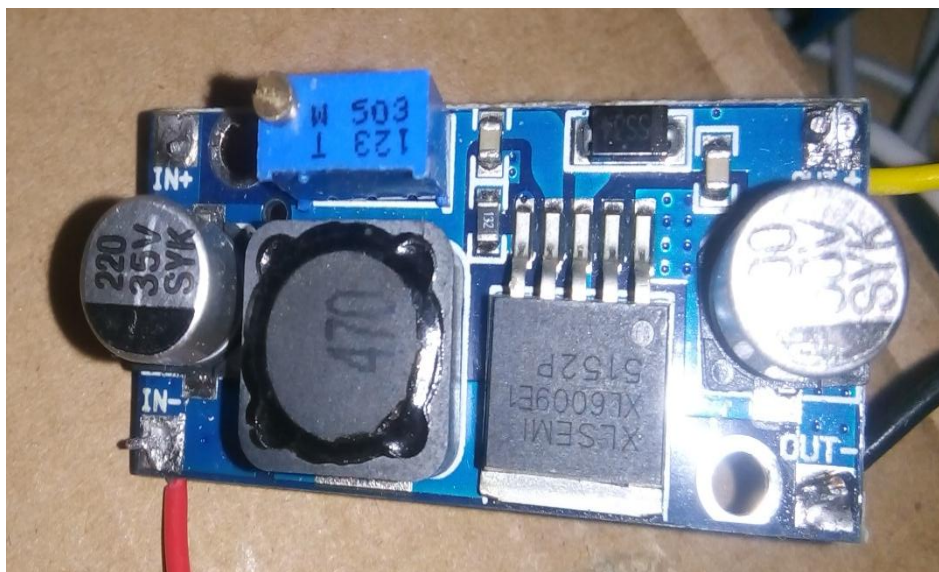


Figura 20. Regulador Elevador

Fuente: Autor

2.6 SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LA PAGINA WEB

2.6.1 AWS EC2

Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) es un servicio web que proporciona capacidad informática en la nube segura y de tamaño modificable. Está diseñado para simplificar el uso de la informática en la nube a escala web para los desarrolladores.



Figura 21. *Amazon EC2* servidores en línea

Fuente: (Amazon, 2019)

Amazon EC2 permite aumentar o disminuir la capacidad en minutos, no en horas ni en días. Puede encargar una, cientos o incluso miles de instancias de servidor simultáneamente. También puede usar Auto Scaling de Amazon EC2 para conservar la disponibilidad de su flota de EC2 y aumentar o disminuir automáticamente la escala de la flota en función de sus necesidades para maximizar el nivel de rendimiento y minimizar los costos. Para ajustar la escala de varios servicios, puede usar AWS Auto Scaling. (Amazon, 2019)

2.6.2 EMQ X Broker

EMQ X es un agente de mensajes MQTT distribuido altamente escalable y extensible escrito en Erlang / OTP.

Ya sea que lo necesite para una configuración experimental o para la creación de prototipos de una pequeña aplicación SME o incluso para una implementación comercial a gran escala, EMQ X Broker es de código abierto para todos. Cualquiera puede acceder al código fuente de EMQ X Broker en GitHub y descargar paquetes binarios.

EMQ X Broker se puede implementar en cualquier lugar, desde dispositivos de borde x86 / ARM con recursos limitados hasta nubes privadas, híbridas y públicas. (EMQ Technologies Co., 2019)

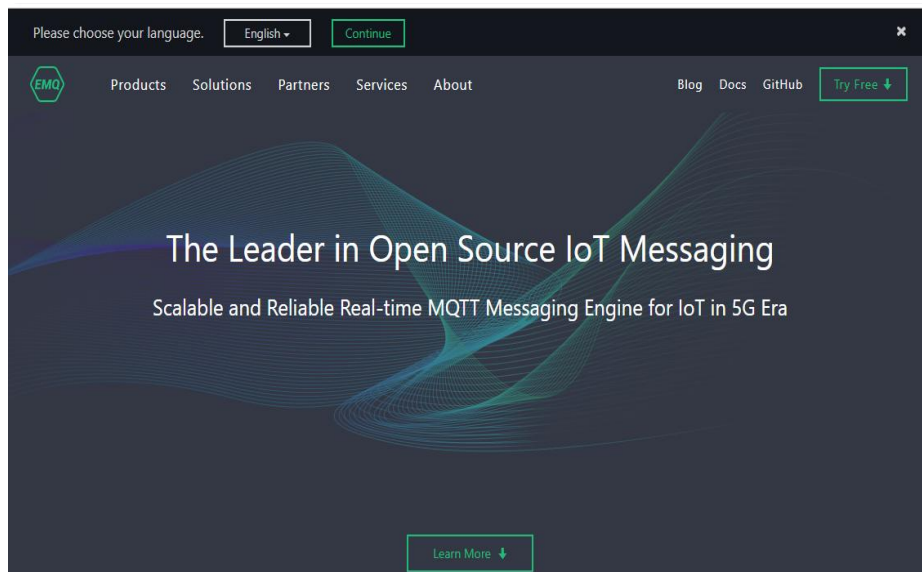


Figura 22. EMQX

Fuente: (EMQ Technologies Co., 2019)

2.6.3 HeidiSQL

HeidiSQL es software libre y tiene el objetivo de ser fácil de aprender. "Heidi" le permite ver y editar datos y estructuras desde computadoras que ejecutan uno de los sistemas de bases de datos MariaDB, MySQL, Microsoft SQL o PostgreSQL. Inventado en 2002 por Ansgar, con un pico de desarrollo entre 2009 y 2013, HeidiSQL pertenece a las herramientas más populares para MariaDB y MySQL en todo el mundo.

Esta herramienta administra privilegios de usuario, crea, edita tablas, vistas, rutinas almacenadas, disparadores y eventos programados, se enlaza a través del túnel SSH o mediante la configuración del puerto para SSL. (Heidisql, 2002)



Figura 23. HeidiSQL Editor de base de datos

Fuente: (Heidisql, 2002)

2.6.4 ATOM

Esta plataforma de edición de textos es increíblemente maleable y poderosa, lo que le diferencia de aplicaciones web tradicionales ya que es diseñada para ser un editor de texto en lugar de un navegador web.

Una de sus ventajas es que cada ventana es visualizada localmente a la página web, también cuenta con todas las API disponibles para una aplicación Node.js también están disponibles para el código que se ejecuta en el contexto de JavaScript de cada ventana. Este híbrido proporciona un Experiencia de desarrollo realmente única del lado del cliente. (License., 2019)

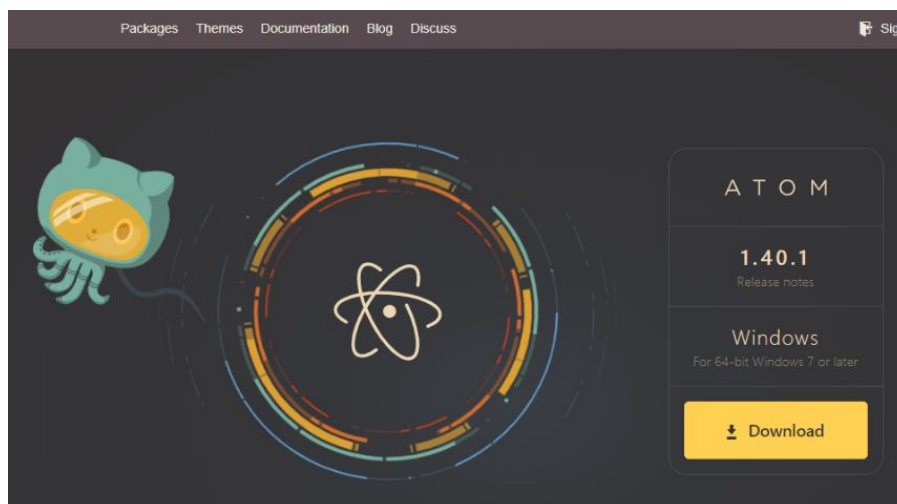


Figura 24. ATOM editor de texto

Fuente: (License., 2019)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Investigación Experimental

Esta tesis es de tipo experimental puesto que se implementó un sistema que permite la adquisición de señales ECG, utilizando la tecnología LTE con el fin de evaluar el estado del corazón mediante onda sinusal en tiempo real.

3.1.2 Investigación Descriptiva

Esta investigación es de tipo descriptiva ya que se utiliza para describir los eventos, circunstancias, de los grupos de personas que se pretende analizar, en este tipo de investigación se debe detallar el análisis y los procesos que involucran al mismo.

3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

3.2.1 Población De Estudio

La población estará integrada por los 600 datos que se han de recolectar con respecto a la frecuencia cardiaca.

3.2.2 Tamaño De La Muestra

Se tomó una muestra aleatoria integrada por los datos de la población, por lo tanto, la muestra es establecida de acuerdo con el cálculo con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t_{\alpha/2, np-1}^2 Sp^2 N}{t_{\alpha/2, np-1}^2 Sp^2 + e^2 (N - 1)}$$

Donde:

N= tamaño de la población

Sp= desviación estándar

np-1= grados de libertad

e = error máximo

$$n = \frac{2,009575 * 4,6809715^2 * 600}{2,009575 * 4,6809715^2 + 0,26145^2 * (600 - 1)}$$

$$n = \frac{26419.67455466}{84.97809632193}$$

$$n = 310$$

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

3.3.1 Observación

En este proyecto se empleó la técnica de observación el cual consiste en la obtención sistemática de premisas de los hechos, casos, acciones, circunstancias que se vincule con los objetivos planteados con anterioridad. Se toma en cuenta que en este proyecto la plataforma de almacenamiento de datos, el acceso remoto a este dispositivo y el desempeño del sistema de adquisición de señales ECG, los datos se visualizan en tiempo real.

3.3.2 Fuentes De Recopilación De Información

La recopilación de información del trabajo de investigación se obtuvo de por medio de fuentes informativas primarias y secundarias confiables. Un ejemplo de estas fuentes se tiene: libros, datasheet, proyectos, artículos, tesis, revistas científicas, web, blogs, etc. Se dispone además de los datos e información de internet ya que es una herramienta que administra la mayor cantidad de avances diarios, resultando de gran utilidad para el análisis científico. Todos los datos e información recolectada de estos tipos de fuentes tienen su respectiva referencia.

Además, se realizó cursos de relacionados con el desarrollo de servidores WEB, habilitación de protocolos y comunicación con otras plataformas en tiempo real.

3.4 INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos utilizados en la investigación son: procedimientos experimentales y análisis de documentos. En los procedimientos experimentales: el diseño del dispositivo que utiliza LTE para la transmisión de los datos y los diversos procedimientos

experimentales para la construcción del sistema de adquisición de señales ECG, y en el análisis de documentos: revisión bibliográfica, datasheet y artículos científicos publicados.

3.5 HIPÓTESIS

El sistema adquisición en tiempo real de la señal del corazón permitirá obtener una visualización de la señal del musculo cardiaco y de la frecuencia cardiaca, la cual ayudará a través del comportamiento de la señal senoidal generada por musculo cardiaco demostrar que tan eficiente es el sistema diseñado con LTE para el desarrollo de tecnologías IoT aplicadas a la Telemedicina.

3.5.1. Operacionalización De Variables

Tabla Variables	Concepto	Indicadores	Instrumentos Técnicos
Variable dependiente La frecuencia cardiaca en personas adultas.	La frecuencia cardiaca es la cantidad de latidos por minutos generados por el corazón (60-100).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cantidad de latidos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modulo LTE SIM7100A ▪ Monitor AD8232
Variable Independiente BPM obtenidos del dispositivo comercial. BPM obtenidos del dispositivo diseñado	Evaluar las mediciones obtenida de la cantidad de latidos por minuto con los dispositivos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cantidad de latidos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Electrocardió grafo ▪ Datasheets ▪ Arduino ▪ Software NextionEditor

Tabla 2:Operacionalización de Variables

Fuente: Autor

3.6 PROCEDIMIENTOS

En el proceso de creación del prototipo para la adquisición de señal ECG se siguieron varios pasos, los cuales permiten determinar el alcance del sistema y así lograr cada uno de los objetivos propuestos.

Se describe los procesos para el desarrollo de sistema de adquisición de la señal senoidal del corazón.

- Reunión con los representantes de CNT, Movistar, Claro Ambato, los cuales facilitaran el direccionamiento APN correspondiente a cada una de las operadoras que permitirá implementar el dispositivo, se seleccionó Movistar gracias al software AT Command Tester
- Elección del grupo de personas de edad para la utilización de dispositivos.
- Recolección de información de fuentes bibliográficas, proyectos y artículos científicos para el diseño del prototipo.
- Selección de la plataforma para crear una máquina virtual la cual se encargará de administrar el servidor WEB
- Diseño del sistema de adquisición de señales ECG.
- Elaboración de la página WEB con el software de edición de texto ATOM
- Elaboración de la base de datos del servidor de la página WEB
- Creación del servidor MQTT para el envío en tiempo real de los datos obtenidos por el dispositivo
- Diseño de la plataforma que permitirá la visualización de las señales ECG de los pacientes.
- Habilitación de los protocolos de seguridad para la comunicación del dispositivo a la plataforma creada.
- Pruebas del dispositivo

ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

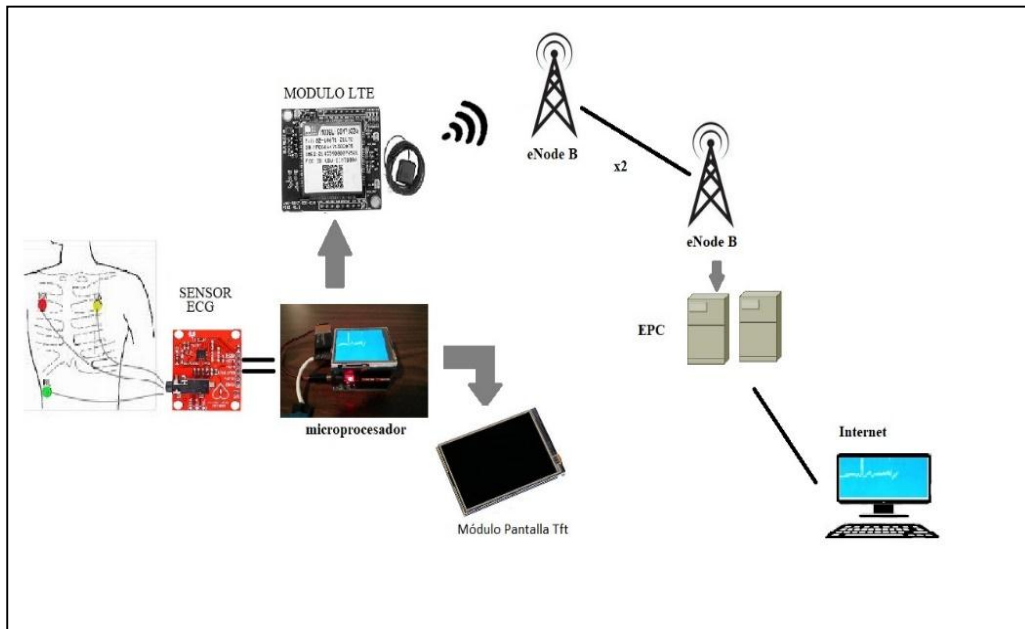


Figura 25. Diagrama general del sistema de adquisición de señal ECG

Fuente: Autor

3.7 DISEÑO DEL MÓDULO DE MONITORIZACIÓN CARDIACA

El primer paso es realizar la selección de los softwares y hardware con los que se va a trabajar después de la investigación, sobre el módulo SIM, se determinó que se puede utilizar ARDUINO, el SIM71001A se basa en comandos AT por lo cual es necesario realizar una revisión al módulo para verificación de que funcione como es debido y AT Comman Tester For Simcom es el Software indicado para hacerlo. Para la conexión del SIM7100 a la PC se la realiza como se muestra en la figura 26, en la cual la comunicación es por medio de un cable micro USB, adicionalmente se debe conectar a los pines Supply y GND del módulo, debe ser alimentado con un voltaje mínimo de 5.1 V para que se pueda realizar la comunicación directa a la computadora.



Figura 26. Conexión del módulo SIM7100A con la PC.

Fuente: Autor

Para la programación del módulo se lo puede realizar de varias formas una es mediante el software de PuTTY, que permite la modificación mediante comandos AT desde la PC, la otra opción es mediante el software grafico que permite un mejor entendimiento del módulo.

La figura 27 muestra el software gráfico que se utiliza para comprobar el estado del módulo, La comunicación del programa AT Comman Tester For Simcom al módulo requiere la instalación previa de los drivers UBS del módulo Sim7100.

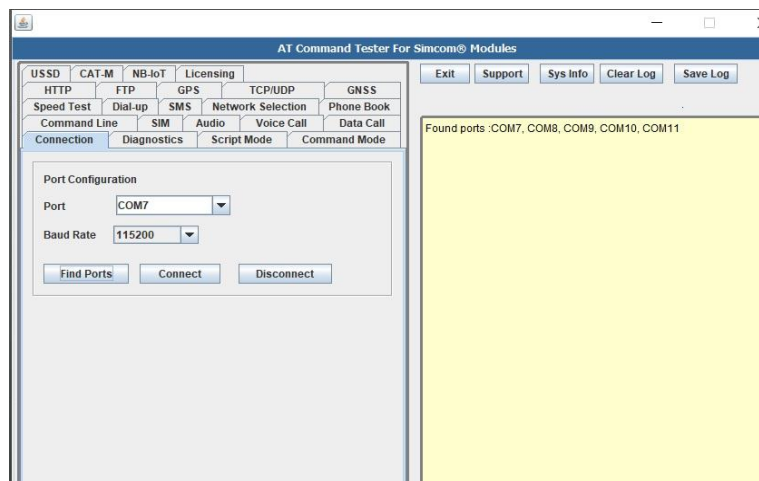


Figura 27. Software AT Comman Tester For Simcom para verificación del módulo Sim7100A.

Fuente: Autor

Se utiliza el software AT Comman Tester For Simcom por motivos prácticos como: el permitir mejor comprensión de operatividad del módulo de los comandos AT, los cuales son necesarios para el desarrollo del sistema que permite la transmisión de los datos obtenidos.

3.8 ANALISIS DE LA RED LTE

El análisis se efectuó mediante una aplicación para dispositivos móviles OPENSIGNAL, el cual permite hacer una prueba de velocidad en la ubicación que se encuentra el dispositivo móvil, se realizaron pruebas con Movistar y CNT.

La figura 28 es una captura del análisis realizado por la aplicación OpenSignal, la cual indica la calidad de la señal de la red de Movistar, mediante puntos referenciales que van de la tonalidad verde a la tonalidad roja, la tonal de verde indica una buena señal, mientras que los puntos rojos, indican que tiene una mala cobertura de red.

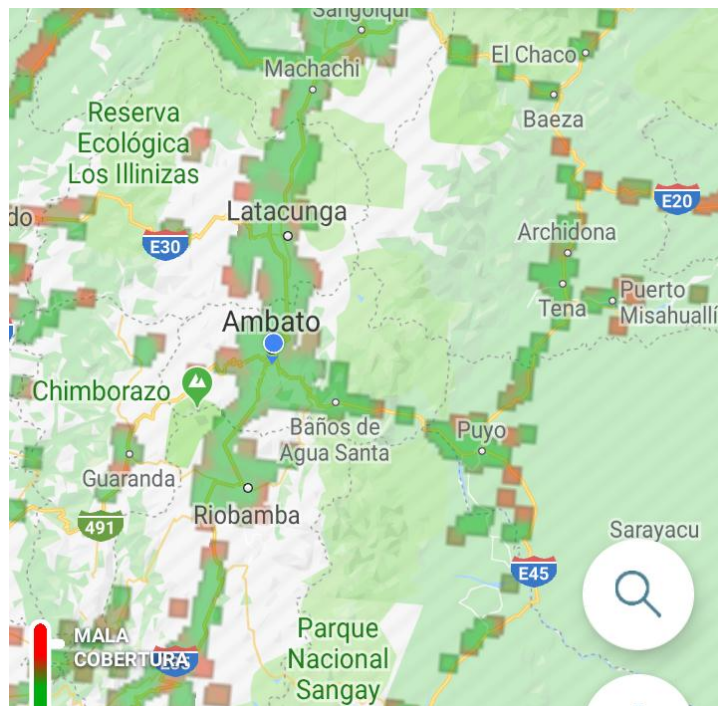


Figura 28. Calidad de la señal de Movistar

Fuente: Autor

3.9 CREACIÓN DEL SERVIDOR VPS

Las prestaciones de los servidores en la nube son similares, se eligió de entre estas a AWS de AMAZON, cuenta con un sinnúmero de servicios en la nube de estas la que se utiliza para el desarrollo de este proyecto en una versión libre EC2, el cual permite el

desarrollo de un servidor basado en el sistema operativo Ubuntu de LINUX en su versión 18.04, con una capacidad de 20 Gigas de memoria de almacenamiento y una 1 Giga/Ram de velocidad en el procesamiento, esto ha permitido que sea un servidor apto en el desarrollo del proyecto, se habilitó puertos en esta plataforma permitiendo la comunicación con otros software para el diseño de la página web.

La dirección IP del servidor se vinculó con un dominio que se obtuvo en Freenom, el dominio es gratuito, tiene vigencia de un año, gracias a esto se puede realizar ingresar desde cualquier dispositivo conectado a la red.



Figura 29. Comprobación DNS del dominio creado

Fuente: Autor

La figura 29 indica que dominio generado en Freenom y vinculado con la dirección IP elástica de la máquina virtual creada con anterioridad, fue levantada en los servidores a nivel global, este análisis se realiza mediante una página web dedicada al análisis de propagación de DNS, el nombre de la página es Whatsmydns.net.

3.10 INSTALACION DEL SOFTWARE VESTA

En la figura 30 se describe parte del proceso de instalación de la plataforma VESTA, se realiza la instalación de esta plataforma por la versatilidad que brinda al momento del desarrollo de páginas WEB, entre las cualidades que ofrece es el de modificar los protocolos de seguridades que son necesarios en páginas web , de la misma manera puede

modificar la habilitación de protocolos como el FTP, SSL, Proxi, con sus extensiones, y configurará la base de datos utilizados, se puede visualizar las tareas que se están ejecutando en el servidor, VESTA ocupa el puerto 8083 que también está habilitada en AWS.

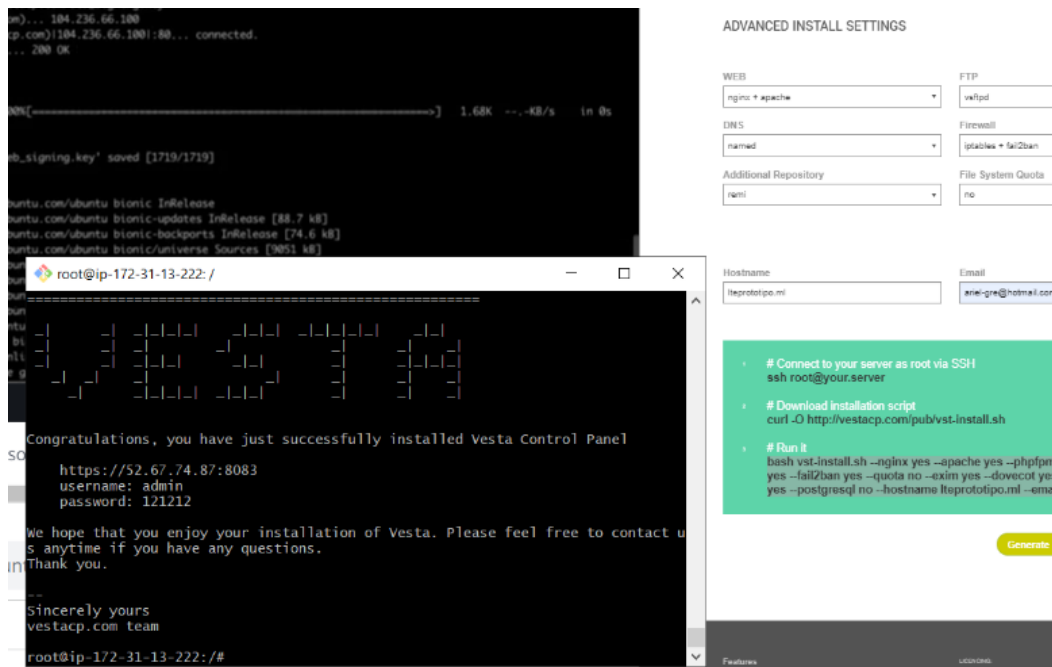


Figura 30. VESTA Instalación en VPS

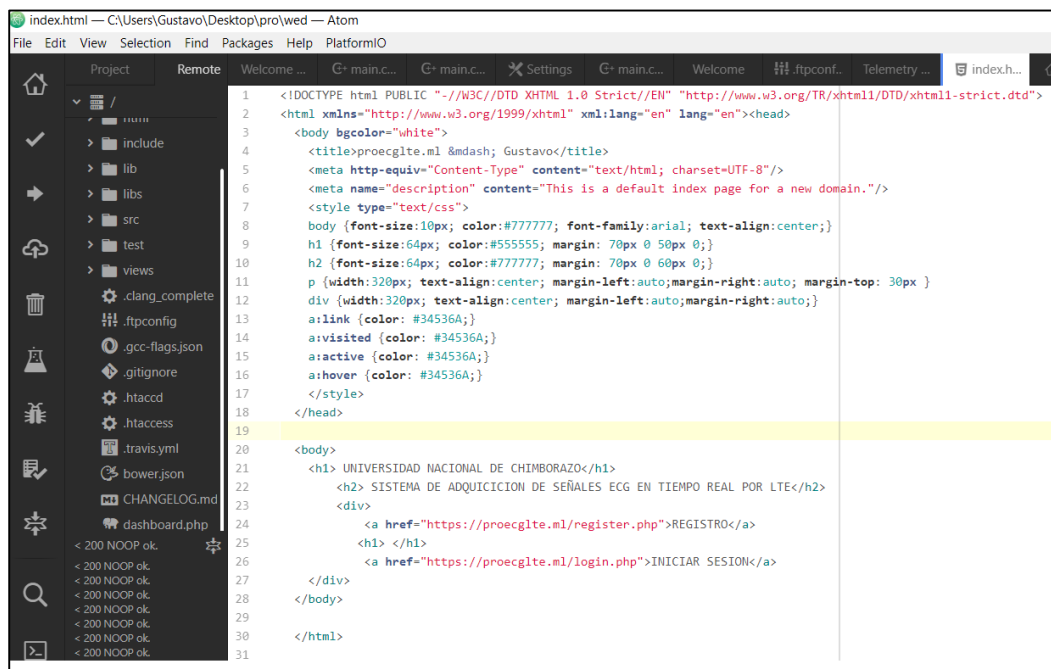
Fuente: Autor

3.11 CREACIÓN DE LA PRELIMINAR DE LA PÁGINA

Para la creación de la página web fue necesario encontrar un software con características amplias que permiten reconocer los comandos específicos para los formatos de los protocolos, garantizando la edición de las páginas WEB y al mismo tiempo que se pueda comunicar con VESTA, esta comunicación se logra mediante el puerto 21 empleado con el protocolo FTP, permitiendo la edición de la página en tiempo real y estén funcionando adecuadamente, esto permite ir realizando un análisis de la página para verificación de un adecuado funcionamiento, haciendo que la transmisión de archivos sea de gran importancia al momento de ser subidos a la página web, permite visualizar los errores y aciertos de los comandos que se ocupan.

La figura 31 indica la programación empleada en el software ATOM, utilizado en el desarrollo de sistema planteado, El programa también sirve como indicador de

verificación del funcionamiento de la página web ya que las modificaciones se las revisa en línea.



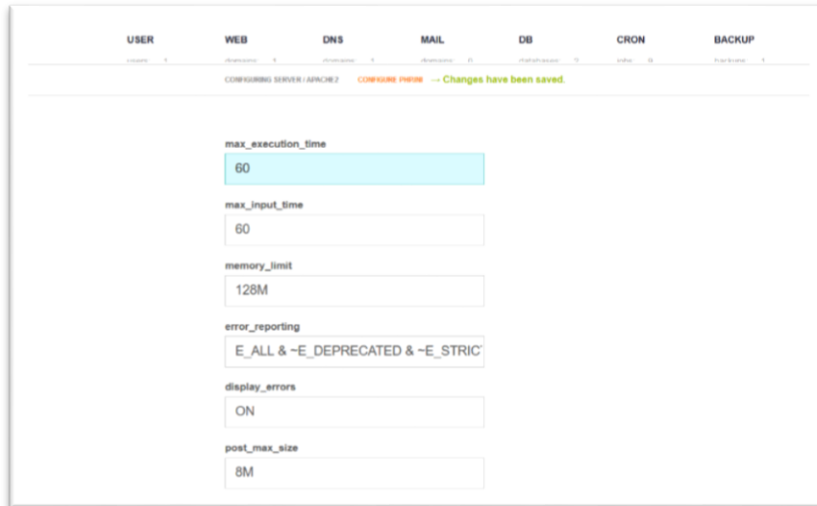


Figura 32. Habilitación para visualización de errores

Fuente: Autor

Lo que se debe modificar en el servidor de Apache es opción de `display_errors` de un Off a un On, se guarda la modificación y se reinicia el servidor.

3.13 ELABORACIÓN DE LA PÁGINA DE REGISTRO

Para brindar seguridad al sistema fue necesario la creación de una página de registro, en la cual se pide datos necesarios para la validación de ingreso a la página principal.

En la figura 33 se describe un editor de base de datos, el cual permite generar una tabla para el registro de los pacientes y del personal médico.

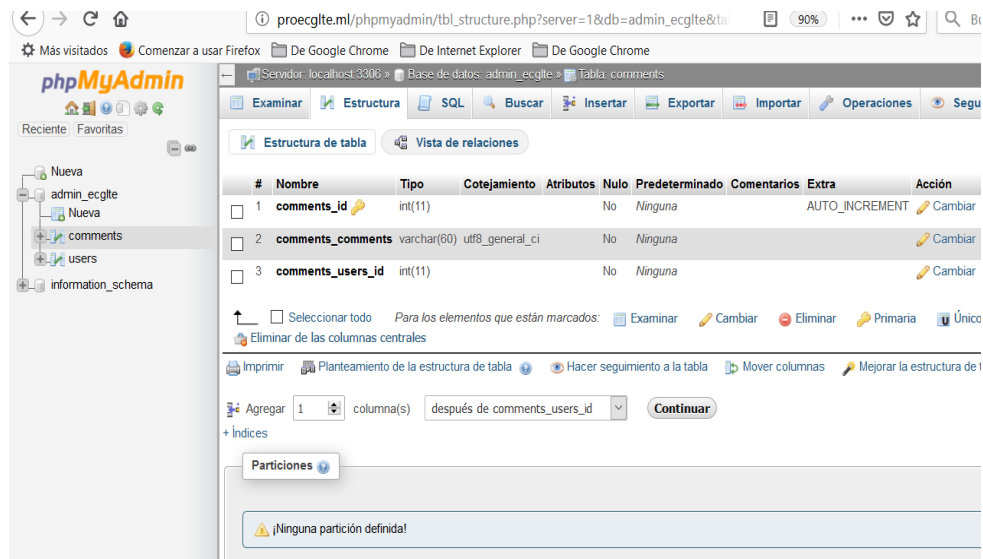


Figura 33. Edición de la base de datos en phpMyAdmin

Fuente: Autor

La información suministrada en el registro es manejada por el administrador gráfico de base de datos (phpMyAdmin), al cual se le considera como un administrador interno.

También se puede hacer la administración con un administrador externo (HedySQL), como lo indica en la figura 34, el administrador externo debe ser instalado en la computadora del programador, para que sea viable este tipo de administrador se realiza una configuración en el puerto 3306, en los servidores Vesta y Amazon EC2 con el protocolo TCP.

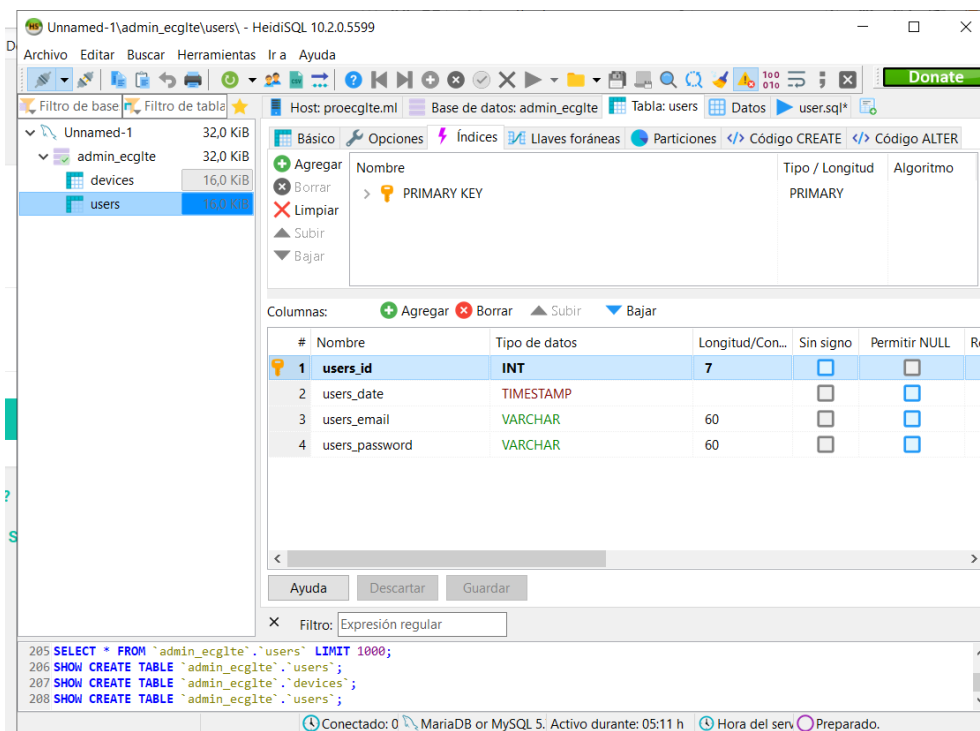


Figura 34. Gestor de base de Datos externo

Fuente: Autor

HedySQL es el administrador que se utilizaba en el proyecto ya que su interfaz gráfica es más amigable para el programador.

3.14 HABILITACIÓN DE LA COMUNICACIÓN A EQMX

En el desarrollo de la plataforma que permitirá la ejecución del sistema propuesto es necesario que la página web se encuentre enlazada a un servidor MQTT, por las características se ha elegido a EMQ X BROKER, que es la versión no paga la cual me permite la habilitación de hasta 100000 clientes.

El programa se debe instalar en la máquina virtual, como se dispone de un pc con Windows el programa es instalado mediante el programa de PuTTY la figura 35 indica parte del proceso de instalación del programa EMQX

```
inflating: emqx/bin/emqx.cmd
inflating: emqx/bin/emqx_ctl
inflating: emqx/bin/emqx_env
inflating: emqx/bin/install_upgrade_escript
inflating: emqx/bin/start_clean.boot
inflating: emqx/bin/cuttlefish
inflating: emqx/bin/emqx_ctl.cmd
inflating: emqx/bin/nodetool
```

Figura 35. Proceso de instalación EMQX en el servidor

Fuente: Autor

Es necesario descargar el software para la versión de la máquina virtual en la que está corriendo el servidor, en este proyecto se utilizó Ubuntu 18.04 de Linux. Una vez instalada es necesario encender el servidor de EMQX para ello se lo hace a través de terminal como lo indica la figura 36.

```
|ping|console|console_clean|console_boot <file>|attach|remote_console|upgrade|es
cript|rpc|rpcterms|eval}
root@proecglte:/emqx# ./bin/emqx started
Usage: emqx {start|start_boot <file>|ertspath|foreground|stop|restart|reboot|pid
|ping|console|console_clean|console_boot <file>|attach|remote_console|upgrade|es
cript|rpc|rpcterms|eval}
root@proecglte:/emqx# ./bin/emqx start
Node is already running!
root@proecglte:/emqx#
```

Figura 36. Encendido del servidor EMQX.

Fuente: Autor

Instalado el servidor para EQMX se procede a modificar los parámetros necesarios dentro del servidor virtual, terminado todo el proceso de instalación y configuración para que funcione con la página web se puede acceder al panel de configuración, la figura 37 muestra el Panel Dashboard del servidor MQTT instalado, en panel se debe ingresar los puertos que habilitan la comunicación con la página proecglte.ml.

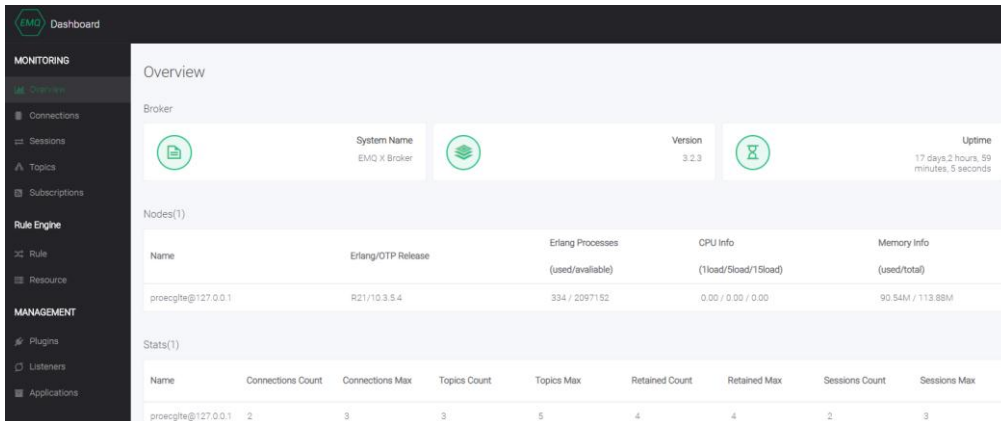


Figura 37. Dashboard de EMQ X BROKER

Fuente: Autor

Es necesario la habilitación de la seguridad en la información que se maneja por eso se configura desde consola el protocolo SSL, Este protocolo por lo general es pagado, pero gracias uno de los programas anteriormente se puede relacionar este protocolo al servidor MQTT.

3.15 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA EL EMQX

En la siguiente imagen se muestra la creación de una base de datos, la cual está relacionada tanto la página como con el servidor MQTT, esta base de datos es una plantilla que se encuentra en EMQ, la cual se modifica según se requiera en el desarrollo de cualquier proyecto, también sirve de guía para personas que están incursionando en el mundo del internet de las cosas.

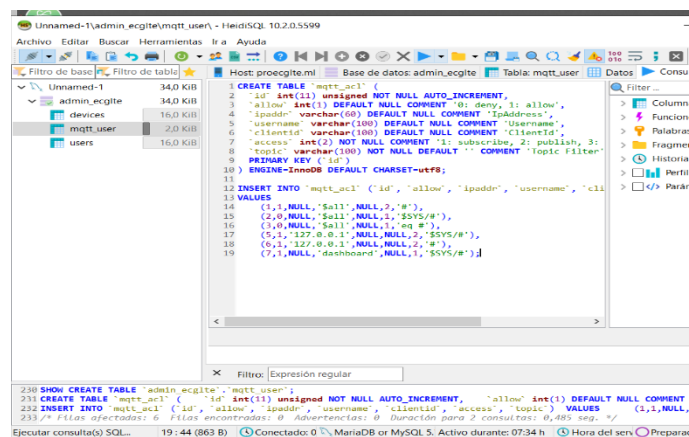


Figura 38. Base de datos para el servidor de MQTT

Fuente: Autor

3.16 DESARROLLO DEL PROGRAMA EN ARDUINO PARA MQTT

Se utiliza ATOM para el desarrollo del programa del Arduino ya que permite vincular los comandos en JavaScrip, httml, json, php, Arduino sin conflictos. Para ello se necesita descargar un programa adicional vinculado a ATOM

La imagen 39 se indica que el paquete adicional del para ATOM fue instalada con satisfacción, una vez instalado el programa me permite seleccionar las diferentes placas para Arduino, de las cuales se eligió el Arduino MEGA 2560 para edición del programa que vincula el dispositivo con el servidor EMQ X Broker.

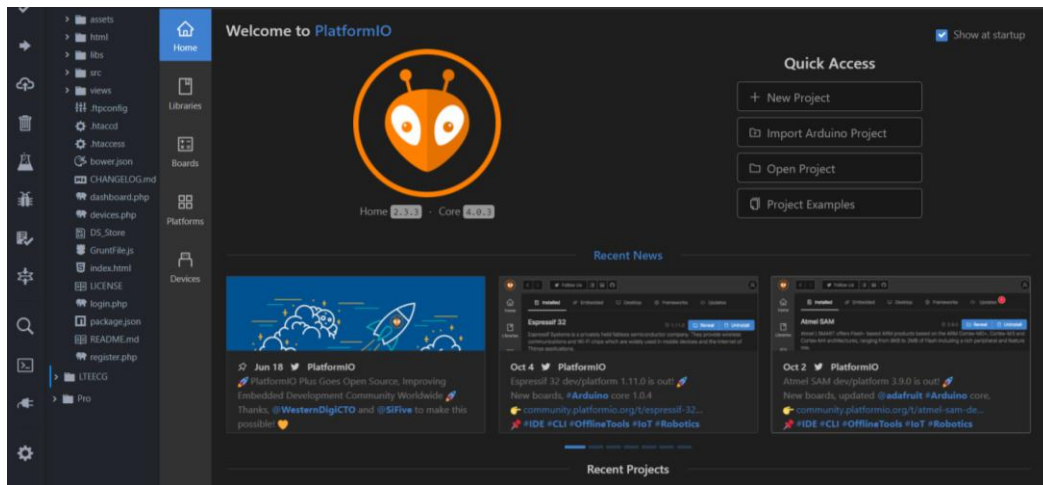


Figura 39. PlatformIO vista principal

Fuente: Autor

El desarrollo de la programación requiere de una librería, en la figura 40 muestra la librería con la cual se podrá comunicar el Arduino a un servidor MQTT, esta librería vincula con los diferentes módulos de GSM, GPRS y Módulos LTE,

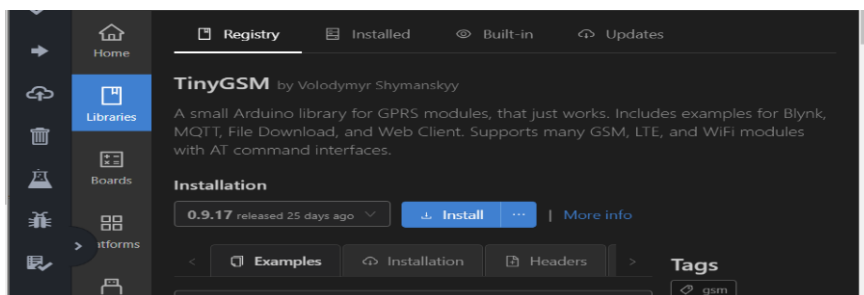


Figura 40. TinyGSM librería para Arduino

Fuente: Autor

En la siguiente figura muestra los procesos necesarios que habilitan los módulos SIM, y Arduino, necesarios que enlazan entre el dispositivo con LTE y la base de datos MQTT.

El archivo en el que se modifica el dispositivo de Arduino debe ser creada previamente, la cual se enlaza con la placa de desarrollo del dispositivo y la librería TinyGSM.

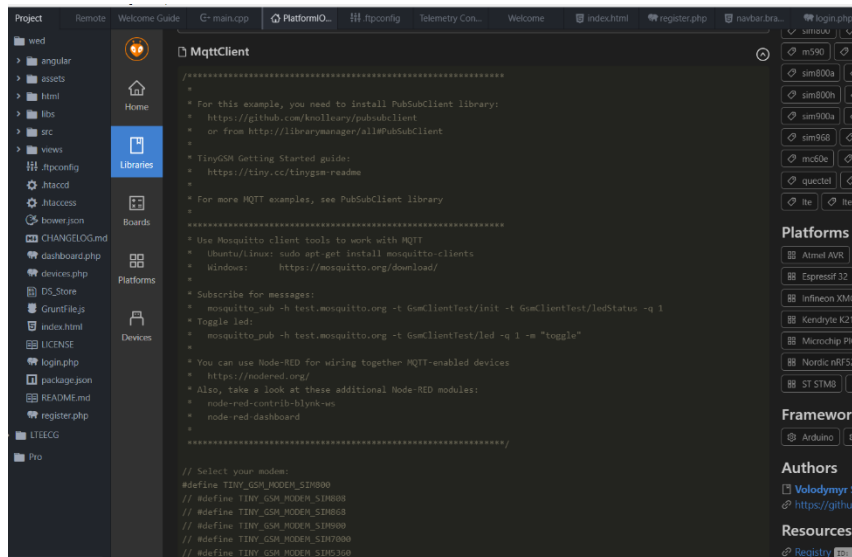


Figura 41. ATOM programa para Arduino

Fuente: Autor

3.17 DISEÑO DE LA PLACA

Una vez terminado el proceso de programación del sistema y obtenido los pines que se utiliza del Arduino, se procede a crear la placa la misma que permitirá al dispositivo ocupar de manera simple.

El diseño de la placa fue necesario realizarlo en Proteus, el cual permite simular un sinnúmero de elementos, como los conectores para Arduino, la placa de dispositivo se muestra en figura 42, en la que se puede observar la similitud al Arduino Mega 2560.

En el caso del módulo Sim7100 de Diymall fue más difícil de determinar el tipo de conectores son necesarios, también se tuvo que determinar la distancia entre los pines opuestos del módulo, en este tipo de mediciones se debe utilizar calibrador para obtención de la distancia entre los pines y la posición.

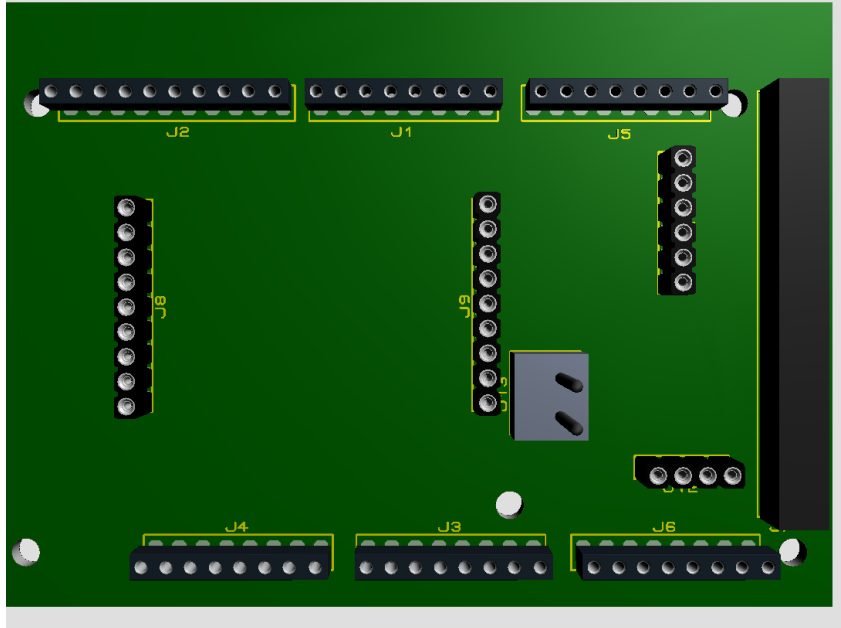


Figura 42. Placa diseñada Proteus

Fuente: Autor

La figura 43 describe a la caja en la cual se coloca al dispositivo, la cual contiene los conectores de las antenas del GPS y de la red celular LTE.

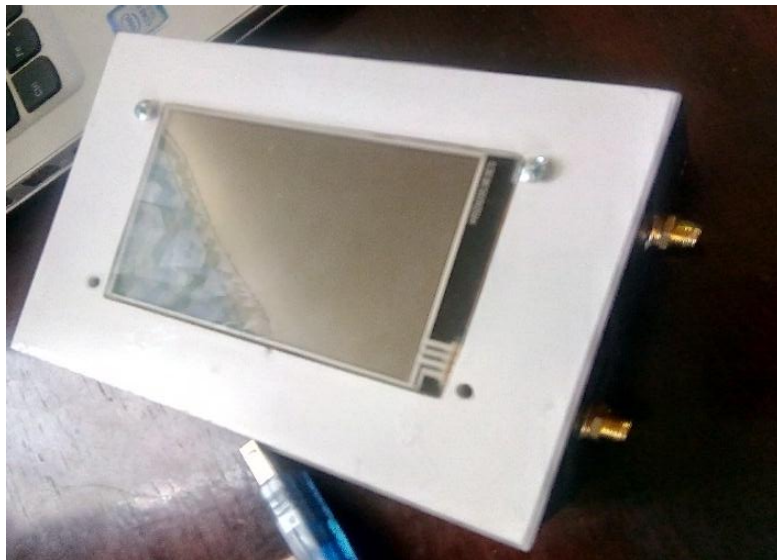


Figura 43. Dispositivo LTE

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se describe las pruebas realizadas en cada una de las partes cruciales para realizar el proyecto: velocidad del servidor, velocidad y conectividad de la red celular.

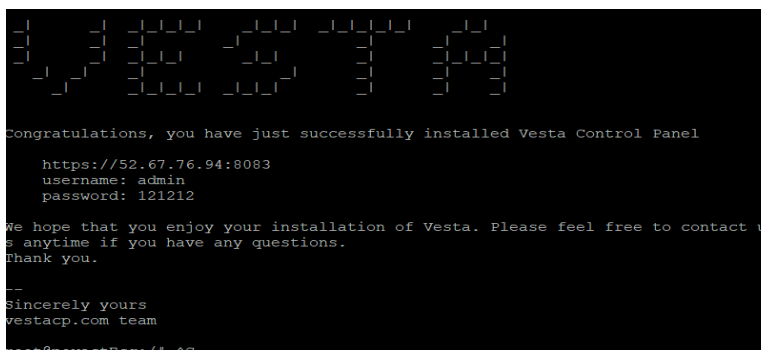
4.2 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para poder comprobar que la transmisión de datos entre los servidores y la página WEB se realizaron mediante mensajes de comprobación.

Las pruebas se realizaron según se habilitaron los programas. En la primera comprobación se utiliza el programa VESTA con la creación de una máquina virtual, la segunda prueba se realiza con la vinculación de ATOM a la página web, que es un software instalado en la máquina del desarrollador, la tercera prueba se la hizo al crear variables para la obtención de información sobre los usuarios que ingresan, así mismo, se lo realizó mediante dos software, La cuarta prueba fue utilizando EMQX que enlaza las bases de datos en el servidor MQTT con la página web.

4.3 ANALISIS ENTRE VESTA Y AWS

El análisis se lleva a cabo por medio del software PUTTY, al instalarse VESTA en el servidor virtual, permite la vinculación por medio del IP elástica de EC2, esto permite modificaciones desde VESTA, porque están conectados con el puerto 22 que es utilizado para el manejo del almacenamiento de la máquina virtual.



```
┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐ ┌─┐
├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤ ├─┤
└─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘ └─┘
Congratulations, you have just successfully installed Vesta Control Panel
https://52.67.76.94:8083
username: admin
password: 121212
We hope that you enjoy your installation of Vesta. Please feel free to contact us anytime if you have any questions.
Thank you.
--
Sincerely yours
vestacp.com team
root@povectEcq:/# ^C
```

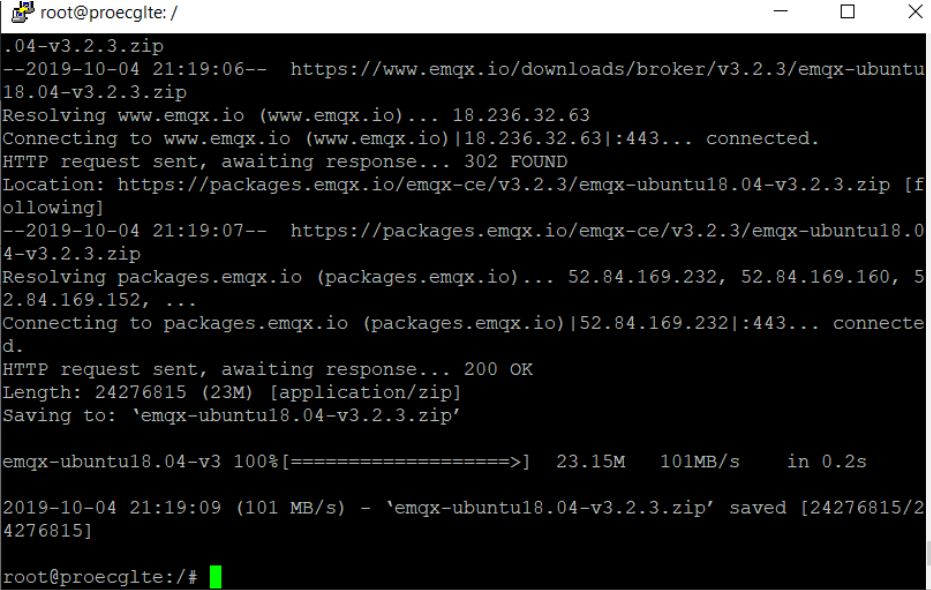
Figura 44. Comunicación entre VESTA y AWS EC2

Fuente: Autor

4.4 PRUEBA DE VELOCIDAD DEL SERVIDOR

El servidor se encuentra ubicado en Sao Paulo-Brasil y las configuraciones se realizaron en Ambato-Ecuador, entre todas las configuraciones se realizó descargas de softwares, permitiendo ver las velocidades de descarga del servidor.

En la siguiente figura muestra que un archivo o grupo de archivos con un volumen de 23 MB se puede descargar en tan solo 0.2 segundos, esto significa que se puede realizar el proyecto sin temor de perdidas en los datos.



```
root@proecglte: /
.04-v3.2.3.zip
--2019-10-04 21:19:06-- https://www.emqx.io/downloads/broker/v3.2.3/emqx-ubuntu
18.04-v3.2.3.zip
Resolving www.emqx.io (www.emqx.io)... 18.236.32.63
Connecting to www.emqx.io (www.emqx.io)|18.236.32.63|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 302 FOUND
Location: https://packages.emqx.io/emqx-ce/v3.2.3/emqx-ubuntu18.04-v3.2.3.zip [f
ollowing]
--2019-10-04 21:19:07-- https://packages.emqx.io/emqx-ce/v3.2.3/emqx-ubuntu18.0
4-v3.2.3.zip
Resolving packages.emqx.io (packages.emqx.io)... 52.84.169.232, 52.84.169.160, 5
2.84.169.152, ...
Connecting to packages.emqx.io (packages.emqx.io)|52.84.169.232|:443... connecte
d.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 24276815 (23M) [application/zip]
Saving to: 'emqx-ubuntu18.04-v3.2.3.zip'

emqx-ubuntu18.04-v3 100%[=====>] 23.15M 101MB/s in 0.2s

2019-10-04 21:19:09 (101 MB/s) - 'emqx-ubuntu18.04-v3.2.3.zip' saved [24276815/2
4276815]

root@proecglte:/#
```

Figura 45. Prueba de velocidad del servidor

Fuente: Autor

Las mediciones realizadas se tomaron con un periodo de dos días de diferencia con la descarga del mismo archivo .ZIP

TAMAÑO .ZIP	VELOCIDAD DE DESCARGA	TIEMPO DE DESCARGA
23 MB	101MB/s	0.2 s
23 MB	95 MB/s	0.3 s

Tabla 3: Velocidad de descarga del servidor

Fuente: Autor

4.4 TEST DEL MODULO SIM7100

Como son módulos que se han implementado recientemente, cuentan con muy pocas librerías, por esto motivo se debe realizar una prueba de funcionamiento general mediante AT Command, Tester para módulo SIM de la compañía SimCom de China.

En la figura que se encuentra a continuación se puede observar cómo es el funcionamiento del programa, el mismo que determina si está o no algún tipo de módulo por medio de puertos seriales.

Una vez detectado el módulo se realiza un análisis por medio de un test, el en el cual se puede determinar si existe de conectividad, el poder realizar llamadas o recibirlas, enviar o recibir mensajes, si tiene o no acceso a internet.

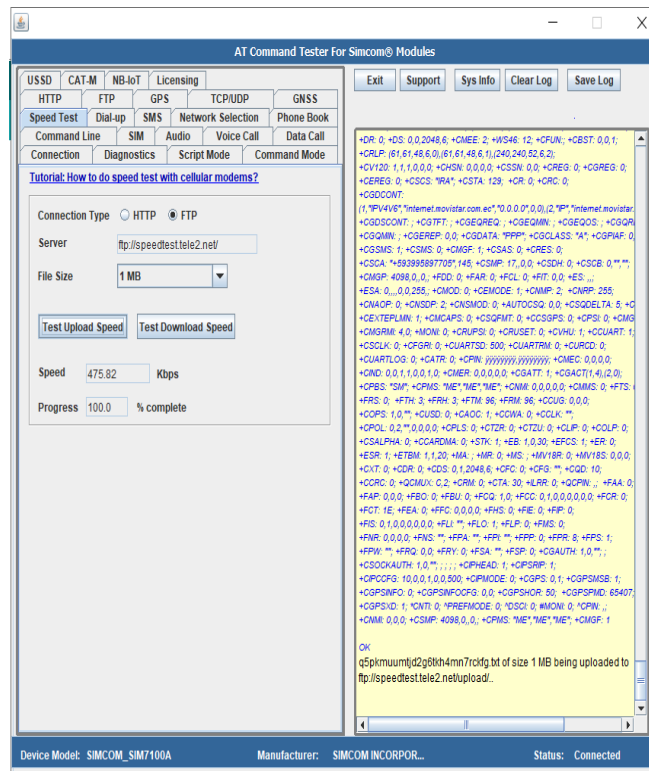


Figura 46. Test del módulo SIM 7100

Fuente: Autor

Dentro del software AT, se tiene la opción de simular HTTP, FTP que son utilizados para él envío y recepción de archivos y de conectividad a una página WEB. En la imagen 46 se observa los comandos que serán ingresados al módulo SIM7100.

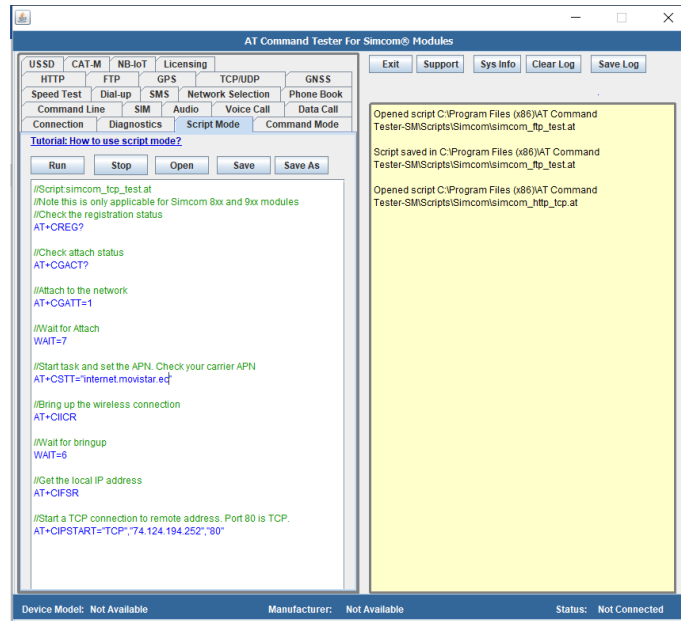


Figura 47. Test de TCP para en modulo Sim7100

Fuente: Autor

Un parámetro que se modifica de este programa el direccionamiento del APN, cada operado cuenta con su propio grupo de direcciones dependiendo a que APN se conecte el dispositivo se obtendrá diferentes servicios servicio.

Los valores obtenidos de la ~~Tabla 4~~ Tabla 4 Valores de velocidad de descarga y subida de smartphone y del módulo sim.

Utilizando las Herramientas Speedtest.net se obtiene los valores de la tabla 4.

Canal	Velocidad de bajada (DL)	Velocidad de subida (UL)
Ideal	100 Mbps	50 Mbps
LTE Movistar	64.0 Mbps	40.1 Mbps
Wifi CNT	3.85 Mbps	0.61 Mbps
SIM7100	22.23 Mbps	34.48 Mbps

Tabla 4. Velocidad UL y DL en smartphone

Fuente: Autor

En el anexo 6, se expone los datos obtenidos de los valores tanto de bajada como subida de datos por parte de la operadora movistar.

Tomando como variable los Megabits por segundo de la ~~Tabla 4~~ Tabla 4 se procede a realizar el análisis porcentual de como se ve afectada la señal en la descarga de datos para

Con formato

los distintos sistemas de comunicación, entonces se hace referencia al LTE ideal con el 100%.

Canal	Velocidad de la señal en %	Porcentaje de Afectación
Ideal	100%	0%
LTE Movistar	64%	36%
Wifi CNT	3.85%	96.15%
SIM7100	22.23%	77.77%

Tabla 5. Resumen de Afectación de la velocidad de descarga de datos.

Fuente: Autor

Existe un porcentaje de error en la ~~Tabla 5~~ ~~Tabla-5~~ es del 18.38% entre el módulo LTE y una conexión Wifi con el mismo servidor dedicado a la medición del ancho de banda Speedtest.net.

También se procede a tomar como variable a los Megabits por segundo de la ~~Tabla 4~~ ~~Tabla 4~~ en el análisis porcentual en el enlace de subida de datos para los distintos sistemas de comunicación, entonces se hace referencia al LTE ideal con el 100%.

Con formato

Canal	Velocidad de la señal en %	Porcentaje de Afectación
Ideal	100%	0%
LTE Movistar	80.2%	19.3%
Wifi CNT	1.22%	98.73%
SIM7100	68.96%	31.04%

Tabla 6. Resumen de Afectación de la velocidad de subida de datos.

Fuente: Autor

El porcentaje de error en la ~~Tabla 6~~ ~~Tabla-6~~ entre el módulo LTE y una conexión Wifi es de 67.69%.

4.5 PRUEBAS AL SENSOR AD8232

La figura 48 describe una prueba de la eficiencia en la obtención de la señal senoidal, en este caso la prueba se hace si la colocación de los electros, lo cuan me genera la visualización de una línea fija sin alteraciones.

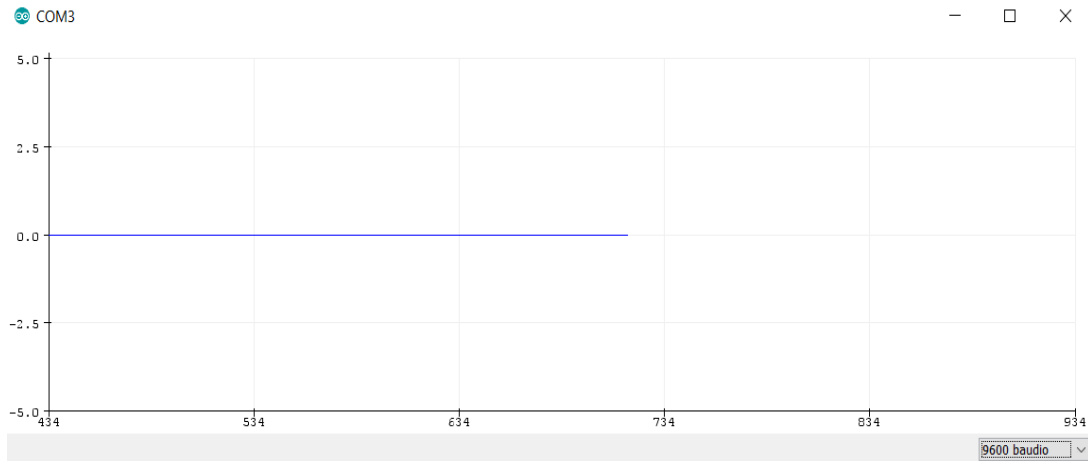


Figura 48. Señal cuando no están con estados los electrodos

Fuente: Autor

La onda adquirida como lo indica la imagen es cuando se conectan los electros, dependiendo de la ubicación en la que se coloquen se o se puede obtener una señal optima, cuando el paciente está en movimiento genera ruido.

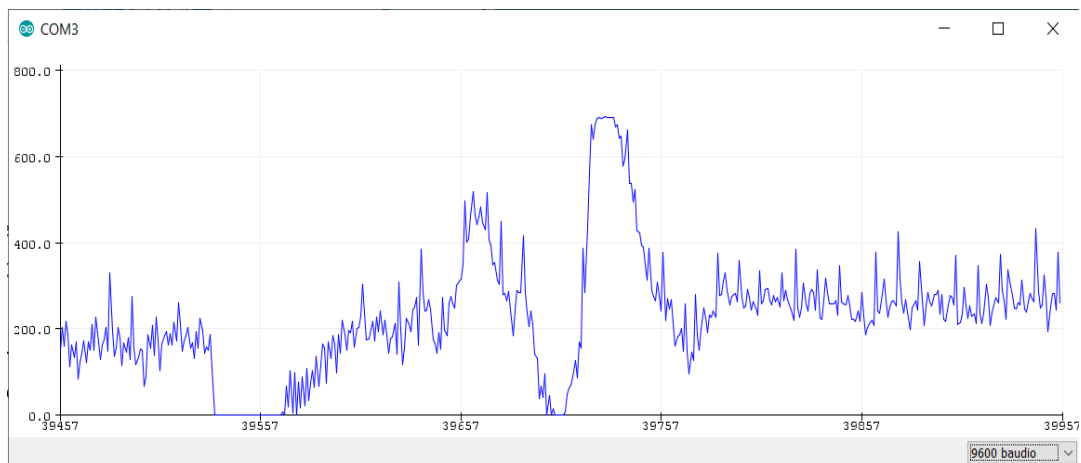


Figura 49. Señal obtenida de un paciente

Fuente: Autor

En la imagen anterior el eje de las x corresponde al tiempo la cual se mide en milisegundos, para el eje de las y corresponde los valores en voltaje de la señal cardiaca obtenida según el paso del tiempo. La señal del saliente del sensor se le divide para 1024 para obtener una escala de la señal que va de 0 a 1023, los niveles óptimos oscilan del 200 a los 700.

Para la toma de la adquisición de la señal se coloco los electrodos de la manera recomendada por el fabricante, RA en el tórax derecho (distintivo de color rojo), LA en

el tórax izquierdo (distintivo de color verde) Y RL en la parte inferior del tórax derecho (distintivo de color amarillo).

4.6 PRUEBA DE INGRESO A LA PÁGINA DE LA SEÑAL ECG.

La página para que sea segura que solo las personas y el personal registrado, se modificó un pequeño programa en PHP en la cual se encuentra relacionadas con la base de datos de registro respectivo.

La siguiente imagen muestras que pasa cuando una persona que no registrada intenta ingresar y también describe un error en la programación, el cual dice que no identifica a la persona. Esto se debe a que primero debe identificarse para ingresar a la página principal

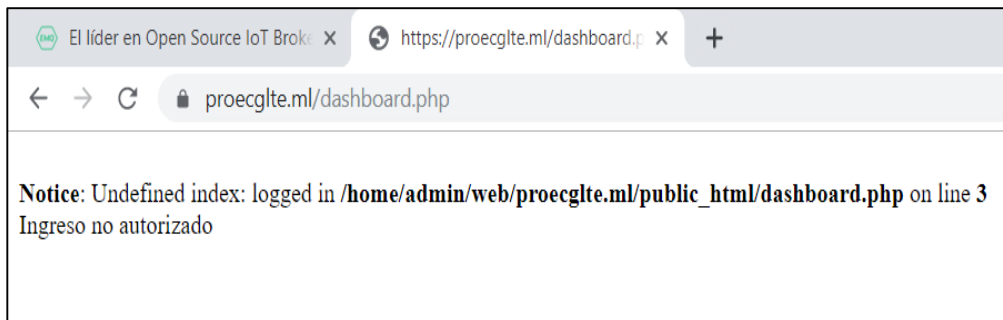


Figura 50. Mensaje de restricción a la pagina

Fuente: Autor

La figura 51 muestra que pasa cuando una persona está registrada en la base de datos de la página, en este caso se podrá visualizar la página principal de sistema, solo en el instante que el dispositivo esté en funcionamiento con la página se podrá ver alteración en el cuadro de onda Senoidal

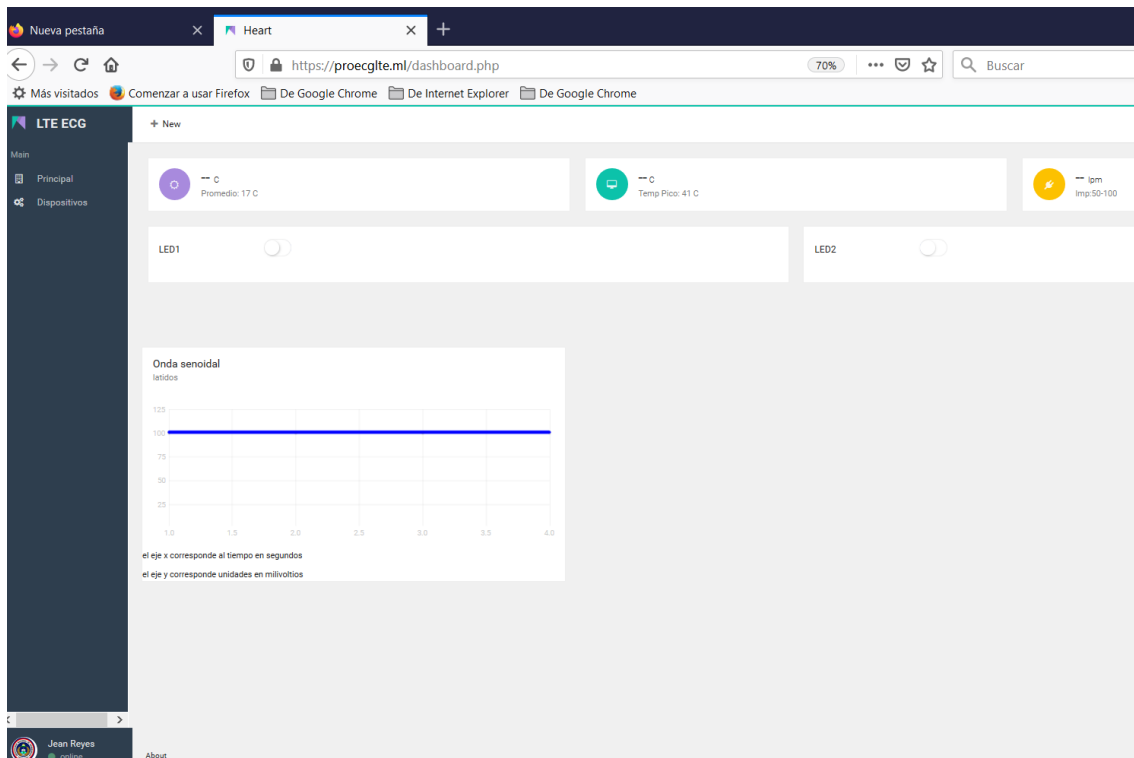


Figura 51. Visualización de la página para personas autorizadas

Fuente: Autor

4.7 PRUEBA DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE MENSAJES ENTRE LA PÁGINA WEB Y MQTT.

Para enviar el mensaje de comprobación se realizó, se realizó la vinculación de los tópicos de la página WEB y de los tópicos y de EMQX,

En la figura 52 se visualiza las respuestas de envío y recepción de mensajes por MQTT, esta visualización se la hizo en la página de EMQX que está vinculada con la página WEB.

Para hacer la vinculación adecuada se debe registrar en los tópicos de cada una de ellas, es decir que para enviar desde EMQX los datos, se tuvo que redirigir los datos a un tópico y la página WEB tubo que suscribirse al tópico de EMQX. Para enviar tópicos desde la página WEB hacia el servidor de EMQX se debe registrar al tópico generado con anterioridad en el EMQX.

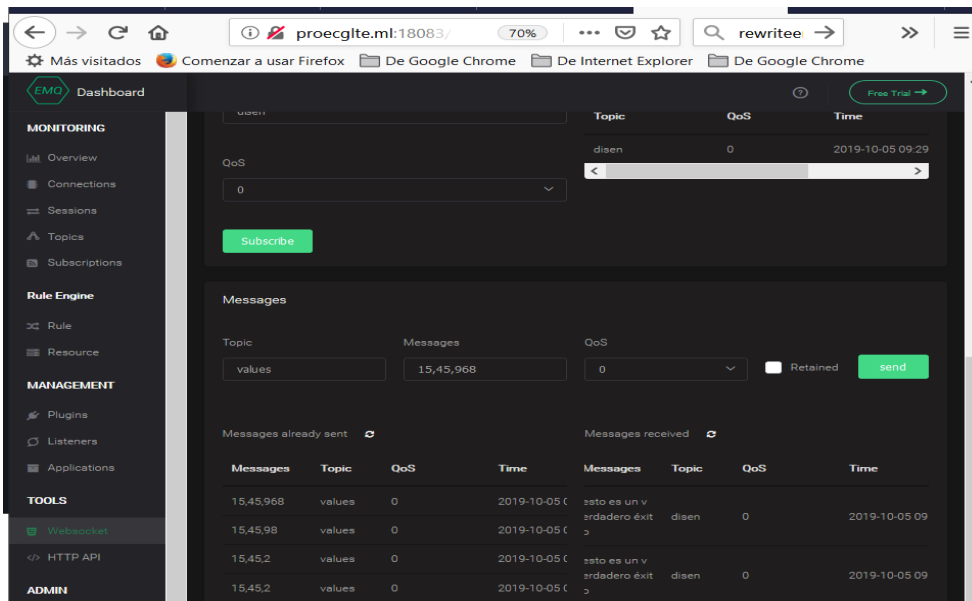


Figura 52. Prueba de envío recepción de datos en EMQX

Fuente: Autor

Mientras que en la figura 53 se muestra, como se suscribe en la página web al servidor de EMWX y recibe los datos de la simulación de incrementos de temperatura, voltaje que van variando según los mensajes enviados por EMQX.

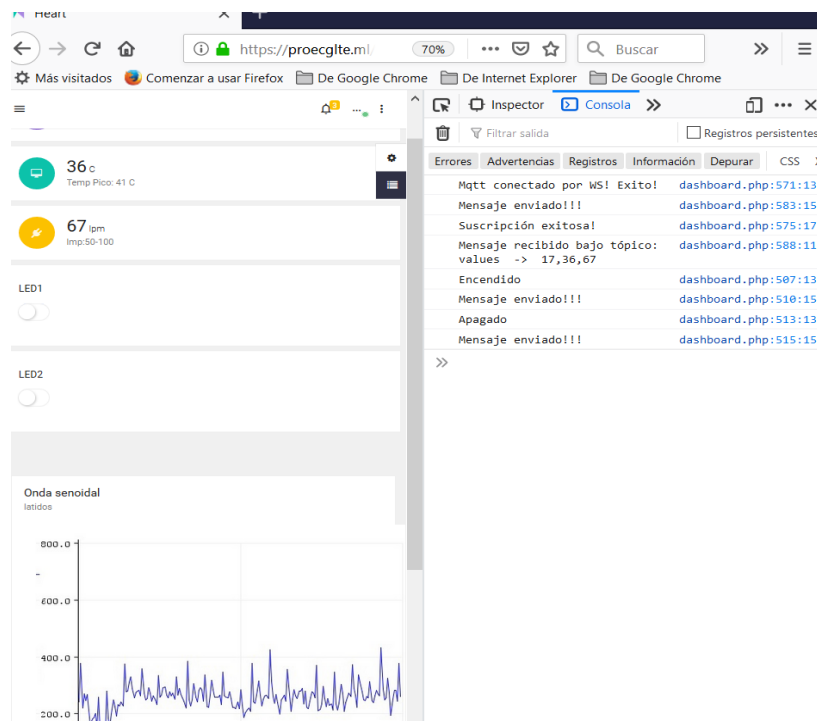


Figura 53. Envío y recepción de datos desde la página WEB

Fuente: Autor

4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.8.1 Prueba de Normalidad

Para determinar el tipo de estadística que se aplica en este proyecto de investigación se necesita analizar los valores de las variables mediante una prueba de normalidad, de esta forma se establece si la estadística es paramétrica o no paramétrica. Las pruebas estadísticas son de dos tipos dependiendo de la cantidad de datos, en caso de ser datos menores a 50 se aplica el método de Shapiro - Smirnov, y para el caso de ser datos mayores a 50 el método Kolmogorov-Smirnov.

Para probar la normalidad de los datos se plantea dos hipótesis:

- Hipótesis Nula (H₀): Los datos analizados tienen distribución normal.
- Hipótesis INVERSA H₁: Los datos analizados son distintos a la distribución normal.

La [Figura 54](#) describe que se recurre a la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov rechazando la hipótesis nula y comprobando de esta manera que los datos analizados no corresponden a una distribución normal, entonces, el tipo de estadística utilizada en esta investigación es la no paramétrica.

grupo1	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
BPM comercial	,115	300	,000	,959	300	,000
lte	,110	300	,000	,977	300	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 54. Prueba de Normalidad con la herramienta estadística IBM SPSS

Fuente: Autor

4.8.2 Análisis estadístico descriptivo de medias independientes

En esta etapa se establece dos suposiciones que sirven de base para la argumentación a partir de los datos de las medias, obtenidos en la adquisición de la frecuencia cardiaca.

- **Hipótesis Nula (H₀):** El promedio de la media de los datos obtenidos del dispositivo comercial es igual al promedio de la media de los datos obtenidos del dispositivo diseñado.

$$H_0: \mu_{comercial} = \mu_{lte}$$

- **Hipótesis Inversa (Hi):** El promedio de la media de los datos obtenidos del dispositivo comercial no es igual al promedio de la media de los datos obtenidos del dispositivo diseñado.

$$H_0: \mu_{comercial} \neq \mu_{lte}$$

Mediante el programa SPSS de IBM y con los datos obtenidos se realiza el análisis estadístico descriptivo que muestra los valores de: media, mediana desviación estándar, varianza, máximos, mínimos, desviación de error.

Descriptivos

grupo1		Estadístico	Error estándar			
BPM	comercial	Media	73,9067	,26145		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	73,3922		
			Límite superior	74,4212		
		Media recortada al 5%	74,0556			
		Mediana	75,0000			
		Varianza	20,506			
		Desviación estándar	4,52839			
		Mínimo	59,00			
		Máximo	90,00			
		Rango	31,00			
		Rango intercuartil	5,00			
		Asimetría	-,386	,141		
		Curtosis	1,639	,281		
		lte		Media	72,1467	,27906
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	71,5975
Límite superior	72,6958					
Media recortada al 5%	72,2296					
Mediana	73,0000					
Varianza	23,363					
Desviación estándar	4,83353					
Mínimo	57,00					
Máximo	84,00					
Rango	27,00					
Rango intercuartil	5,00					
Asimetría	-,406			,141		
Curtosis	,072			,281		

Figura 55. Valores Estadísticos descriptivos de BPM por la herramienta IBM SPSS

Fuente: Autor

En la [Figura 55](#) se describe el análisis estadístico del dispositivo comercial y el dispositivo creado, mientras que la [Figura 56](#) describe un análisis de las muestras independientes con relación a la frecuencia cardiaca.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
BPM	Se asumen varianzas iguales	3,768	,053	4,602	598	,000	1,76000	,38240	1,00899	2,51101
	No se asumen varianzas iguales			4,602	595,475	,000	1,76000	,38240	1,00898	2,51102

Figura 56. Prueba T de medias independiente con la herramienta IBM SPSS

Fuente: Autor

De acuerdo a la [Figura 56](#), se rechaza que la hipótesis nula, validando la hipótesis inversa, esto describe que el promedio de los datos del dispositivo comercial no es igual al promedio de los datos del dispositivo diseñado con LTE.

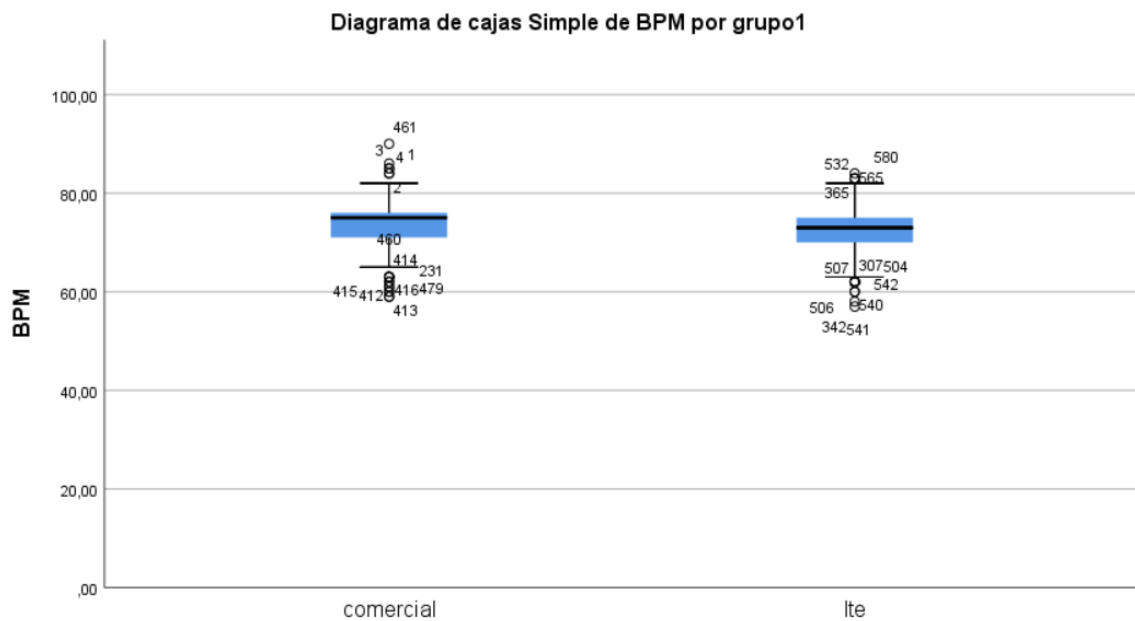


Figura 57. Diagrama de cajas de Frecuencia cardiaca con la herramienta IBM de SPSS

Fuente: Autor

La [Figura 57](#), muestra una comparativa visual acerca de la media del dispositivo creado y el dispositivo comercial, debido a que la media hace de referencia de la capacidad efectiva de la adquisición de la frecuencia cardiaca

4.8 DISCUSIÓN

Actualmente el desarrollo del sistema para la adquisición de la señal de sensores tiene una gran funcionalidad ya que se basa en un servidor EMQ Broker el cual se encuentra directamente vinculada a la máquina virtual que contiene un servidor web apache, pero tiene un declive debido a las capacidades de modulo LTE implementado, el cual presenta poca funcionalidad para la comunicación, por ese motivo ha mostrado perdidas en el envío de la señal.

La creación de sistemas IoT han tomado tiempo para su desarrollo y aplicación, requiere en la actualidad proporcionar seguridad y rapidez en el manejo de la información, por lo que requiere contar con un servidor físico de alta velocidad y demanda, u obtener un servidor virtual que permita desarrollar completamente la infraestructura necesaria y estos son los requerimientos básicos para regulación de dichos sistemas. Para solucionar estos inconvenientes se utiliza servidores MQTT los cuales me permiten un mejor desenvolvimiento de la seguridad, en la adquisición y envío de la información, solo si se encuentra suscrito al tópico lo cual hace que sea difícil que otro individuo obtenga esa información, asegurando que solo la persona habilitada haga uso de la información.

El sistema es mejorable ya que permite la integración de cientos de sensores y usuarios, además presta las seguridades necesarias para que solo los clientes que estén habilitados puedan hacer uso de la información recopilada por los sensores, y es mucho más desarrollable si se utilizan con módulos LTE destinados a la comunicación Maquina a Maquina.

Una desventaja de utilizar dispositivos SIM es el modo AT que son bastante limitados en comandos ya que requiere llamar a la función e ir habilitando según la necesidad. Se hace fácil de desarrollar cuando ya se dispone de las librerías para el rápido desenvolvimiento del diseño de dispositivos que requieran tener habilitado una comunicación constante.

Este proyecto da paso a la investigación, desarrollo módulos e infraestructura para la telemedicina permitiendo llegar a lugares que no cuente con especialistas y requieran de atención medica oportuna, brindando el apoyo necesario para una mejor calidad de vida de la persona y de los familiares.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El desarrollo de este tipo de sistemas permite que el mayor número de personas tenga acceso a la información sobre su estado de salud.
- También permite que los especialistas puedan realizar chequeos sin la necesidad de movilizarse para dar el diagnóstico respectivo y acortando el tiempo de espera, que son extremadamente valiosos cuando se trata del principal motor humano.
- El desarrollo de sistemas basados en MQTT permiten un mayor alcance, así como también una mayor seguridad para el internet de las cosas.
- Se puede decir que AWS EC2 otorgan un excelente entorno ya que permite la creación de máquinas virtuales de excelentes características para el IoT.
- Fue conveniente utilizar varios softwares que se enlacen entre ellos para el desarrollo del sistema ya que permiten asegurar se realice correctamente el sistema.
- El poder contar con una máquina virtual ubicada en otro lugar del planeta como servidor para el desarrollo y uso del sistema, permite una mayor movilidad para el programador.
- La aplicación me ha permitido ampliar el conocimiento de la tecnología y ponerlo al servicio de la comunidad.
- El sistema no funciona de la forma plantea originalmente debido a las limitaciones que presenta el módulo SIM7100, entre una las que cuenta la validación de la página web para la enviar los datos adquiridos por el dispositivo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para el correcto funcionamiento del módulo SIM 7100, necesita contar con un regulador de 5.1 voltios y conectar todos los pines GND, y de la suministración de voltaje continuo de 3.3 para la habilitación de Tx y Rx para la transmisión serial.
- La Carrera de Telecomunicaciones debería enseñar con ejemplos gráficos el internet de las cosas, e indicar el volumen de procesos que se requieren para el desarrollo de lo que se denomina internet de las cosas.
- Para evitar las pérdidas en la obtención de los bioseñales como la del corazón, es necesario contar con una excelente conectividad celular para evitar los retardos.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, E. V. (2014). *Análisis De Métodos Y Herramientas Para El Procesamiento De Señales Electrocardiográficas Ambulatorias*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Amazon. (s.f.). *AWS.AMAZON*. Obtenido de *AWS.AMAZON*: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>
- Arévalo, A. M., & Cano, D. C. (16 de Mayo de 2019). *Unidad Modular de Electrocardiografía de 12 derivaciones*. Obtenido de Unidad Modular de Electrocardiografía de 12 derivaciones: https://www.researchgate.net/publication/301892295_Unidad_Modular_de_Electrocardiografia_de_12_derivaciones
- Columba Díaz, R. F. (2012). *Sistema de Adquisición y Procesamiento de Señales Electrocardiográficas*. México: Universidad de Colima.
- Creative Commons Attribution Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported License. (s.f.). *Atom Flight Manua*. Obtenido de Atom Flight Manua: <http://orm-atlas2-prod.s3.amazonaws.com/pdf/1b6047ea19c3fd6bf4caa6e04df24771.pdf>
- Cuesta. (2001). *Estudio de métodos para procesamiento y agrupación de señales electrocardiográficas*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Delgado, R., Vázquez, R., & Hernández., E. (2013). *Adquisición de señales electrocardiograficas (ECG) utilizando bioelectrodos capacitivos no invasivos*. México: Esime.
- DIYMALL. (24 de Febrero de 2018). *DIYMALLS*. Obtenido de DIYMALLS: <http://blog.diy malls.com/2018/02/24/sim7100a-4g-development-board-for-arduino-raspberry-pi-diy mall/>
- EMQ Technologies Co., L. (2019). *The Leader in Open Source IoT Messaging*. Obtenido de The Leader in Open Source IoT Messaging: <https://www.emqx.io/>
- Guevara, G. (s.f.).
- Heidisql. (2002). *HeidiSQL: MariaDB, MySQL, MSSQL y PostgreSQL son fáciles*. Obtenido de HeidiSQL: MariaDB, MySQL, MSSQL y PostgreSQL son fáciles: <https://www.heidisql.com/>
- IBM. (5 de 12 de 2018). *IBM*. Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>
- Intriago, M. (2018). *Análisis del comportamiento de la comunicación inalámbrica en el sistema integrado ambulatorio de presión arterial*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

- Lic. Rodrigo Rodríguez, L. M. (Agosto de 2007). *glosario_redes*. Obtenido de glosario_redes:
https://rodrigorodriguez.files.wordpress.com/2009/02/glosario_redes.pdf
- Muñoz, K. (2011). *Análisis De La Tecnología Long Term Evolution (Lte) Para Su Posible Implementación En El Ecuador*. Sangolquí: Escuela Politécnica Del Ejército.
- Nextion. (2011). *Nextion*. Obtenido de <https://nextion.tech>
- Ochoa, A., Maciel, M., Estrada, F., Díaz, C., Félix, R., & Alvarez, J. (2010). *Sistema de Adquisición y Procesamiento de Señales Electrocardiográficas*. México: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica .
- Ortiz, C. D. (21 de Marzo de 2012). *Analisis E Interpretación De Un Electrocardiograma* . Obtenido de Analisis E Interpretación De Un Electrocardiograma :
<https://es.slideshare.net/camilod/interpretacion-de-un-ekg>
- Silva, C. V., & Farriol, L. P. (2004). *Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales electrocardiográficas*. Tarapacá: Universidad de Tarapacá.
- Silva, C. V., & Rojas, V. G. (2010). *Diseño e implementación de un sistema electrocardiográfico digital* . Chile: Universidad de Antioquia.
- Silva, C. V., & Rojas, V. G. (2019). *Diseño e implementación de un sistema electrocardiográfico digital* . Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Sparkfun. (2014). *Sparkfun*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/12650>
- Uribe, W., Duque, M., & Medina, E. (2005). *Electrocardiografía y arritmias*. Medellín: Export Editores Ltda. Obtenido de Electrocardiografía y arritmias.
- Uribe, W., Duque, M., Medina, L. E., Marín, J., Velásquez, J. E., & Aristizábal, J. (2015). *Electrocardiografía Básica*. Medellín: Electrofisiólogos grupo CES Cardiología.
- Vidal, C., & Pavesi, L. (2005). *Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales electrocardiográficas*. Arica, Chile: Universidad de Tarapacá. Obtenido de Desarrollo de un sistema de adquisición y tratamiento de señales electrocardiográficas.

ANEXOS

ANEXO1

Primera comunicación del módulo sim7100 con el Arduino

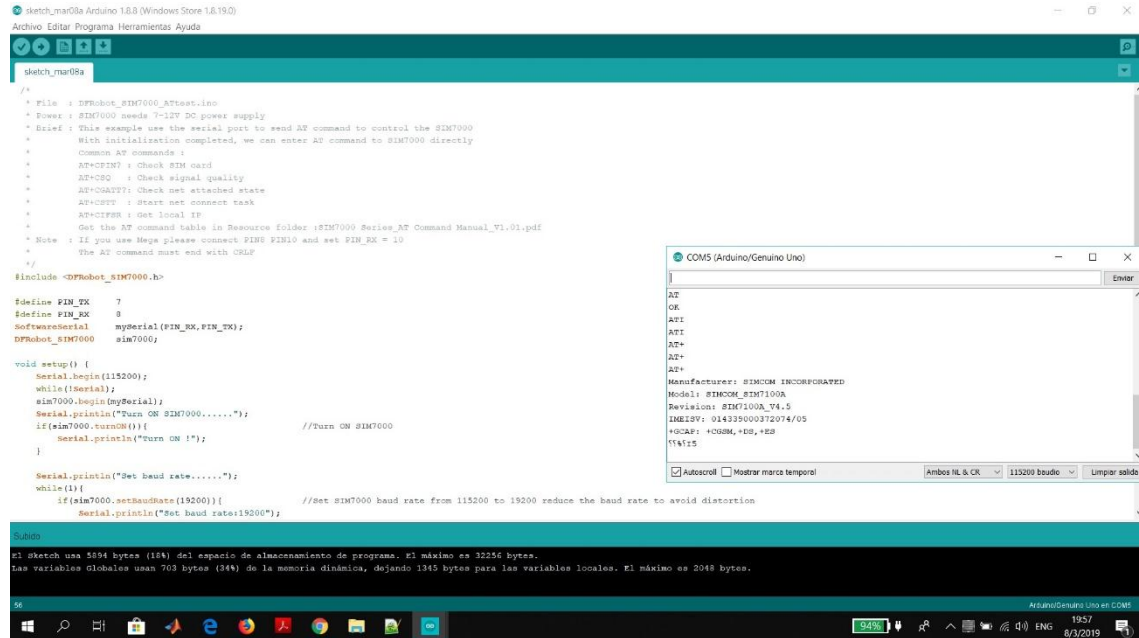


Figura 58. primera comunicación serial del Sim7100 con el Arduino

ANEXO2

Mapas De Conectividad De Las Redes Telefónicas Con La Aplicación Opensignal.

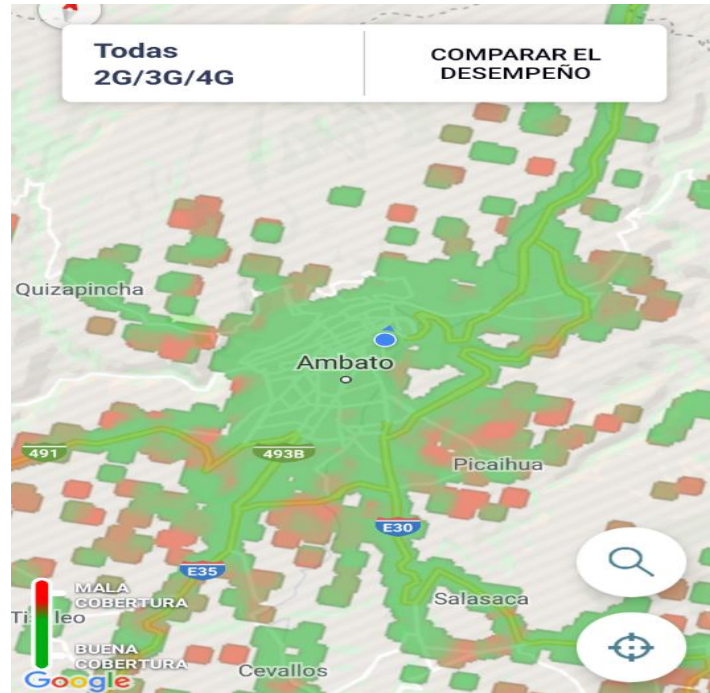


Figura 59. Mapa de Ambato del análisis de conectividad con todas las redes telefónicas.

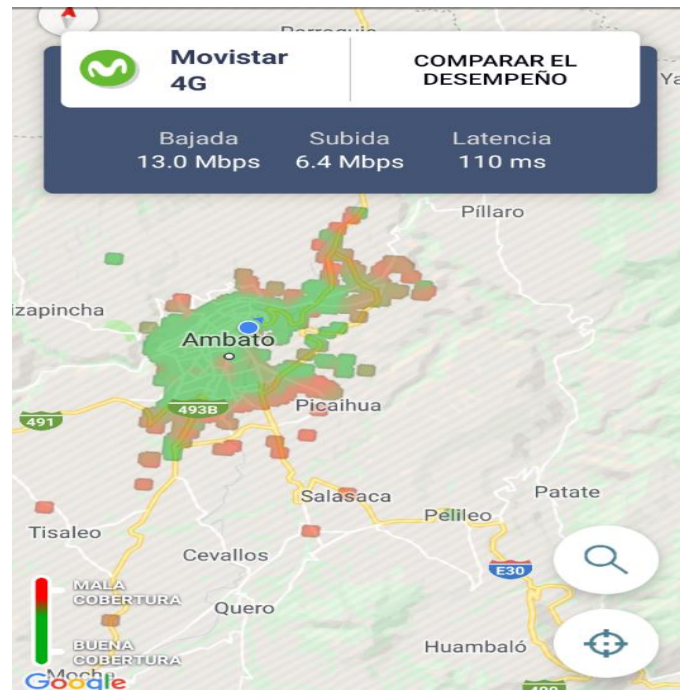


Figura 60. Mapa del análisis de la red 4G de MOVISTAR en la ciudad de Ambato

Fuente: Autor

ANEXO3

Analices de velocidad de subida en las redes MOVIESTAR y CNT con la App OpenSignal

The screenshot shows the 'Historial' (History) screen of the OpenSignal app. It features a blue header with a back arrow and the title 'Historial'. Below the header are two tabs: 'Velocidad' (Velocity) and 'Video'. The main content area displays four test results for a 'Móvil' (Mobile) connection. Each entry includes the network type, date and time, download ('Bajada') and upload ('Subida') speeds, and latency ('Latencia'). The location is indicated as 'Interior' for the first three tests and 'Exterior' for the last one. The data is as follows:

Network	Date/Time	Bajada	Subida	Latencia	Location
Móvil HSPAP	26 julio 2019 - 14:10	84 kbps	37 kbps	186 ms	Interior
Móvil	26 julio 2019 - 14:07	527 kbps	1.57 Mbps	116 ms	Interior
Móvil	26 julio 2019 - 14:06	1.42 Mbps	1.44 Mbps	115 ms	Interior
Móvil	26 julio 2019 - 14:05	773 kbps	1 kbps	111 ms	Exterior

Figura 61. Test de velocidad, latencia con chip de Movistar

Fuente: Autor

The screenshot shows the 'Historial' (History) screen of the OpenSignal app for a CNT chip. It features a blue header with a back arrow and the title 'Historial'. Below the header are two tabs: 'Velocidad' (Velocity) and 'Video'. The main content area displays four test results for a 'Móvil' (Mobile) connection. Each entry includes the network type, date and time, download ('Bajada') and upload ('Subida') speeds, and latency ('Latencia'). The location is indicated as 'Interior' for the second and fourth tests, and 'Exterior' for the first and third. The data is as follows:

Network	Date/Time	Bajada	Subida	Latencia	Location
Móvil	26 julio 2019 - 15:21	14.4 Mbps	2.55 Mbps	98 ms	Exterior
Móvil	26 julio 2019 - 14:55	335 kbps	518 kbps	140 ms	Interior
Móvil	26 julio 2019 - 14:47	0 kbps	0 kbps	-1 ms	Exterior
Móvil	26 julio 2019 - 14:45	0 kbps	1 kbps	-1 ms	Interior

Figura 62. Test de velocidad, latencia con chip CNT

Fuente: Autor



Figura 63. Análisis entre las diferentes compañías de red celular

Fuente: Autor

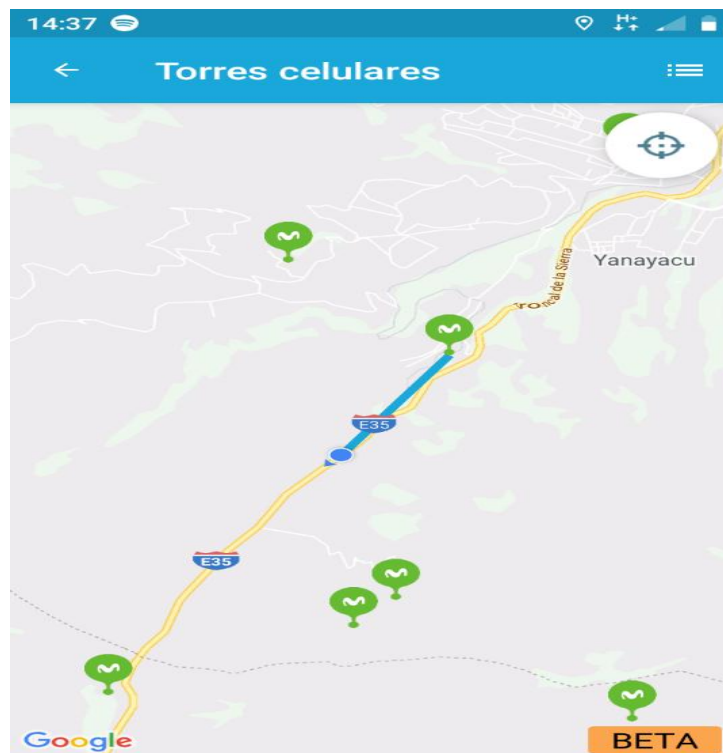


Figura 64. Redireccionamiento entre el dispositivo móvil a las antenas

Fuente: Autor

ANEXO 4

Especificaciones del módulo Sim7100



The image shows a product page for the SIM7100 LTE Module. At the top, there is a red banner with the text "LTE Module" and a background of a circuit board. Below this, the text "SIM7100" is prominently displayed in blue. To the right of the text are two images: a white SIM7100 module with a red SIM card slot and a green SMT package. A QR code is located to the left of the module images. Below the images, there is a vertical orange bar on the left with the text "LTE Module" written vertically. The main text describes the module as an ultra-compact and reliable wireless module based on the Qualcomm MDM9215 platform, supporting various protocols like TDD-LTE, FDD-LTE, TD-SCDMA, WCDMA, GSM, and GNSS. It also lists various interfaces and application capabilities.

LTE Module

SIM7100



SIMCom presents an ultra compact and reliable wireless module SIM7100 series which is based on Qualcomm MDM9215 multiple-mode LTE platform. SIM7100 series is a complete multi-band TDD-LTE/FDD-LTE/TD-SCDMA/WCDMA/GSM/GNSS SMT type module designed with very powerful processors integrating application core: Cortex™ A5(550MHz), three QDSP6 cores (Up to 500Mhz), allowing customer to benefit from small dimensions and cost-effective product solutions.

It has strong extension capability with rich interfaces including UART, USB2.0, SPI, I2C, Keypad, PCM, etc. With abundant application capabilities like TCP/UDP/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/SMTP/POP3 and MMS, the module provides much flexibility and ease of integration for customer's applications.

35

Figura 65. Descripción de los protocolos que ocupa el módulo sim7100A

Fuente:



Figura 66. Descripción de los protocolos que ocupa el módulo Sim7100

Fuente: Autor

ANEXO 5

Reunión con los representantes de CNT en Ambato para determinar los nombres de los puntos de acceso (APN).

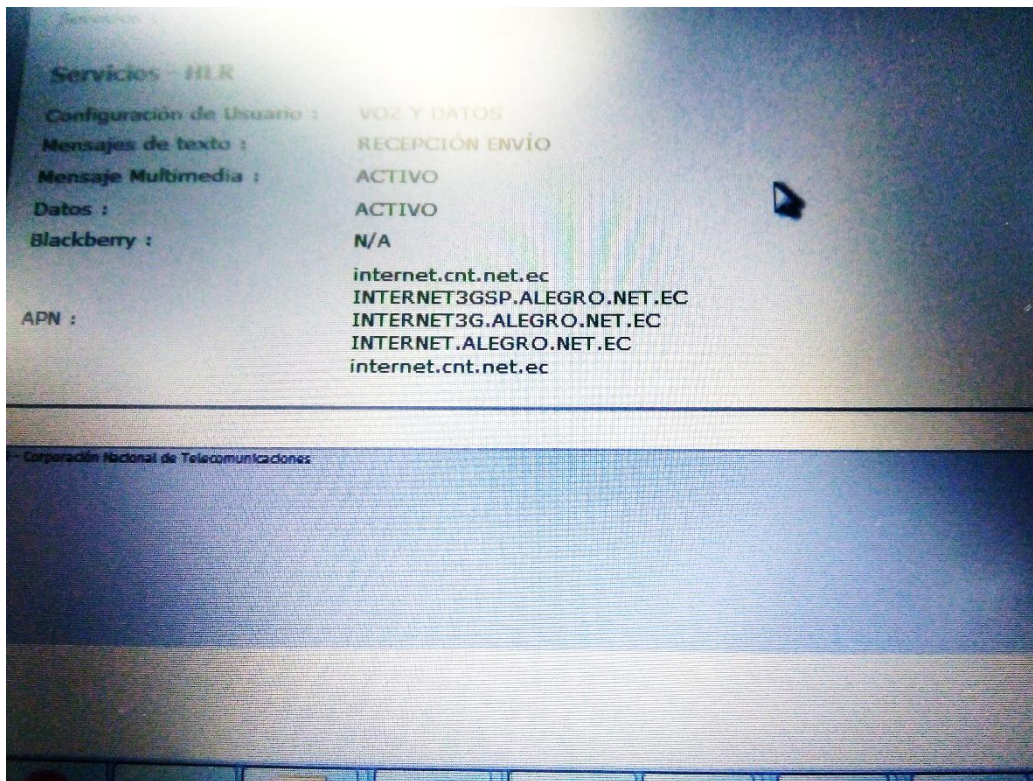


Figura 67. Puntos de Accesos (APN) habilitados para el Sim de CNT

Fuente: Autor

ANEXO 6

Test de ancho de banda LTE movistar por medio del servidor Speedtest.net

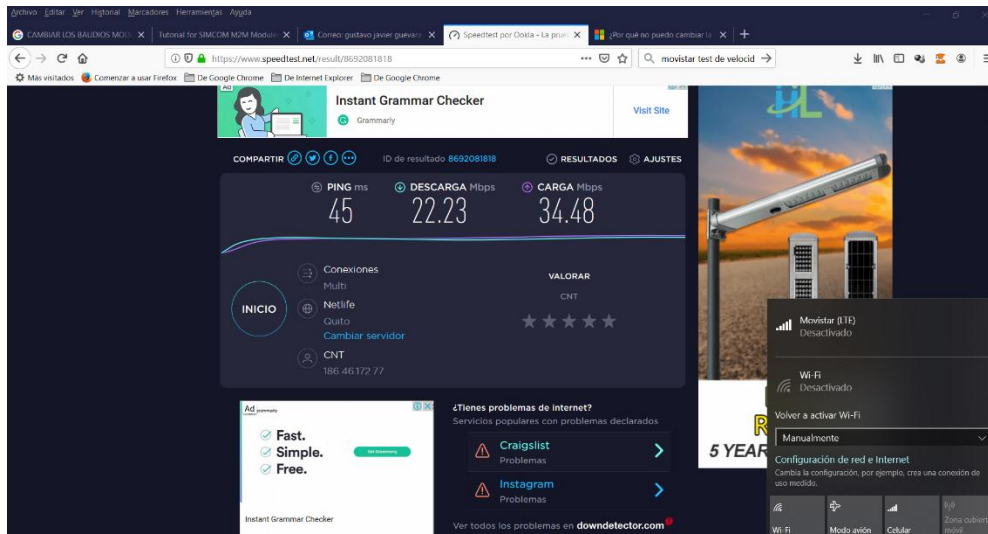


Figura 68. Análisis del ancho de banda LTE del módulo a través de una PC.

Fuente: Autor

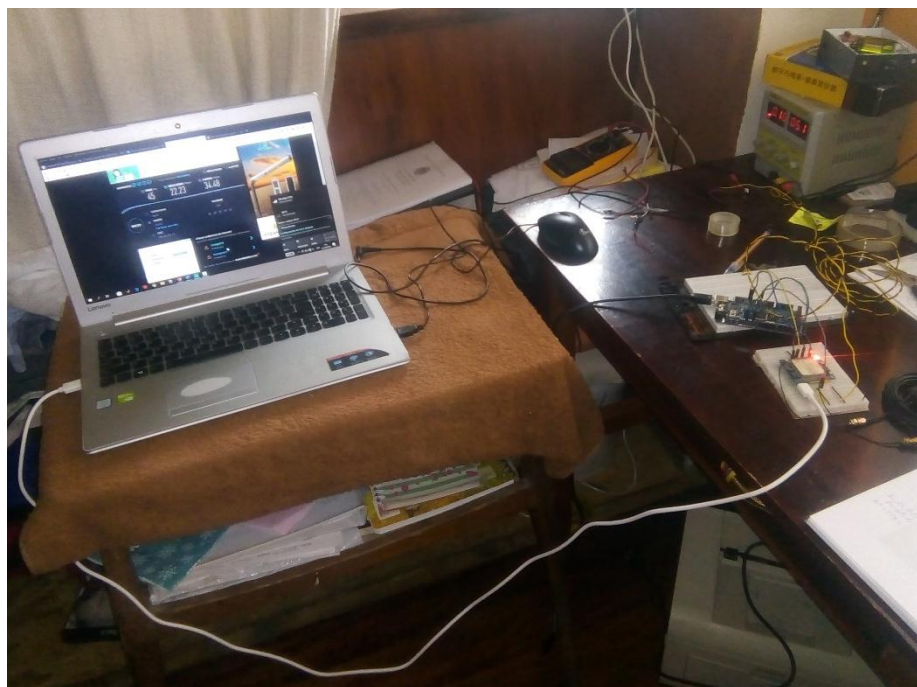


Figura 69. Conexión del módulo sim7100 al PC.

Fuente: Autor

Anexo 7

Ubicación de los electrodos en el paciente.



Figura 70. Ubicación de los electrodos.

Fuente: Autor