



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA REALIZAR  
ELECTROCARDIOGRAMAS CON MONITOREO REMOTO PARA PERSONAS  
CON ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES.

Autores

Coraima Cecibel Vaca Puga  
Diego Fernando Mejía Muñoz

Año  
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA REALIZAR  
ELECTROCARDIOGRAMAS CON MONITOREO REMOTO PARA PERSONAS  
CON ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingenieros en Electrónica y Redes de  
Información

Profesor Guía

MSc. Jorge Luis Rosero Beltrán

Autores

Coraima Cecibel Vaca Puga

Diego Fernando Mejía Muñoz

Año

2018

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Implementación de un sistema electrónico para realizar electrocardiogramas con monitoreo remoto para personas con enfermedades cardiovasculares, a través de reuniones periódicas con los estudiante Diego Fernando Mejía Muñoz y Coraima Cecibel Vaca Puga, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Jorge Luis Rosero Beltrán  
Máster en Ciencias con Especialidad en Automatización  
CC:1803610182

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de un sistema electrónico para realizar electrocardiogramas con monitoreo remoto para personas con enfermedades cardiovasculares, de Diego Fernando Mejía Muñoz y Coraima Cecibel Vaca Puga, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

David Fernando Pozo Espín  
Máster en Automática y Robótica  
CC: 1717340143

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LOS ESTUDIANTES

Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes

---

Diego Fernando Mejía Muñoz  
C.C: 1725059008

---

Coraima Cecibel Vaca Puga  
C.C: 1714430152

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, quiero agradecer a Dios, por llenar mi vida siempre con su bendición y guía. Quiero agradecer a mi familia por estar siempre presentes y por jamás haber dudado de mi durante todo este proceso. De igual manera mis agradecimientos a mis amigos y personas cercanas a mi quienes me apoyaron desde un inicio y me ayudaron a su manera en el desarrollo de este trabajo. De igual forma, quiero expresar mi agradecimiento a mis profesores, que gracias a su conocimiento y enseñanza se logró el desarrollo de este trabajo de titulación. Por último, quiero agradecer a la Universidad de las Américas por el apoyo brindado durante toda la carrera universitaria.

Diego Mejía.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios y a mi virgen de Guadalupe, por acompañarme siempre en mi vida, a mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos por siempre darme ánimos, pero sobre todo quiero agradecer a mis hermanas sin ellas no lo hubiese logrado.

De igual manera quiero agradecer a los Ingeniero Jorge Luis Rosero y David Pozo por su apoyo a la elaboración de esta tesis hasta el final.

Coraima Vaca.

## **DEDICATORIA**

A Dios por haber guiado mi camino a lo largo de mi vida y por haberme brindado la fortaleza para poder seguir aun en los momentos de debilidad. A mis padres, por todo lo que me han dado en la vida y por los valores que me han inculcado. A mi hermano Christian por apoyarme en todos los momentos tanto buenos como malos. A Andrea quien me ha apoyado en todo momento. Por siempre buscar la forma de ayudarme a ser mejor y por siempre estar ahí a su manera. Por tener toda la paciencia del mundo conmigo, por todos los consejos que me ha dado y por ser una parte fundamental en mi vida.

Gracias a todos.

Diego Mejía



## **DEDICATORIA**

A Dios por siempre ponerme el lugar preciso, a mi Divino Niño por siempre guiarme. A mis padres por todas las enseñanzas que me han brindado. A mis hermanos por siempre ayudarme a levantar cuando ya no tenía fuerzas. A Mike por siempre recordarme esa promesa de niños. A mi cuñado por ser ese hermano mayor que me aconsejaba de corazón. A todos ustedes decido este trabajo.

Coraima Vaca.

## RESUMEN

Entre las enfermedades que afectan a la humanidad están las cardiovasculares, acrecentándose en mayor porcentaje, tomando en cuenta los factores de riesgo como: antecedentes familiares, origen étnico y la edad. También existen otros factores como: el sobrepeso, colesterol alto, mala alimentación y la falta de ejercicio.

Gracias a los avances científicos existen varios tipos de dispositivos electrónicos, que permiten un eficaz diagnóstico que ayuda al tratamiento y prevención de estas enfermedades. Este proyecto tiene como finalidad implementar un dispositivo electrónico basado en microcontroladores que permite la captura de pulsos cardíacos para la recreación de un electrocardiograma, reduciendo el tiempo de este. El prototipo consta de dos módulos ECG utilizando 6 derivaciones como mínimo y cada módulo ECG consta de tres derivaciones. Por otro lado, existe la creación de un aplicativo web que mantiene toda la información de los pacientes, almacenada en una base de datos en la nube, permitiendo que el sistema siempre se encuentre activo. El médico tendrá acceso a la información mediante el aplicativo exclusivo. El dispositivo consta de un módulo WiFi remitiendo los datos a un servidor FTP.

## **ABSTRACT**

Heart disease is one of the most important problems at present. The cardiovascular risk in people has increased as the years go by due to the change in the lifestyle of the people. With the passage of time, people forget the importance of performing constant medical check-ups, which help prevent this type of disease. Currently, there are various electronic devices that allow the person to have a quick diagnosis about their health. This document is based on the study carried out for the implementation of an electronic prototype based on Microcontrollers technology which allows to reduce the time of analysis by doctors when requesting that the patient perform an electrocardiography. This uses two ECG shields because the electrocardiography needs six derivations like minimum and each ECG shield gives three derivations. On the other hand, there is a web application for the correct handling of patient information. All this information is stored in a database that is in the cloud which allows it to be a highly available system. All of that using a WiFi module to send the data obtained from the measurement made to an ftp server. In summary, this study will allow the creation of an electronic device based on microcontrollers that allows the capture of heart pulses to create an electrocardiogram, which will be sent through Wi-Fi networks to a storage server. This information can be accessed through the dedicated website for the device, thus allowing not only doctors to perform this type of exam.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTEPROYECTO.....	1
2.1 Antecedentes.....	1
2.2 Alcance.....	3
2.3 Justificación .....	3
2.4 Objetivos .....	3
2.4.1 Objetivos Generales.....	3
2.4.2 Objetivos Específicos.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 El Corazón .....	4
3.2 Configuración Externa .....	5
3.3 Esquema General de la Circulación de la sangre .....	8
3.4 Enfermedades Cardiacas.....	10
3.5 Sintomatología de una posible enfermedad cardiovascular.....	11
3.6 Electrocardiograma.....	12
3.7 Tipos de electrocardiogramas .....	12
3.8 Derivaciones de un Electrocardiograma.....	13
3.9 Interpretación de un electrocardiograma.....	15
3.10 Como se realiza un electrocardiograma.....	17
3.11 Signos Vitales .....	17
3.12 Base de Datos .....	18
3.13 Arduino .....	18
3.14 Visual Studio.....	19
3.15 C#.....	20
4. DISEÑO DE SOFTWARE .....	20
4.1 Base de datos.....	20
4.2 Desarrollo del aplicativo .....	23
4.3 Rol de administrador.....	26

4.4 Rol de Usuario.....	35
5. DESARROLLO DE PROTOTIPO.....	38
6. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	49
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
7.1 Conclusiones .....	57
7.2 Recomendaciones .....	57
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS .....	61

## **1. INTRODUCCIÓN**

El proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema electrónico, que permita realizar un electrocardiograma con monitoreo remoto partiendo de microcontroladores ya existentes en el mercado. Además de contar con un aplicativo web que permite realizar la lectura de los datos emitidos por el electrocardiógrafo.

El capítulo I detalla el marco teórico, explica partes del corazón, interpretación de las ondas de un electrocardiograma, como se realiza un electrocardiograma, programa en el que se diseñó en aplicativo web y prototipo.

En el capítulo II se detalla la creación de la base de datos y del aplicativo web, refiriéndose a cada uno de sus diferentes tipos de accesos, además de sus respectivas pantallas dependiendo al usuario que ingrese desplegara sus funcionalidades.

En el capítulo III se detalla la creación y especificaciones del prototipo, además del tipo de dispositivo y módulos a ocuparse, como se realiza el envío de datos, y la recepción de estos, como están interconectados los módulos y su funcionamiento.

En el capítulo IV se detalla las pruebas y procedimientos con el prototipo y las lecturas que realizó el mismo siendo estas leídas en diferentes programas incluido el del aplicativo, la verificación de las ondas y que no existiese el excesivo paso de ruido.

## **2. ANTEPROYECTO**

### **2.1 Antecedentes**

Actualmente las personas llevan un estilo de vida rápida y caótica, que representan problemas de salud en su existir, siendo uno de estos la falta de tiempo para un chequeo médico.

Según la Organización Panamericana de la Salud, las enfermedades cardíacas se ubican entre los primeros lugares con un 31% de muerte. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) reportó que en el año 2014 han fallecido 6020 personas a causa de enfermedades cardiovasculares; correspondiendo al 51.68% a varones y el 48.32% a mujeres.

Están consideradas como enfermedades cardiovasculares las siguientes.

- Cardiopatías coronarias.
- Enfermedades cerebrovasculares.
- Arteriopatías periféricas.
- Cardiopatías reumáticas.
- Cardiopatías congénitas.

En una posible enfermedad cardiovascular se presentan los siguientes síntomas:

- Molestias en el pecho: dolor, presión, opresión, pesadez o ardor
- Dolor o molestias en el cuello, hombros, mandíbula inferior, brazos, parte superior de la espalda o el abdomen.
- Falta de aire que dura algunos segundos.
- Sentirse aturdido, mareado o a punto de desmayarse.
- Náuseas
- Vómitos.
- Sudoración inusual.
- Fatiga abrumadora.
- Taquicardias (el corazón late realmente rápido o fuera de ritmo).

## **2.2 Alcance**

El desarrollo de un dispositivo electrónico que permita realizar un electrocardiograma, identificando posibles enfermedades, tiene como objetivo trabajar junto con un aplicativo web que envíe los resultados del electrocardiograma, directamente al médico tratante permitiendo detectar enfermedades de manera temprana.

## **2.3 Justificación**

La Organización Mundial de la Salud en el año 2012 registró 17,5 millones de muertes a nivel mundial, las tres cuartas partes se desarrollan en los países medios y bajos, han tomado como factores principales: edad, estrés, sobrepeso, además de enfermedades congénitas. Los avances existentes en medicina como en tecnología permiten que pacientes con este tipo de patologías puedan llevar un control minucioso de las mismas

Se trata de construir un dispositivo que permita realizar electrocardiogramas con la finalidad de detectar enfermedades cardiovasculares a tiempo, reduciendo el tiempo de entrega de resultados, para una eficaz prevención o tratamiento.

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivos Generales**

- Crear un sistema electrónico autónomo, mediante el uso de microcontroladores, que permitan realizar electrocardiogramas, para mantener un monitoreo constante, utilizando un servidor web que permita el almacenamiento y envío de la información hacia el médico responsable del paciente.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**



- Determinar la tecnología a implementarse, a nivel de almacenamiento de energía, para que el sistema sea autónomo.
- Establecer rangos para los datos obtenidos después de la medición realizada, para que sean analizados por médicos especializados en el tema.
- Diseñar el aplicativo web que se va a utilizar para el almacenamiento y el envío de información del paciente.
- Implementar una base de datos que permita el correcto almacenamiento de los datos obtenidos por el equipo de medición.

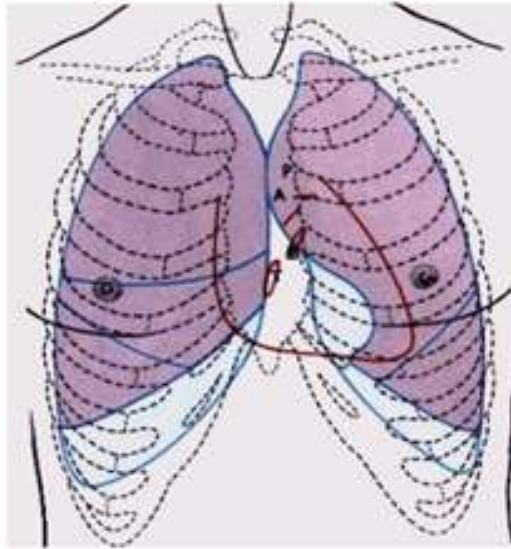
### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 El Corazón**

Es el órgano motor del sistema circulatorio, localizado en la mitad de la caja torácica con una pequeña desviación hacia la izquierda. Está ubicado entre ambos pulmones rodeado por dos pleuras: la una delante de la columna vertebral y la otra por encima del diafragma; sus elementos de fijación son la vena cava y algunos vasos sanguíneos que llegan o parten de él. Su peso aproximado es de 250 a 300 gramos, el tamaño aproximado de un puño.

Tiene dos movimientos que son:

- Movimiento diastólico: el corazón y arterias se relajan y expanden cuando la sangre purificada entra en ellas.
- Movimiento sistólico: el corazón y arterias se contraen para expulsar la sangre que contienen.



*Figura 1* Localización del corazón. Descripción grafica de ubicación del corazón con su respectiva desviación.

Tomado de (Tortosa Gereald. Desrrickson, B. 2006).

### 3.2 Configuración Externa

Como lo dijo Latarjet y Ruiz Liard (2005, pp. 913) Se considera que el corazón tiene cuatro caras, tres bordes, una base y un vértice.

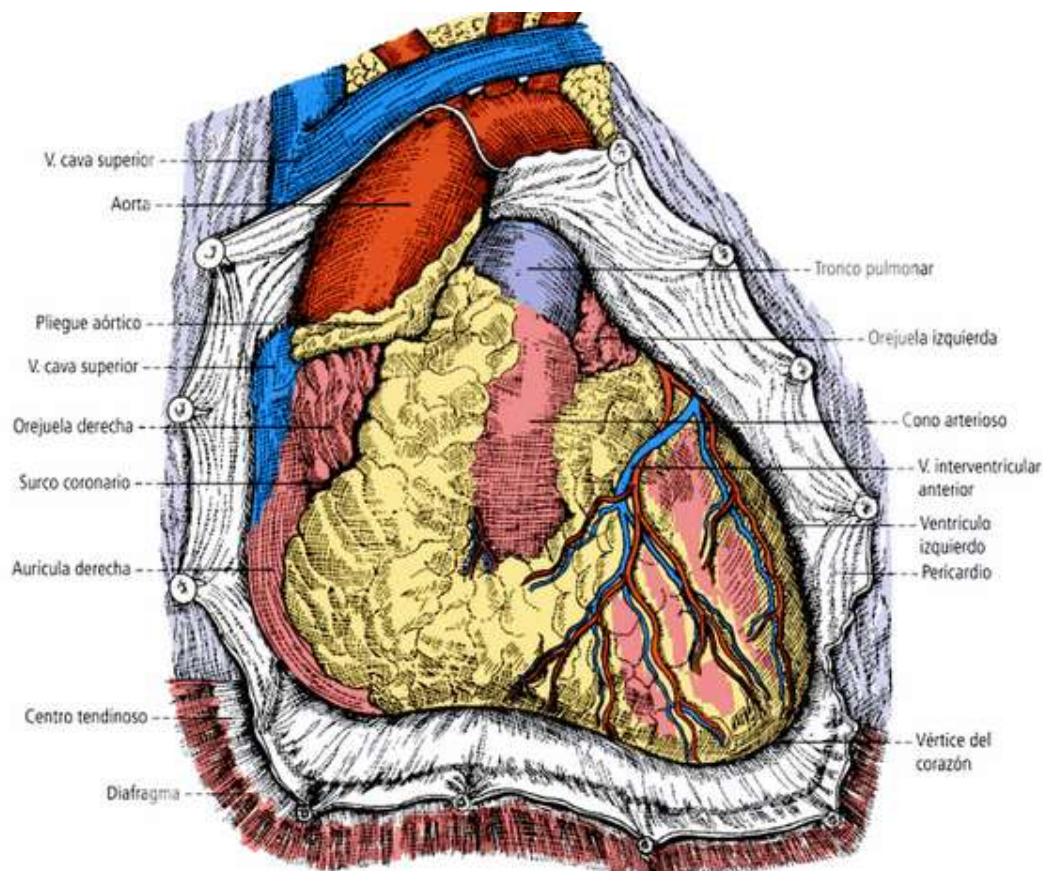
Las Caras del Corazón

- **Cara Anterior:** Es un surco coronario que separa las aurículas de los ventrículos siendo este quien limita el sector auricular y el sector ventricular.

**Sector auricular:** Se encuentra por encima del sector ventricular, tronco pulmonar y arteria aorta, si se secciona el corazón se puede observar la cara anterior de las aurículas teniendo una forma cóncava. Las orejuelas son elongaciones de las aurículas, derecha e izquierda; La orejuela derecha tiene una forma de cono con su base dirigida hacia la aurícula derecha, su vértice se encuentra enfrente de la aorta; La orejuela izquierda

es alargada hacia la parte anterolateral de la aurícula izquierda, por encima de la vena pulmonar superior izquierda.

Sector Ventricular: Se divide en dos surcos: el surco interventricular anterior situado en la parte izquierda, alargándose hasta el borde anteroinferior del motor cardiovascular manteniendo este surco hasta la arteria interventricular anterior; El surco coronario comprende la rama de la arteria coronaria izquierda y la vena cava magna.

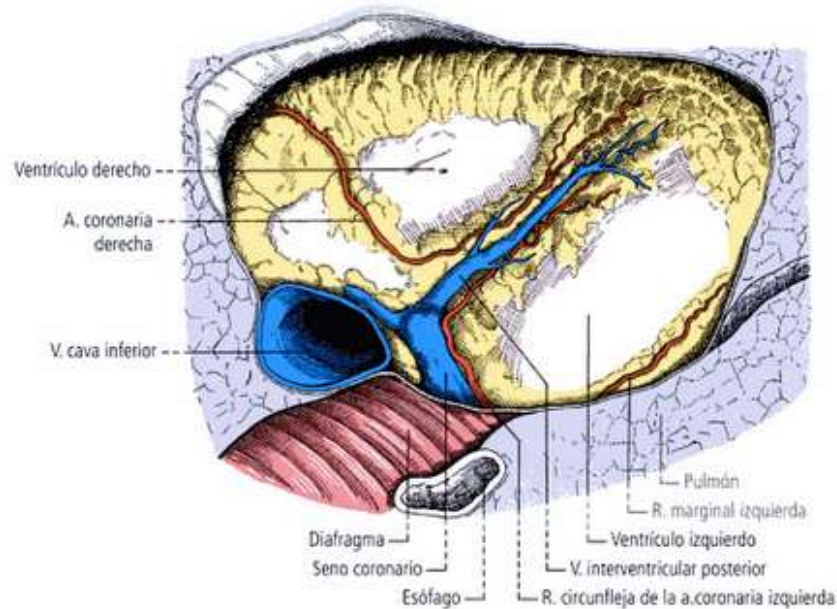


*Figura 2.* Cara anterior del corazón. Descripción de cara anterior del corazón con sus respectivas partes.

Tomado de (Latarjet y Ruiz Liard, 2005, pp. 918)

- Cara Inferior: Se encuentra ubicada sobre el diafragma, mantiene una forma de triángulo dividido por el surco coronario, tiene una parte ventricular y una auricular. El segmento ventricular está fraccionado en

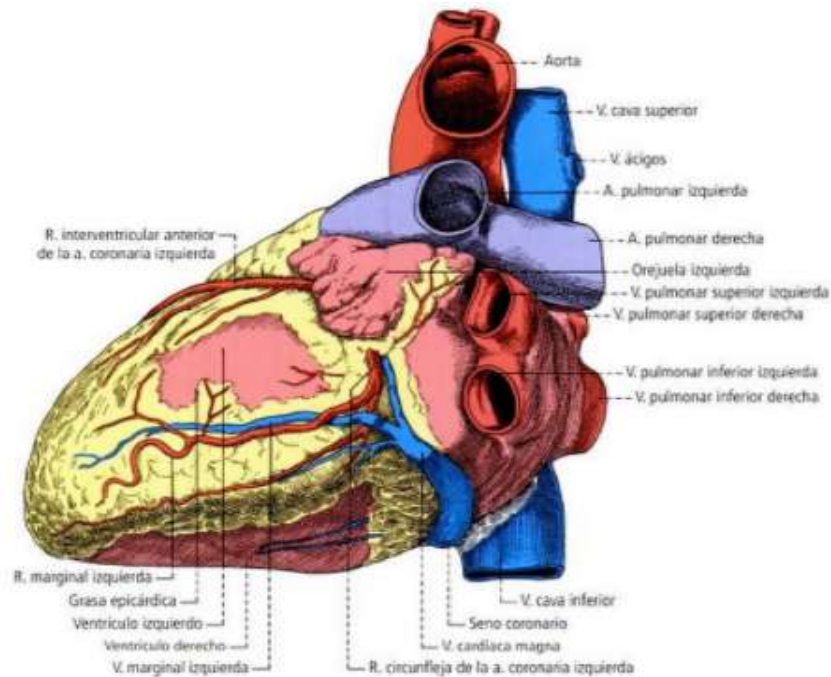
sentido horizontal por el surco interventricular posterior, desde la derecha del vértice del corazón hasta el surco coronario, el segmento auricular es menos extenso ubicándose al inferior de las aurículas proporcionando la mayoría de la aurícula derecha.



*Figura 3* Cara inferior del corazón. Cara inferior del corazón con sus respectivas partes.

Tomado de (Latarjet y Ruiz Liard, 2005, pp. 919)

- Cara pulmonar izquierda: Es muy difícil identificar por la limitación delantera y posterior que no es muy acentuada y tiene dos partes: una ventricular anterior e inferior, ligadas directamente al ventrículo izquierdo y una parte superior y trasera correspondiente a la aurícula izquierda.



*Figura 4* Cara pulmonar del corazón.

Tomado de (Latarjet y Ruiz Liard, 2005, pp. 914)

- Bordes

Borde derecho: separa la cara anterior de la cara inferior.

Borde superior: divide la cara pulmonar izquierda y la cara anterior.

Borde izquierdo: divide la cara izquierda del corazón de la inferior.

- Base

Considerada una cara real del corazón, ligeramente curva en sentido vertical como cruzado, dividida en dos partes desiguales gracias al surco interauricular posterior.

A la derecha se encuentra localizada la cara posterior de la aurícula, limitados por los orificios de las venas cavas.

La parte que corresponde a la cara de la aurícula izquierda marcada está por las cuatro venas pulmonares.

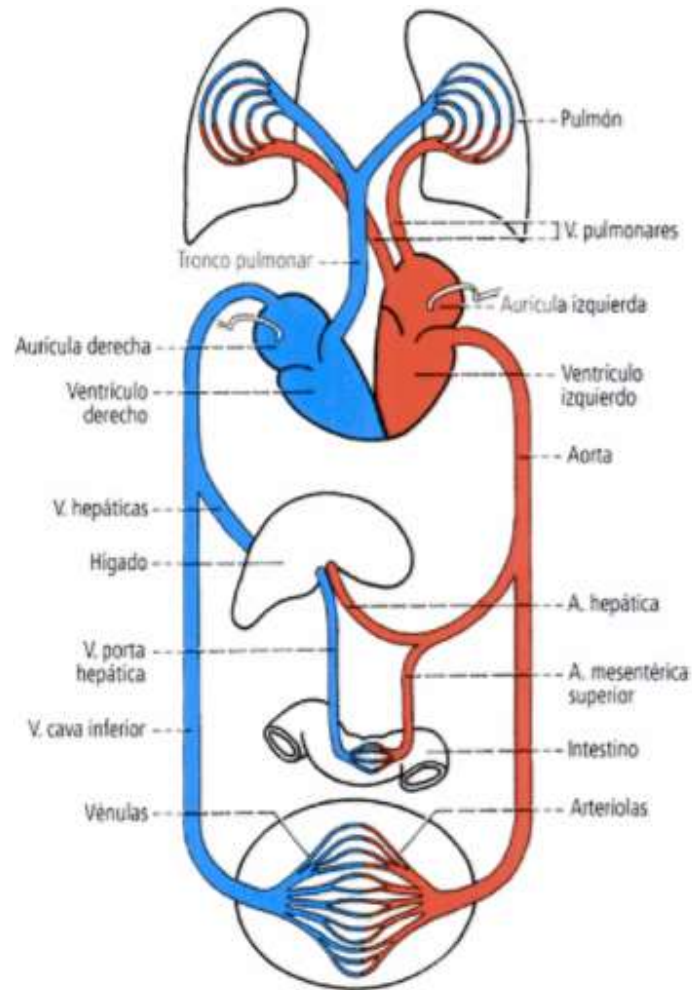
### 3.3 Esquema General de la Circulación de la sangre

Como lo dijo Lатарjet y Ruiz Liard (2005, pp. 914) en 1628 el señor William Harvey médico inglés quien realizó el descubrimiento que la sangre circula desde el ventrículo izquierdo, la contracción de este ventrículo permite el paso de la sangre a la aorta y luego a todo el cuerpo menos a los pulmones. Se realiza un intercambio fisicoquímico en los diferentes órganos asegurando el intercambio correcto de sangre, las venas recogen la sangre que es conducida a la aurícula derecha teniendo como intermediara a la vena cava superior e inferior, cuando la sangre se encuentra en el ventrículo derecho por su contracción es impulsada al tronco pulmonar y de ahí hacia los pulmones en donde se realizará el intercambio gaseoso eliminando el dióxido de carbono y enriqueciéndola con oxígeno. Una vez oxigenada la sangre vuelve al corazón por las venas pulmonares terminando en la aurícula izquierda, pasa al ventrículo izquierdo. El corazón envía la sangre e irriga todo el cuerpo siguiendo un solo camino guiado por las válvulas auriculoventriculares quienes oponen el reflujo de la sangre tanto auricular como ventricular.

Existen dos circulaciones las cuales son:

- La Gran Circulación: Comprende la parte de la aurícula izquierda, aorta, arterias que se originan en este lado del corazón, conducen hacia el lado de la aurícula derecha desembocando toda la irrigación en los vasos linfáticos.
- La pequeña circulación: Comprende la parte del ventrículo derecho, arteria pulmonar, con sus respectivas ramas, además de la aurícula izquierda, esta circulación contiene la sangre venosa siendo todo lo contrario a la gran circulación.





*Figura 5.* Esquema general de la sangre.  
Tomado de (Latarjet y Ruiz Liard, 2005, pp. 914)

### 3.4 Enfermedades Cardiacas

Se encuentran ubicadas entre las primeras causas de muerte a nivel mundial, los países más afectados por estas enfermedades son los que tienen menos recursos económicos, además el cambio de dieta o la ingesta de comida poco saludable y el sedentarismo son causas que afecta de manera impactante.

Las enfermedades cardiovasculares se clasifican en cuatro grupos:

- Isquémicas.
- Cardiovasculares.
- Vasculares Periféricas.
- Cerebrovasculares.

Las enfermedades cardiovasculares están relacionadas con la obstrucción de las venas y vasos sanguíneos que impiden el paso de la sangre al corazón como al cerebro, una de las causas es el exceso de colesterol malo, otra causa es la formación de coágulos de sangre obstruyendo completamente las vías de paso de sangre, que destaparse de manera brusca causando enfermedades cerebrovasculares.

Los factores principales para las enfermedades cardiovasculares son: una dieta inadecuada, falta de actividad física, el consumo de sustancias adictivas, es decir, tabaco, alcohol y drogas se debe tener en cuenta que las personas con mayores probabilidades de una enfermedad cardiovascular son aquellas que padezcan hipertensión arterial, sobrepeso, diabetes e hiperglucemia, otro de los factores es el estrés que altera todo el funcionamiento del cuerpo.

### **3.5 Sintomatología de una posible enfermedad cardiovascular**

Los principales síntomas de una enfermedad cardiovascular son:

- Dolor o sensación de punzaduras en el pecho, así como en el brazo izquierdo y mandíbula.
- Mareos.
- Taquicardia repentina.
- Dolores de cabeza.
- Desmayos.
- Pérdida de conciencia.
- Dificultad al respirar.
- Vómito.

De qué manera prevenir una enfermedad cardiovascular.



De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, eliminar el consumo de tabaco, la disminución de sal, aumentar la ingesta de frutas, verduras y hortalizas, reducir el excesivo consumo de grasas, realizar ejercicio de manera moderada reducen el riesgo de algún tipo de patología cardíaca adquirida, en ciertos casos es necesario la prescripción de algún medicamento que permita reducir el riesgo de esta enfermedad.

### **3.6 Electrocardiograma**

Es un examen no invasivo, que registra la actividad eléctrica del corazón, al momento en el que un impulso cardíaco pasa por el mismo, la corriente se propaga hasta los músculos que se encuentran alrededor de este y puede ser registrado en un electrocardiograma (ECG), permitiendo conocer más a detalle el ritmo cardíaco, tamaño y funcionamiento.

El electrocardiograma es la graficación de la actividad del corazón, además de la condición de los pulsos de este, llevado dentro de un registro. En la práctica para la realización de un electrocardiograma se colocan electrodos sean estos en brazos y piernas (extremidades) y seis en la parte torácica, estas derivaciones permiten un registro exhaustivo de cada impulso propagado hacia los músculos periféricos del corazón.

### **3.7 Tipos de electrocardiogramas**

Las principales técnicas de electrocardiogramas son dos:

La prueba de esfuerzo: permite el registro del corazón dentro de un periodo de treinta minutos, realizando ejercicio físico, en bicicleta o en caminadora, permitiendo determinar la tolerancia al esfuerzo realizado tras haber pasado un dolor de pecho o un infarto.

El Holter: es un monitoreo permanente del corazón, durante un lapso de uno a dos días dependiendo del criterio médico, registra el ritmo cardíaco de manera prolongada registrando variantes en su funcionamiento.

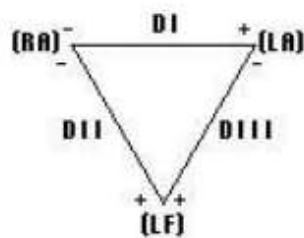
Para la realización de un electrocardiograma el paciente debe encontrarse acostado y relajado, se fijan electrodos sean estos de metal o adhesivos en los brazos y pierna, como en la parte del pecho, estos electrodos registran la actividad del corazón que son impresos en un papel milimetrado elaborando una gráfica.

### 3.8 Derivaciones de un Electrocardiograma

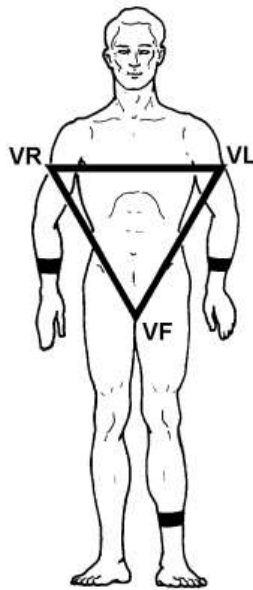
Permiten el registro de los impulsos eléctricos del corazón, reciben el nombre de derivaciones, son los que obtienen el potencial eléctrico de forma indirecta o derivada. Se conoce que existen dos tipos de derivaciones que son:

- *Derivaciones Estándares de Einthoven D1, D2, D3.*

Las derivaciones de Einthoven nacen en el siglo XX, asumiendo que el corazón es un generador de corriente y el cuerpo es un buen conductor, se puede constituir un triángulo en el cual las extremidades proyectan electricidad emitida por el corazón.



*Figura 6.* Derivaciones de Einthoven.  
Tomado de (Franco Salazar,2005)



*Figura 7.* Derivaciones de Einthoven en brazos y pierna.  
Tomado de (Franco Salazar,2005)

La pequeña inclinación del corazón hacia la izquierda permite construir el triángulo de Einthoven con la pierna izquierda teniendo en cuenta que:

$$D1= LA-RA$$

$$D2=LF-RA$$

$$D3=LF-LA$$

En la figura 1.8.21 se puede observar que la tercera derivación queda integrada por dos polos positivos, siendo la pierna izquierda, como el brazo izquierdo polos positivos se considera al polo con menos carga positiva un polo electronegativo actuando de esta manera el brazo derecho, además el voltaje recolectado de D1, D2, D3 de acuerdo con la ley de Einthoven tiene una relación matemática la cual es:

$$D2=D1+D3.$$

- *Derivaciones Pericordiales*

Son aquellas que se colocan en la caja torácica de lado izquierdo, y mencionan a continuación:

V1: cuarto espacio intercostal, línea paraesternal derecha

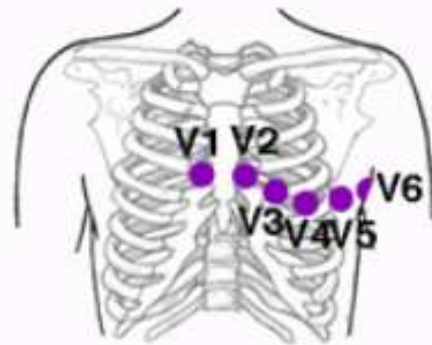
V2: cuarto espacio intercostal, línea paraesternal izquierda

V3: mitad de distancia entre V2 y V4

V4: quinto espacio intercostal, línea medio claviclar

V5: quinto espacio intercostal, línea axilar anterior

V6: quinto espacio intercostal, línea axilar media



*Figura 8.* Derivaciones de Einthoven en brazos y pierna.  
Tomado de (My EKG, s.f.)

### 3.9 Interpretación de un electrocardiograma

Onda P: es la primera onda semicircular positiva ubicada encima de 0 esta representa la activación auricular.

Onda Q: esta onda no es ni extensa ni profunda representando la primera curva negativa pasada la onda p y el final del intervalo QT, esta onda representa la activación ventricular

Onda R: lo particular de esta onda es que es alta y corta la cual representa la activación ventricular.

Intervalo PR: indica el periodo de inactividad existente en el nodo auriculoventricular comprendido entre los 120 y 200ms.

Complejo QRS: es representación de la activación de los ventrículos con tiempo de duración de 80 a 100 ms.

Segmento ST: este segmento está comprendido desde el final de QRS hasta el inicio de la onda T

Onda T: esta onda empieza terminando el segmento ST indicando la repolarización de los ventrículos.

Intervalo QT: este intervalo representa la polarización y despolarización de los ventrículos con una duración de 320 y 400 ms.

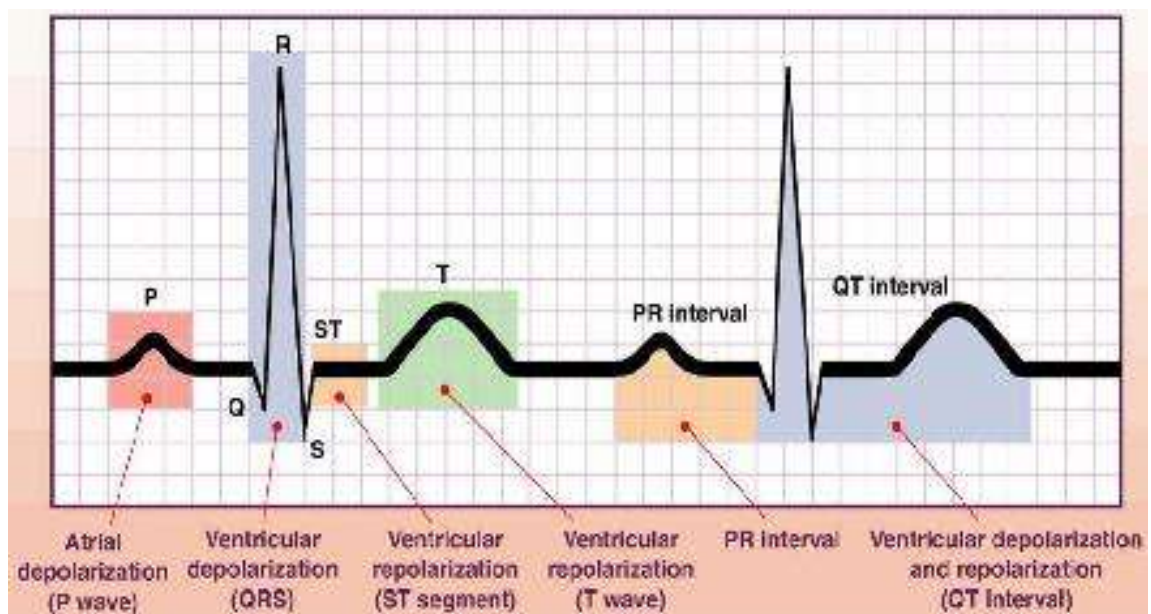


Figura 9. Ondas representadas mediante un electrocardiograma

Tomado de (Ochoa, A., Mata, W., González, A., Mena, L. J., & Félix, V. ,2016).

### 3.10 Como se realiza un electrocardiograma

Para realizar un electrocardiograma el paciente debe estar recostado sobre una camilla manteniendo el pecho, brazos y tobillos descubiertos, dependiendo del tipo de electrocardiograma se limpia las zonas, donde se colocan los electrodos en ciertos casos la persona puede tener excesivo vello corporal se opta por retirar para poder efectuar el examen. El electrocardiograma tiene una duración de 2 a 3 minutos, una vez transcurrido este tiempo se procesa a retirar los electrodos.



*Figura 10.* Electrocardiograma en una persona.  
Tomado de (My EKG, s.f.)

### 3.11 Signos Vitales

Es la medición de más básicas del cuerpo. Las más principales para monitoreo rutinario son:

- Temperatura corporal.
- Pulso.
- Frecuencia Respiratorio.
- Presión Arterial.

Las mediciones permiten detectar problemas de salud, estos signos pueden se tomados en un instituto médico, en casa o durante una emergencia médica.

### **3.12 Base de Datos**

Es un conjunto de datos no redundantes que mantienen una interconexión entre ellos, almacenados sistemáticamente para ser usados en un caso requerido, que permiten ser utilizados entre diferentes usuarios.

Según (Juárez, 2006, p.45) La base de datos es la conglomeración de datos mediante los cuales existe una relación que satisface requerimientos informativos de una organización o empresa.

Anteriormente se utilizaba hojas para guardar los datos, pero existían varios problemas los cuales son:

- Redundancia e inconsistencia de datos.
- Dificultad al acceso.
- Problemas de integridad.
- Accesos no permitidos a los datos.

### **3.13 Arduino**

Es un programa libre que permite desarrollar elementos autónomos que proporciona la interacción de software como de hardware, es decir, realizar un control de equipos de domótica, así como para leer información.

Arduino permite la creación de un electrocardiograma mediante la programación del microcontrolador encontrado en su placa, cuenta con una aplicación que permite realizar la programación necesaria para realizar algún proyecto en curso y prototipos en mente teniendo en cuenta según las necesidades se debe ocupar alguna placa de Arduino. A continuación, ejemplos de placas de Arduino.

Tabla 1.

*Descripción de Placas Arduino*

Placa de Arduino	Descripción
Arduino Uno	<ul style="list-style-type: none"> <li>● microcontrolador =ATmega328P</li> <li>● memoria Flash= 32KB</li> <li>● EEPROM=1KB</li> <li>● velocidad de reloj=16MHz</li> </ul>
Arduino lilypad	<ul style="list-style-type: none"> <li>● memoria flash 16KB</li> <li>● reloj 8 MHz</li> <li>● microcontrolador = ATmega3u4</li> <li>● EEPROM=1KB</li> </ul>
Arduino nano	<ul style="list-style-type: none"> <li>● microcontrolador =ATmega328</li> <li>● memoria Flash= 32KB</li> <li>● EEPROM=1KB</li> <li>● velocidad de reloj=16MHz</li> </ul>
Arduino mega	<ul style="list-style-type: none"> <li>● memoria flash =256KB</li> <li>● microcontrolador = ATmega2560</li> <li>● velocidad de reloj =16MHz</li> <li>● EEPROM= 4 KB</li> </ul>

Adaptado de (Arduino, s.f.)

### 3.14 Visual Studio

Es un entorno de desarrollo integrado para sistemas operativos Windows, capaz de soportar lenguajes como C++, C#, Visual Basic, .NET, F#, etc., hay que agregarle la opción online bajo Windows Azure en forma del editor Mónaco.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión .NET 2002). Así, se pueden crear aplicaciones que se



comuniquen entre estaciones de trabajo, páginas web, dispositivos móviles, dispositivos embebidos y consolas, entre otros.

### **3.15 C#**

C# o C Sharp se derivan de C y C++, es una programación orientada a objetos forma parte de la plataforma de Microsoft .net, una de las ventajas que tiene este lenguaje es la facilidad en su escritura.

## **4. DISEÑO DE SOFTWARE**

Para el desarrollo de la tesis se ha contemplado dos partes; software siendo el aplicativo y hardware siendo el prototipo.

Para la creación del aplicativo web primero se realizará la base de datos, estando esta en la segunda forma normal, evitando que exista una redundancia de datos.

### **4.1 Base de datos**

Para realizar la base de datos se tomó en cuenta que éste aplicativo se encontrará ligado directamente a la base de datos de la clínica u hospital, para la práctica se tomó en cuenta tablas fundamentales manteniendo los siguientes atributos los cuales son:

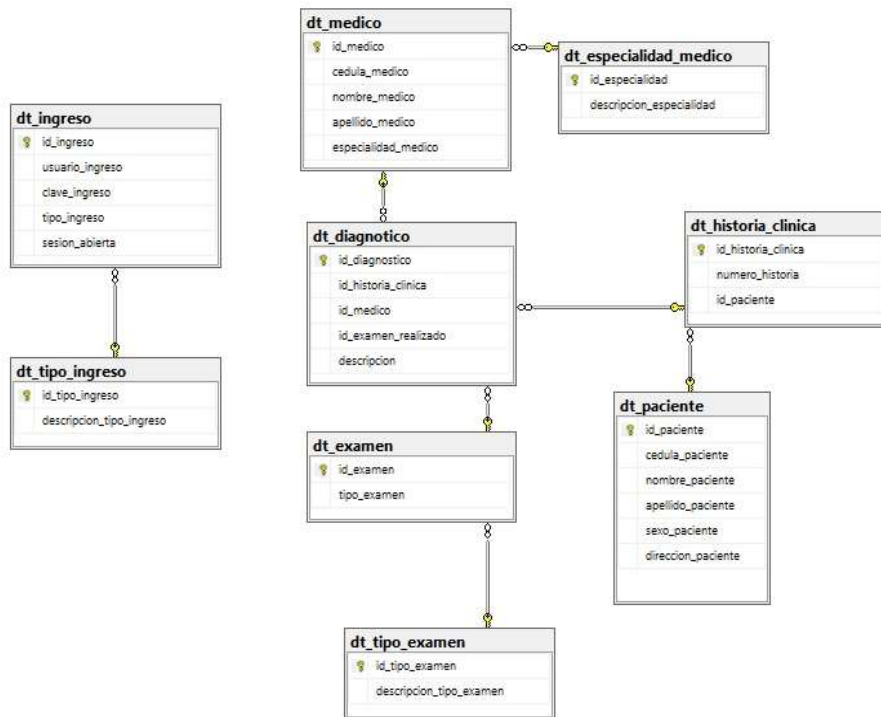


Figura 11. Modelo Entidad-Relación. Diagrama de relaciones entre tablas para la inserción con sus respectivos atributos.

La base de datos se encuentra en la segunda forma normal, evitando de esta manera que no exista tanta redundancia, además se creó reglas que no se permitan ingresar en la parte de las cédulas nada más que solo números.

La base se encuentra subida en el servidor de Azure propia de Microsoft, como se aprecia en la figura 2.1.2 los resultados que este nos brinda.

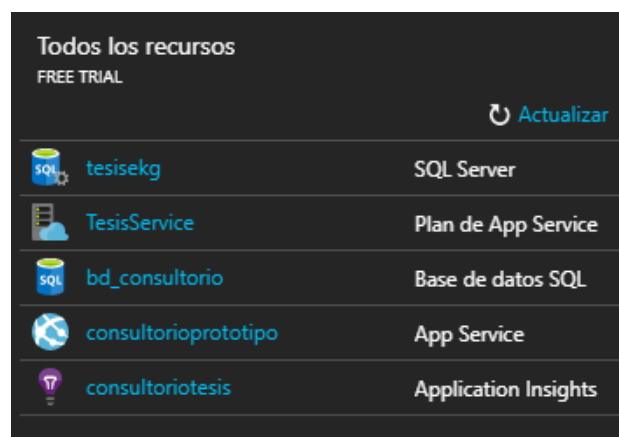


Figura 12. Base en subida en Azure. Recursos existentes en Azure para el prototipo

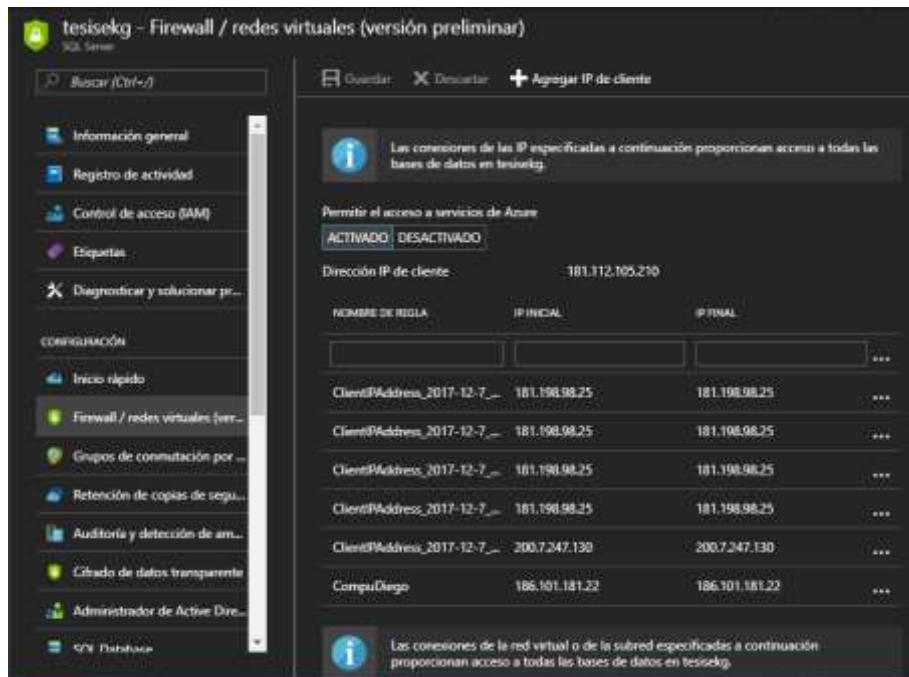


Figura 13. Otorgación de permisos a las Ip. Permisos Otorgados para los accesos a los servicios de Azure.

En la parte del firewall se encuentra las Ips públicas, las cuales mantienen conexión en el caso de realizar pruebas directas desde Visual Studio, uno de los problemas que mantiene al encontrarse la base de datos en la nube de Azure al no encontrarse la Ip de la computadora con la que se encuentra realizando las modificaciones, no se podrá comprobar hasta tener una conexión.



Figura 14. Consumo de espacio e Azure. Graficas de consumos de recursos de Azure.

En esta sección se encuentra el lugar se encuentra la base de datos además del porcentaje de espacio ocupado, su estado, cadena de conexión, id de suscripción.

## 4.2 Desarrollo del aplicativo

Para el aplicativo web se optó por realizar en C# asp.net para ser más específicos Visual Studio 2015 debido a que es un lenguaje ya conocido además de brindar la opción de code behind, es decir, que la programación está oculta para el usuario a pesar de que ingrese a modo desarrollador, brindando una seguridad extra al aplicativo cumpliendo con el pacto de confidencialidad entre médico-paciente de acuerdo con el juramento hipocrático.

La programación de este se encuentra en modelo tres capas (datos, negocios y presentación) dentro de las cuales se mantiene una conexión directa entre cada capa, es decir, la capa de datos mantiene conexión con la de negocios y la de negocios mantiene conexión con la de presentaciones.

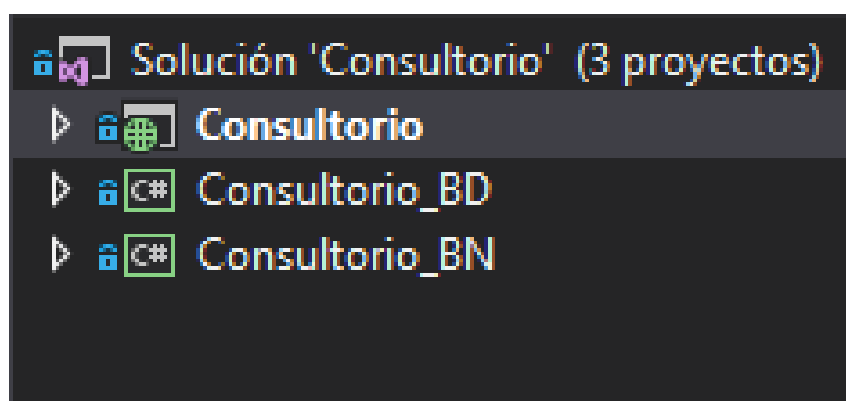


Figura 15. Modelo tres capas. Creación de Capa de Datos, Negocio, Presentación.

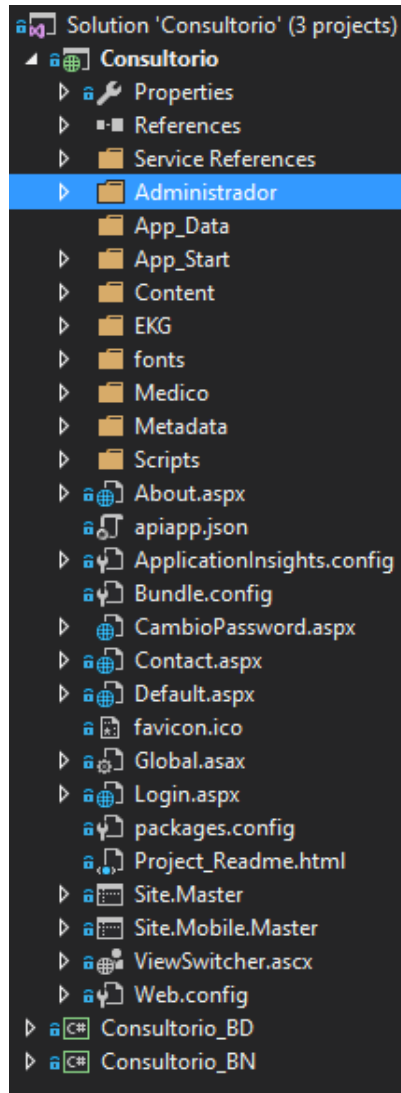


Figura 16. Solution Explorer del aplicativo web. Contenido del Solution Explorer del aplicativo web.

En la capa de datos, mantiene la conexión directa con la base de datos la cual se encuentra en SQL como se detalló en la parte de base de datos.

Para la forma principal, es decir, la forma del login se le asignó como clave predeterminada a cada uno de los médicos a clave (clave 1234), pasado el primer ingreso debe realizar el cambio de esta.

La página principal con la cual el usuario se va a encontrar es el requerimiento de un login para poder acceder a este sistema.

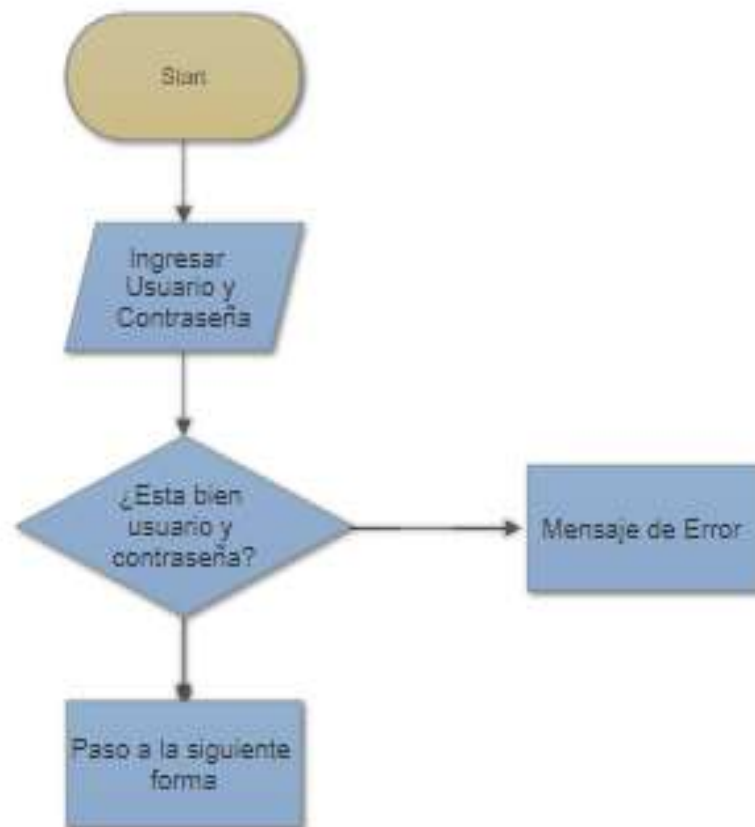


*Figura 17.* Pantalla principal del aplicativo. Pantalla de Inicio del Aplicativo web.

Una vez ingresado al login indicará la introducción del usuario y contraseña, si esta se encuentra errónea mostrará un mensaje de error, caso contrario dará paso a la siguiente forma.

*Figura 18.* Pantalla de ingreso y contraseña. Ingreso de Usuario y contraseña para el Administrador y Médicos.

Se realiza el ingreso de datos, en el caso de ser Administrador no es necesario el cambio de contraseña; si es un Médico que ingresa por primera vez debe cambiar la contraseña para mantener los derechos de confidencialidad.



*Figura 19.* Diagrama de bloques de ingreso a programa. Revisión de usuario y contraseña en la base de datos.

Dentro del login se hace un recorrido en la base de datos mediante el cual determina al usuario y que tipo de acceso mantiene siendo estos de administrador o médico.

### 4.3 Rol de administrador

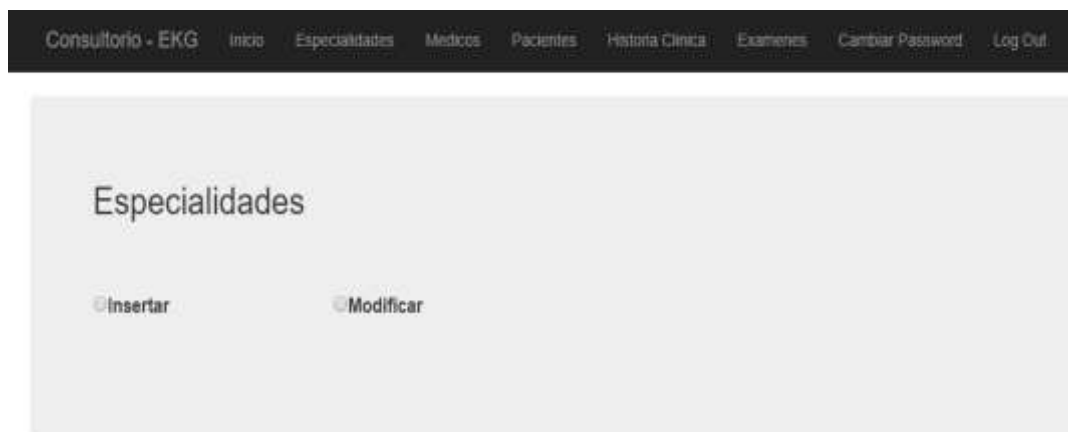
Dentro del rol se puede crear:

- Paciente

- Médico
- Diagnostico
- Historia clínica
- Especialidades

El administrador tiene la opción de: insertar y modificar; la opción de eliminar no se encuentra dentro de las formas tanto para médico como el administrador. La opción “Eliminar” puede generar incongruencias en la base como se muestra en el diagrama entidad relación, todas las tablas mantienen una concreta relación y al eliminar algún registro esta empezará a presentar fallos. Además, por ser médicos, historias clínicas y exámenes médicos, a pesar de salir o no asistir a una clínica todos estos datos deben mantenerse, por lo que en el aplicativo no existe un botón de eliminar.

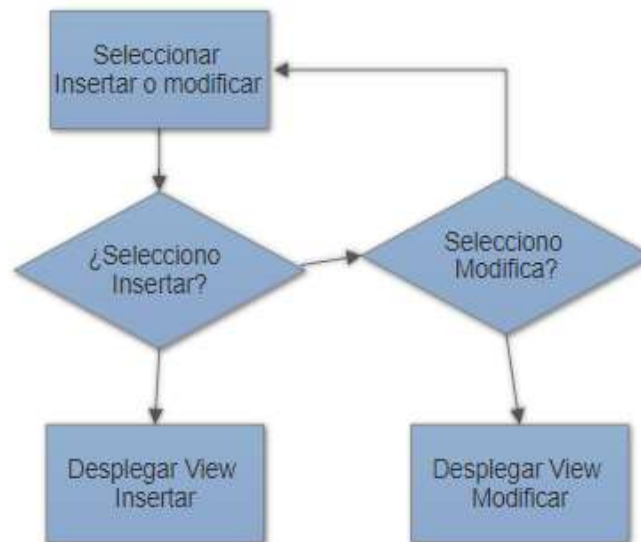
Una de las principales formas se registrará las especialidades existentes para las cuales nos encontramos como primera parte con unos radio button en los que podemos seleccionar si es un ingreso o una modificación, como se indica en la *figura 20*.



*Figura 20.* Pantalla principal del aplicativo como Administrador. Ingreso de Especialidades como administrador.

Al seleccionar una de estas opciones, el programa realizará la siguiente operación:



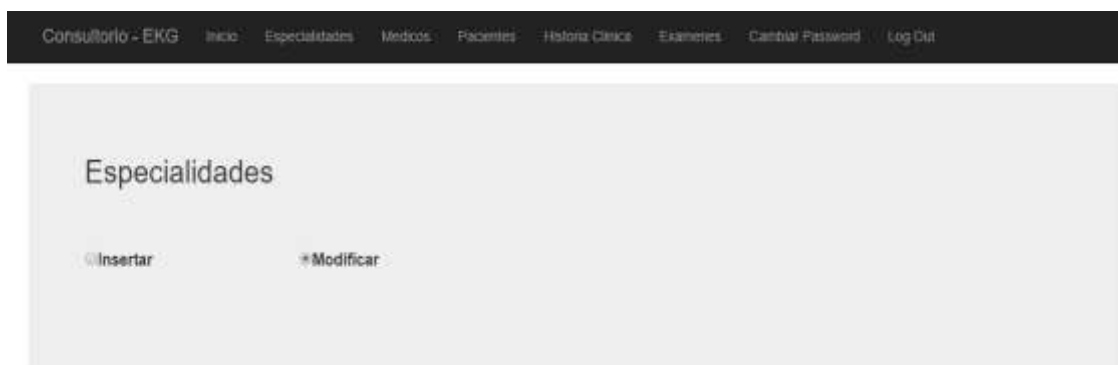


*Figura 21.* Diagrama de bloques entre insertar o buscar. Selección de radiobutton para el despliegue de views.

Una vez seleccionado una de las opciones mencionadas, el usuario visualizará la información respectiva. En el caso de insertar este desplegará el view que tiene los siguientes campos como se observa en la *figura 22*.

*Figura 22.* Ingreso de Especialidad. Despliegue de view a la selección de radiobutton Insertas.

Dentro de la opción modificar mostrará un gridview los datos registrados en la base de datos, los cuales si se desea modificar a una especialidad se dará clic en el botón edit, como se muestra en la *figura 23*.

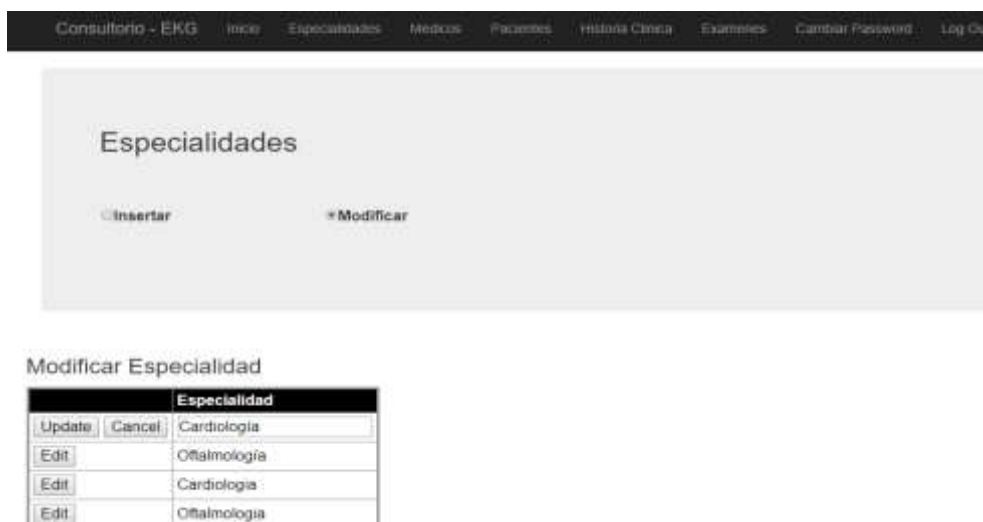


Modificar Especialidad

Especialidad	
Edit	Cardiología
Edit	Oftalmología

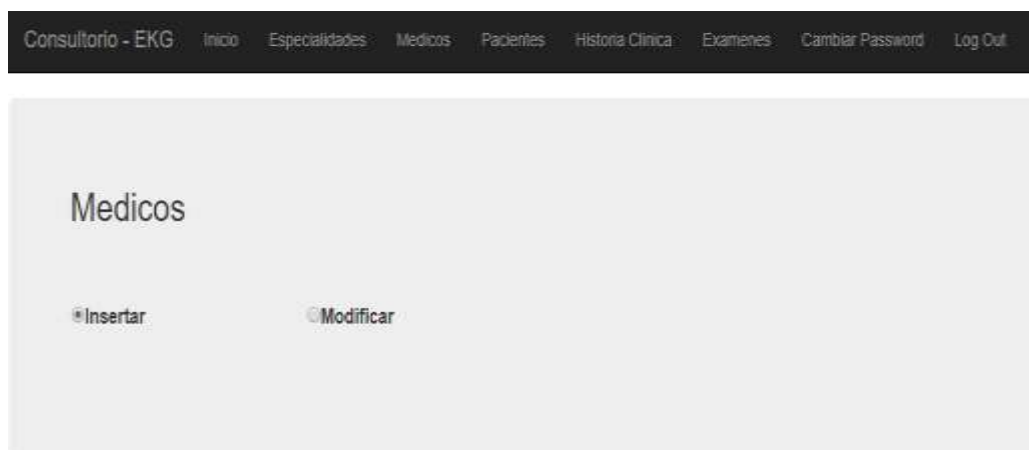
*Figura 23.* Modificación de Especialidades. Despliegue view modificar ante selección de radiobutton Modificar.

Una vez dado clic en el botón edit se desplegarán los botones de modificar y cancelar permitiendo al usuario realizar estos cambios de manera más fácil, como se indica en la *figura 24*.



*Figura 24.* Modificación de Especialidades. Habilitación de botones para la modificación de la Especialidad.

Una vez ingresadas las especialidades, podemos pasar a la siguiente forma que es médico, se podrá realizar la inserción y modificación de los médicos que se encuentren cargados en la base de datos.



*Figura 25.* Pagina Médico. Despliegue de radiobuttons para la selección de modificar o ingresar.

Dentro el view “Insertar”, desplegara los campos para ingresar al médico como se indica en la *figura 26*.



*Figura 26.* Inserción de Médico. Selección de radiobutton insertar y despliegue de campos para el ingreso de datos.

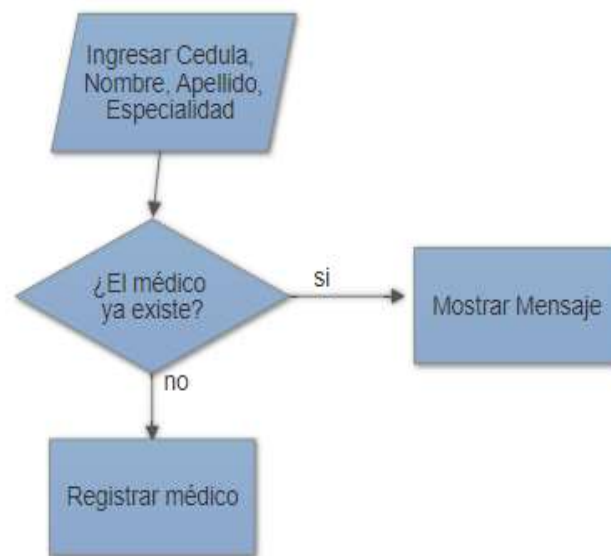


Figura 27. Diagrama de bloques en verificación de Médico. Revisión en la base de datos la existencia de un Médico.

En la parte de especialidad del médico se realizará la carga de la tabla “Especialidades” en el dropdownlist utilizando un SqlDataSource, seleccionamos la tabla y que valores se requiere dentro del dropdownlist. Ya ingresado el médico y en el caso de existir algún error se puede realizar la modificación de este, el cual cargará los cuadros de texto donde estos se encuentren, realizando la misma carga en el dropdownlist, como se indica en la figura 28

	Cedula	Nombre	Apellido	Especialidad
Update	1725059008	Diego	Meja	Cardiología
Edit	1714430152	Coraima	Vaca	Cardiología

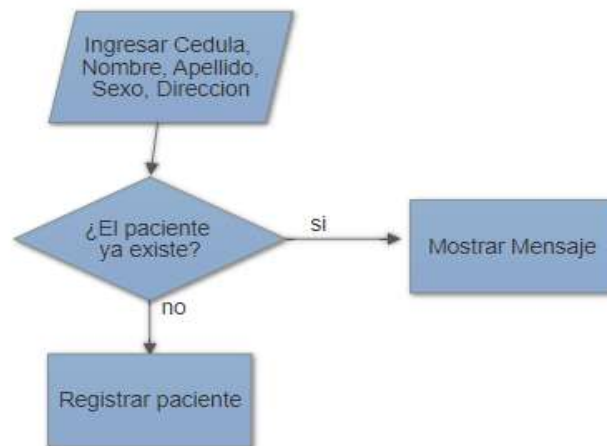
Figura 28. Modificación de Médico. Despliegue de botones para modificación y actualización de Médico.

Teniendo como código lo siguiente:

```
<asp:SqlDataSource ID="SqlDataSource_Médico" runat="server"
ConnectionString="<%$ ConnectionStrings:bd_consultorioConnectionString
%>" DeleteCommand="DELETE FROM [dt_médico] WHERE [id_médico] =
@id_médico" InsertCommand="INSERT INTO [dt_médico] ([cedula_médico],
[nombre_médico], [apellido_médico], [especialidad_médico]) VALUES
(@cedula_médico, @nombre_médico, @apellido_médico,
@especialidad_médico)" SelectCommand="SELECT id_médico, cedula_médico,
nombre_médico, apellido_médico, descripcion_especialidad,
especialidad_médico FROM [dt_médico], dt_especialidad_médico where
especialidad_médico = id_especialidad" UpdateCommand="UPDATE
[dt_médico] SET [cedula_médico] = @cedula_médico, [nombre_médico] =
@nombre_médico, [apellido_médico] = @apellido_médico,
[especialidad_médico] = @especialidad_médico WHERE [id_médico] =
@id_médico" OnSelecting="SqlDataSource_Médico_Selecting">
```

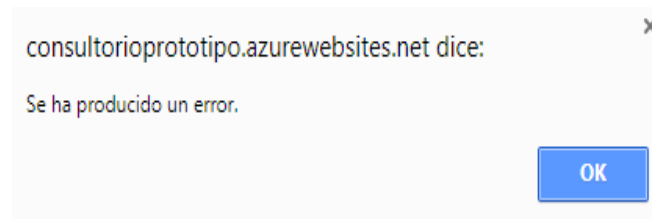
En la forma del paciente, mantiene el mismo formato que del “Médico”, es decir, que para poder ingresar a un nuevo paciente se debe dar clic en el radiobutton “Insertar” permitiendo de esta manera desplegar el view mostrando el contenido como se indica en la *figura 2.3.10*.

**Figura 29.** Ingreso de Paciente. Selección de RadioButton Insertar y despliegue campos para el ingreso paciente.



*Figura 30.* Diagrama de bloques de verificación de Paciente. Verificación en la base de datos si no existe ya el paciente.

En caso de existir ya el paciente mostrará el siguiente mensaje como se indica en la *figura 31*.



*Figura 31.* Mensaje de error en el aplicativo. En el caso de existir el paciente en la base de datos se despliega el mensaje.

Una vez ingresado el paciente, se puede realizar la asignación de una historia clínica, un numero aleatorio de entre 1000 a 9000 siendo este un número único para cada historia clínica, dentro de la forma historia clínica permite generar un numero aleatorio, además de realizar la cada dentro del dropdownlist de la misma manera que se realizó la carga de las Especialidades en la forma del Médico, mediante el uso de SqlDataReader.

**Figura 32.** Asignación de Historia Clínica a paciente. Asignación de historia clínica a un Paciente.

Realizada la asignación de una historia clínica a un único paciente se puede ingresar un examen, siendo el administrador quien realice la carga de este como privilegios de este acceso de acuerdo con la *figura 33*.

**Figura 33.** Ingreso de Examen. Carga de examen por parte del administrador.

Otra de las funciones es realizar el cambio de la clave del administrador, puede realizar el cambio de su contraseña ingresado sus valores en los siguientes campos como se observa en la *figura 34*.

Consultorio - EKG   Inicio   Acerca   Contacto

Cambio de password

Change Your Password

Usuario:

Password:

Nuevo Password:

Confirmar Nuevo Password:

© 2017 - Consultorio - EKG

Figura 34. Cambio de password. Cambio de contraseña para el administrador.

#### 4.4 Rol de Usuario

El usuario sería el médico tratante de cada uno de los pacientes, él puede realizar el ingreso y modificación de paciente, además del ingreso y modificación de un diagnóstico, permitiendo en esta forma observar el examen realizado al paciente además de la fecha hora y la cantidad de exámenes.

Como vista principal tenemos la parte del ingreso el cual muestra la fecha y hora de su último ingreso siendo de la siguiente manera:

Consultorio - EKG   Inicio   Paciente   Diagnostico   Cambiar Password   Log Out

Bienvenido Medico

Ultimo ingreso: 12/19/2017 2:12:45 AM

Figura 35. Ingreso mediante el rol de usuario. Página principal al ingreso del Médico.

Ya ingresado en la parte del médico se puede observar en el menú las opciones dentro de este usuario las cuales son:



- Paciente
- Diagnostico
- Cambiar Password

La forma del paciente se mantiene igual como se encuentra en el rol de administrador como se aprecia en la *figura 36*.

Consultorio - EKG Inicio Paciente Diagnostico Cambiar Password Log Out

Pacientes

»Insertar «Buscar

Ingresar Paciente

Cedula del Paciente  
Nombre del Paciente  
Apellido del Paciente  
Sexo del Paciente  
Direccion del Paciente

Masculino

Ingresar

© 2017 - Consultorio - EKG

*Figura 36.* Ingreso Paciente mediante el rol de usuario. Selección de RadioButton Insertar y despliegue campos para el ingreso paciente.

En la forma del diagnóstico mantiene el formato de los radiobuttons para poder desplegar los view que contienen los campos a ser llenados. La inserción de datos dentro del diagnóstico tenemos como campos el paciente, la historia clínica, el médico que realizó el diagnóstico y si realizó algún examen y la descripción del diagnóstico.

*Figura 37.* Ingreso Diagnostico mediante el rol de usuario. Ingreso de Diagnostico de un Paciente con sus exámenes respectivos.

Para esta forma todos los dropdownlist mantienen un `SqlDataSource` para que realice la extracción de datos de cada uno de los datos respectivos. En la parte de la búsqueda de datos se realizó una consulta mediante la cual se pueda visualizar los nombres completos de los campos, mas no solo las claves foráneas. siendo la consulta la siguiente:

```
<asp:SqlDataSource ID="SqlDataSource_Diagnostico" runat="server"
ConnectionString="<%$ ConnectionStrings:bd_consultorioConnectionString
%>" DeleteCommand="DELETE FROM [dt_diagnostico] WHERE [id_diagnostico]
= @id_diagnostico" InsertCommand="INSERT INTO [dt_diagnostico]
([id_historia_clinica], [id_médico], [id_examen_realizado],
[descripcion]) VALUES (@id_historia_clinica, @id_médico,
@id_examen_realizado, @descripcion)" SelectCommand="select
a.id_diagnostico, b.id_historia_clinica, b.numero_historia,
d.id_paciente, d.cedula_paciente, Paciente = (' + d.nombre_paciente+ '
' + d.apellido_paciente), c.id_médico, Médico = (' + c.nombre_médico
+ ' + c.apellido_médico), e.id_tipo_examen,
e.descripcion_tipo_examen, a.fecha_examen, a.descripcion
```

```

from dt_diagnostico a, dt_historia_clinica b, dt_médico c, dt_paciente
d, dt_tipo_examen e
where a.id_historia_clinica = b.id_historia_clinica and a.id_médico =
c.id_médico and b.id_paciente = d.id_paciente and
a.id_examen_realizado = e.id_tipo_examen" UpdateCommand="UPDATE
[dt_diagnostico] SET [id_historia_clinica] = @id_historia_clinica,
[id_médico] = @id_médico, [id_examen_realizado] =
@id_examen_realizado, [descripcion] = @descripcion WHERE
[id_diagnostico] = @id_diagnostico"
OnSelecting="SqlDataSource_Diagnostico_Selecting">

```

Permitiendo observar los datos de la siguiente manera:

Buscar Paciente

	Fecha Diagnostico	Historia Clinica	Cedula Paciente	Paciente	Medico	Examen	Comentario
Select	12/7/2017 12:00:00 AM	5576	1709846362	Jorge Mejia	Diego Mejia	No se realizo examen	prueba
Select	12/8/2017 12:00:00 AM	7576	1803610185	Jorge Rosero	Diego Mejia	Electrocardiograma	difgdsqdsd sad asdf asd fasdif as
Select	12/8/2017 12:00:00 AM	1611	1714430152	Coraima Vaca	Diego Mejia	Electrocardiograma	Prueba

**Figura 38.** Vista de pacientes en tablas. Visualización historias clínicas con sus respectivos datos.

En este caso la del botón select se utilizará para desplegar la lista de paciente como se indica en la *figura 39*.

Buscar Paciente

	Fecha Diagnostico	Historia Clinica	Cedula Paciente	Paciente	Medico	Examen	Comentario
Select	12/7/2017 12:00:00 AM	5576	1709846362	Jorge Mejia	Diego Mejia	No se realizo examen	prueba
Select	12/8/2017 12:00:00 AM	7576	1803610185	Jorge Rosero	Diego Mejia	Electrocardiograma	difgdsqdsd sad asdf asd fasdif as
Select	12/8/2017 12:00:00 AM	1611	1714430152	Coraima Vaca	Diego Mejia	Electrocardiograma	Prueba

**Figura 39.** Selección de examen por paciente. Selección de paciente para revisión de examen.

## 5. DESARROLLO DE PROTOTIPO

Arduino es una plataforma libre de software y hardware, que permite la creación de dispositivos electrónicos que proveen control sobre los objetos. Arduino funciona sobre un microcontrolador que puede ser programado a por medio de su IDE o a través de archivos de texto, dependiendo de la funcionalidad que se necesite. La IDE de Arduino tiene dos versiones:

- Versión Web: Permite al usuario, la creación de código para cualquier modelo de Arduino. Además, tiene múltiples características, que permite la administración del dispositivo que se esté utilizando. Por otro lado, permite crear una nube de dispositivos, que pueden compartir código y configuraciones.
- Versión Escritorio: Es una plataforma disponible para distintos sistemas operativos, se puede escribir y compilar código, para que la placa Arduino ejecute. A diferencia de la versión Web, las librerías que no forman parte del software base, deben ser incluidas de forma manual.

Las placas Arduino y sus módulos son fáciles de programar ya que su IDE ocupa una versión simplificada del lenguaje C++ para la programación de los microcontroladores. C++ es un lenguaje orientado a objetos que permite la manipulación de la memoria de bajo nivel, lo que lo hace ideal para los microcontroladores.

Arduino funciona en base a pines analógicos y digitales. Cada pin tiene una funcionalidad definida lo que permite explotar todas las características de estos dispositivos, así como también permite la utilización de las distintas librerías creadas como Timers, Servos, Wifi, etc.



Figura 40. Software de Arduino. Aplicativo para generar código.

Para el desarrollo de este prototipo, se usó una placa Arduino UNO R3. Esta placa consta de un microcontrolador ATMEGA 328P perteneciente a la familia de ATMEL. Este microcontrolador permite la ejecución de instrucciones potentes, optimizando el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento.

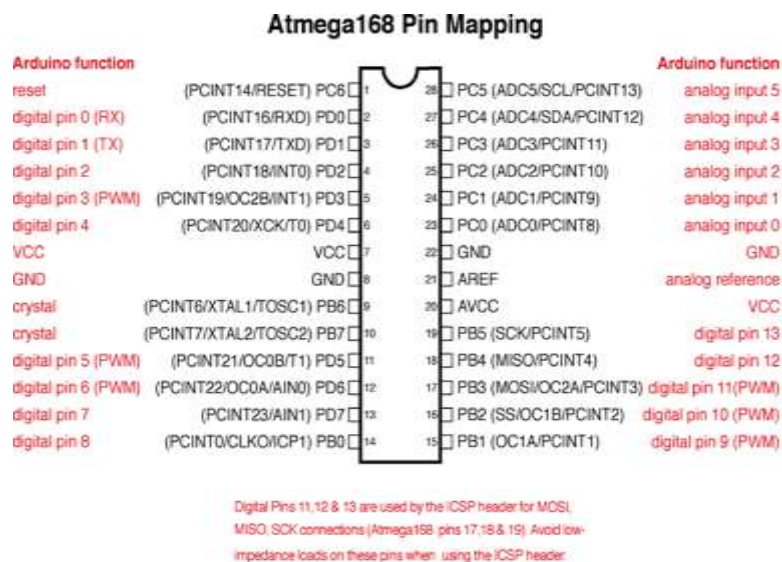


Figura 41. Pines de Atmega 168.

Tomado de (Arduino).

La placa Arduino consta de dos voltajes, uno de 5V y otro de 3.3 V, lo que permite que el resto de dispositivos sean compatibles tanto en voltaje como en intensidad.

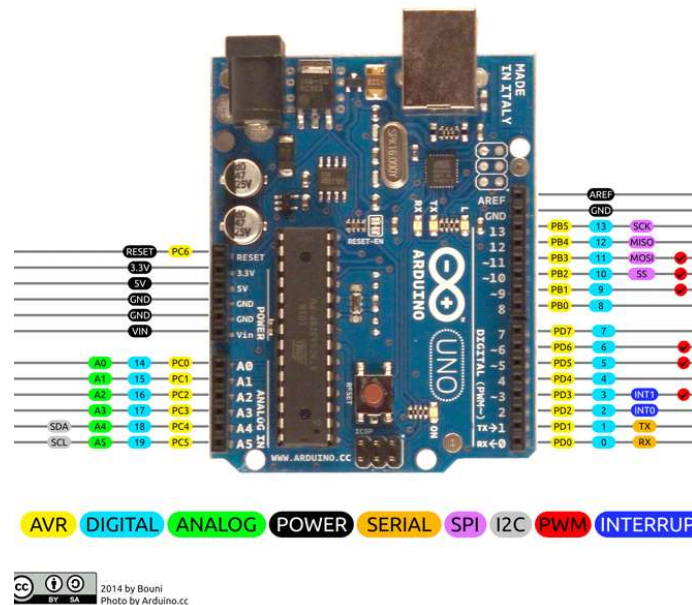


Figura 42. Pines de Arduino Uno.

Tomado de (Arduino).

Además, consta de 5 entradas analógicas las cuales son utilizadas para la recepción de las señales emitidas por los módulos que leen la señal cardiaca. Las entradas digitales de la placa se utilizaron para crear una alarma que permita conocer cuando el examen a finalizado y la información obtenida se encuentre almacenada.

Tabla2.

Características de Arduino Uno R3 Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input (recommended) Voltage	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V

Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Adaptado de (Arduino uno Rev3, s.f.)

La elección de la tecnología a utilizarse para la realización de este prototipo se basó en un análisis comparativo previamente realizado entre distintas tecnologías que permiten realizar esta clase de prototipos. El análisis realizado fue basado en el tipo de datos a transmitirse, el tipo de datos a receptarse y la compatibilidad con los módulos utilizados. El análisis realizado se detalla a continuación mediante un cuadro comparativo entre las tecnologías a observar.

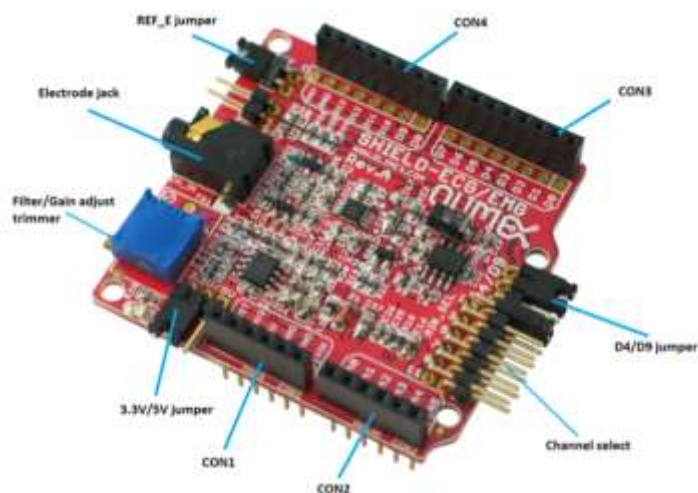
Tabla3

*Tabla comparativa de tecnologías existentes.*

<b>Nombre</b>	<b>Arduino</b>	<b>Raspberry</b>	<b>BeagleBone</b>
Modelo	Uno R3	B Pi	Rev A5
Precio	\$29	\$35	\$89
Procesador	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex A8
Velocidad de Funcionamiento	16 MHz	700 MHz	700 MHz
RAM	2 KB	256 MB	256 MB
Flash	32 KB	(Memoria SD)	4 GB

EEPROM	1 KB	-	-
Voltaje de Entrada	7-12V	5V	5v
Potencia Mínima	42 mA	700 mA	170 mA
Puertos Digitales	14	8	66
Puertos Análogos	6 (10 Bit)	N/A	7 (12 Bit)
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
I2C	2	1	2

Como se puede observar en la tabla anterior, la elección de Arduino se basa en sus características, ya que cumple con los requisitos para recibir la señal cardíaca, procesarla y almacenarla. Para la recepción de la señal, se utilizó un módulo EKG/EMG del fabricante Olimex. Este módulo permite la recepción de la señal mediante tres derivaciones en cada uno de sus módulos, cada placa tiene pines que permiten conectar más módulos del mismo tipo incrementado el número de derivaciones permitiendo que la captura de datos sea más específica.



*Figura 43.* Olimex Modulo ECG.  
Tomado de (Olimex User's Manual).



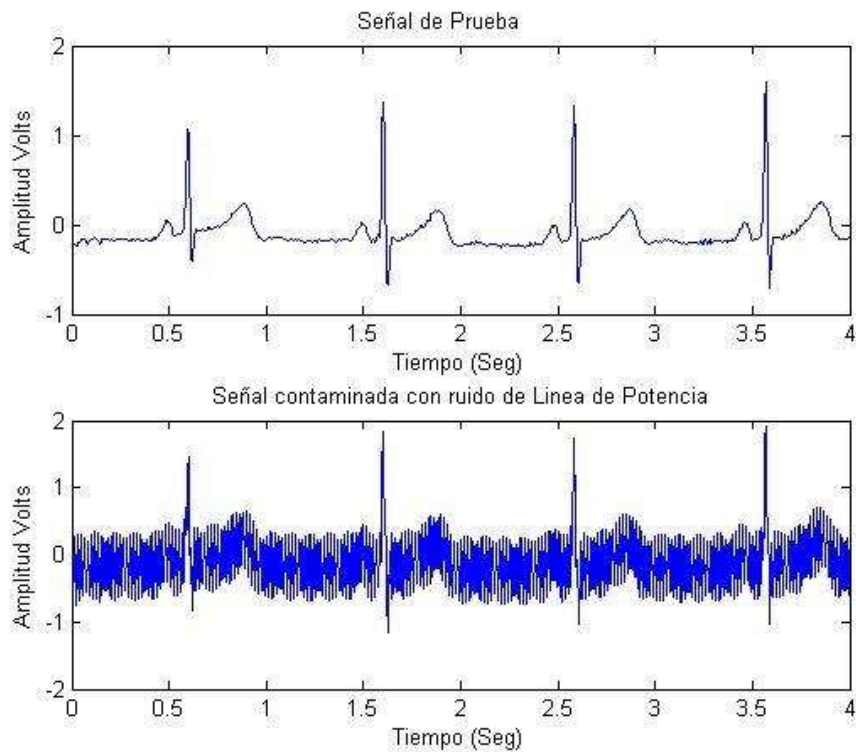
El módulo funciona con los dos voltajes de la placa Arduino que se utilizó, se puede escoger si el pin de control funciona en el pin 4 o pin 9 de la placa. Al ser un módulo analógico es sensible al ruido, por tanto, a la persona que se le realice el estudio debe permanecer en reposo, evitando la captura de ruido.

Pin #	POWER CON1	ANALOG CON2	DIGITAL CON3	DIGITAL CON4
1	RST	A0	D0	D8
2	3.3V	A1	D1	D9
3	5V	A2	D2	D10
4	GND	A3	D3	D11
5	GND	A4	D4	D12
6	Vin	A5	D5	D13
7	-	-	D6	GND
8	-	-	D7	AREF

*Figura 44.* Pines de conexión con Arduino.

Tomado de Olimex User's Manual

Es importante analizar la posición del paciente durante el tiempo del examen. El paciente, se debe retirar todo el equipo eléctrico y cosas de metal que cargue consigo tales como: pulseras, celulares, cadenas, relojes, etc., ya que puede llegar a crear una interferencia en el electrocardiograma que se está realizando en el momento. Una acotación importante es que durante el examen el paciente no debe moverse o hablar y mantener un ritmo respiratorio normal caso contrario esto puede afectar a los resultados del examen.



*Figura 45.* Grafica de electrocardiograma sin ruido y con ruido.

Este módulo consta de un potenciómetro que está incrustado en la placa, permitiendo regular la potencia en caso de que los valores obtenidos no sean los correctos. El módulo ECG tiene una entrada de audio de 3.5 mm por medio del cual se realiza la conexión de los electrodos. Los electrodos que se utilizaron son: electrodos de gel o electrodos normales.

Para el funcionamiento del prototipo se usó electrodos de gel, debido a que son más cómodos para el paciente que se realiza el examen. El gel se utiliza como material aislante, evitando así que el paciente sienta la corriente que puede generar el electrodo. Además, este tipo de electrodo son desechables, es decir, se utilizan una sola vez, mientras que los de tipo ventosa, se los reutiliza luego de desinfectarlos.

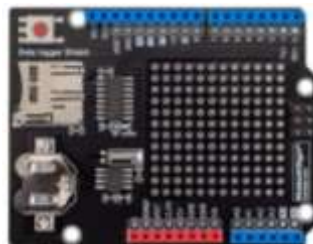
Al utilizar dos módulos ECG, los dos tipos de electrodos se pueden usar para capturar los datos. Los datos recibidos por la placa base son análogos y los

recibe en forma de paquete porque el módulo de 17 bytes contiene los siguientes bytes:

- Sincronización.
- Versión.
- Contador.
- Datos de las 6 derivaciones.
- Interruptor de estado.

El módulo ECG puede ser programado usando como base el programa encontrado en la página web de ECG. Para este caso el programa fue adaptado para el uso de más componentes electrónicos tales como: RTC, SD, Timers, etc.

El RTC o Real Time Clock es un dispositivo electrónico similar a un reloj de computadora que permite obtener la hora real en la que está funcionando el prototipo. Generalmente, estos son circuitos integrados que permiten el control de los dispositivos sobre el tiempo. En este prototipo, se utilizó un RTC integrado en la placa que controla la memoria SD, también conocida como Módulo Data Logger, que permite almacenar datos en la memoria SD utilizando formatos de archivo FLAT y NTFS. Al tener los dos módulos en la misma placa, el diseño del prototipo se vuelve más dinámico y que estéticamente, se vea mejor.



*Figura 46.* Modulo Data Logger.

Tomado de (Robotdyn.com)

La transmisión de la información hacia el servidor FTP se realiza vía WiFi, para esto, se utilizó el módulo ESP8266. Este módulo permite tener conexión a



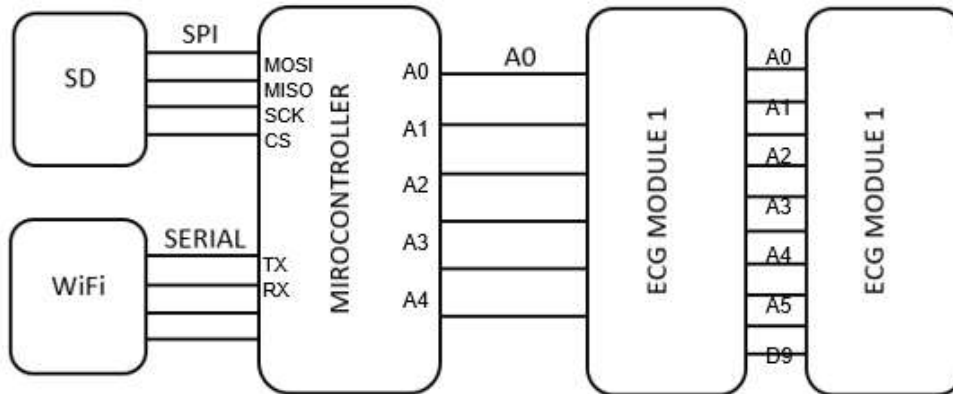


Figura 48. Implementación de módulos para electrocardiograma.

Como se puede observar en el diagrama de bloques, la placa de Arduino es el módulo maestro que controla el funcionamiento del resto de módulos. A continuación, se detalla el funcionamiento del prototipo:

- Las variables se inicializan. Se detalla la velocidad de funcionamiento del Arduino y se inicializan las librerías y servicios.
- Se define el valor del tiempo y se inicializa el Timers que controla el muestreo.
- Se captura el dato enviado por el módulo ECG, se lo cambia de formato.
- Se crea el archivo que almacenara los datos enviados por el módulo ECG.
- Se almacena el dato capturado.
- Se verifica si se debe detener el Timers en ejecución.
- Finalizada la captura, se enciende la alarma para notificar el fin del examen.
- Se envía el dato al módulo WiFi para que coloque el archivo en el servidor FTP.

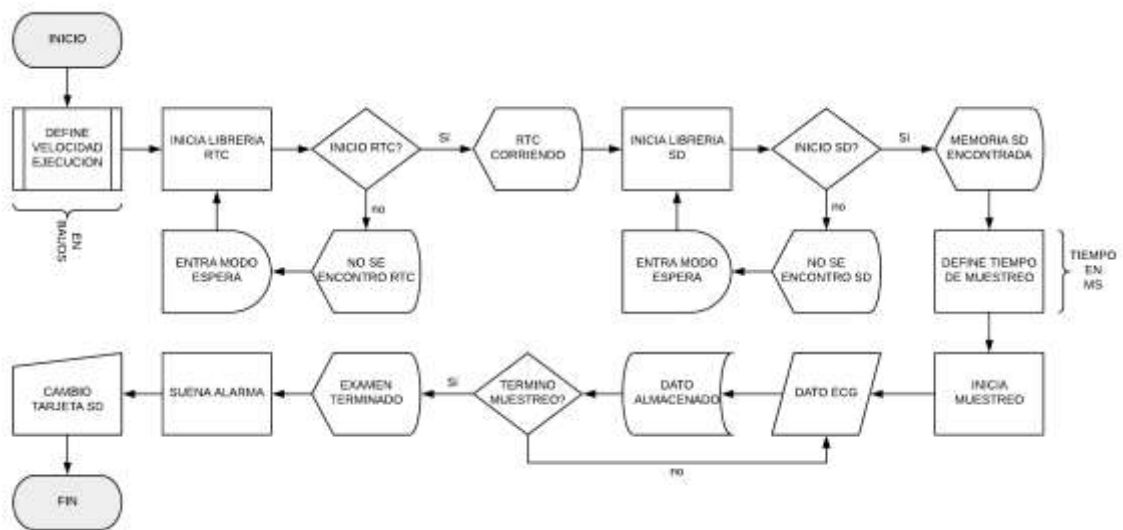


Figura 49. Diagrama de bloques del funcionamiento de Arduino.

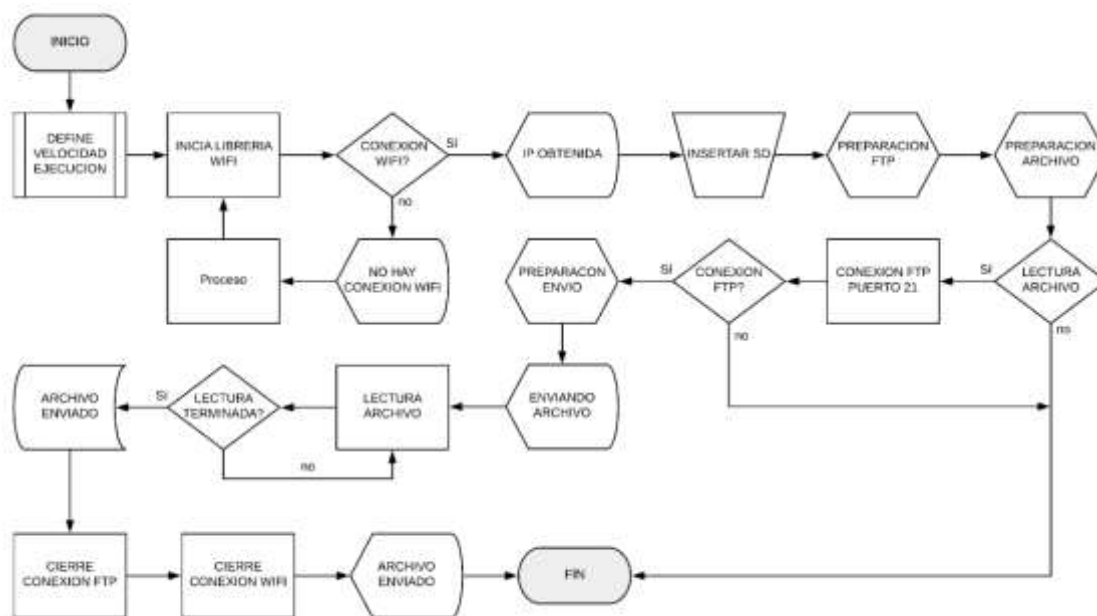


Figura 50. Diagrama de bloques del funcionamiento de WiFi.

## 6. PRUEBAS Y RESULTADOS

La funcionalidad del prototipo fue comprobada mediante la realización de distintas pruebas las cuales se presentan en los puntos del presente capítulo.

Para las pruebas de energía, se realizó un cálculo de tiempo en base al amperaje utilizado por las placas y módulos utilizados. Para el cálculo, se tomaron en cuenta los siguientes valores:

- Arduino: 50 mA
- DataLogger: 40 mA
- Módulo ECG: 80 mA
- ESP8266: 200 mA (durante envío) 35 mA (durante stand-by)
- Memoria SD: 55 mA

El prototipo tiene un consumo estipulado de 710 mA mientras se envían y un 260 mA mientras esta en stand by el prototipo. Para saber la energía requerida para que el sistema funcione con normalidad, se debe realizar el cálculo basándose en el tiempo requerido para realizar el examen. En esta investigación, no se implementó un tiempo específico de duración, por lo que se consideró una batería que sea igual o mayor a 1000 mA.

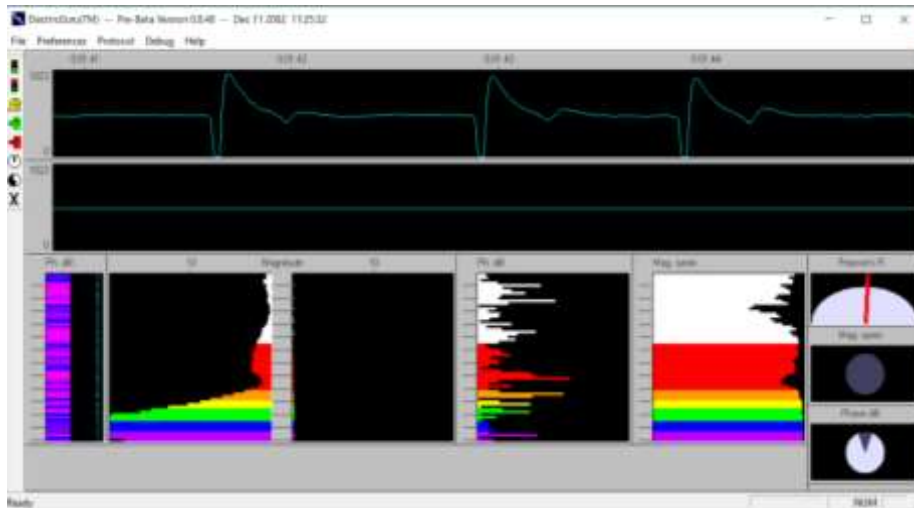
Se realizó pruebas con una batería PowerBank de 2200mAh de capacidad y los tiempos son:

- Prueba de capacidad: Se controló el tiempo de encendido. El tiempo de envío y se encontró que la energía había reducido al 75% luego de una hora de encendido.
- Prueba de duración: Se tomó el tiempo de duración de la batería conectada al prototipo y se validó que la capacidad de energía reduce en un 65% luego de la primera hora cuando el módulo WiFi se encuentra conectado y ejecutándose.

Para las pruebas de funcionamiento del prototipo, se realizaron cuatro pruebas, mismas que se detallan a continuación.

Para la primera prueba, se utilizó el software ElectricGuru. Este software está diseñado para visualizar la señal obtenida. En esta prueba, se utilizaron tres derivaciones que permitieron obtener la señal cardiaca. Antes de realizar la

prueba, se procedió a limpiar la piel de la persona para poder eliminar cualquier impureza que afecte la conducción eléctrica. Además, se pidió que evite moverse para no adquirir interferencias.

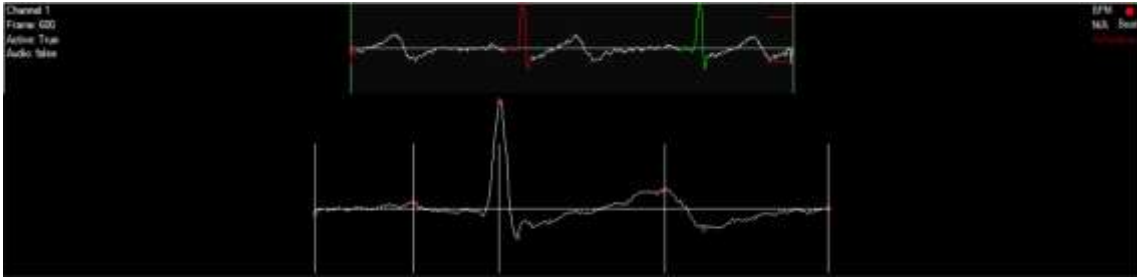


*Figura 51.* Grafica de Electrocardiograma hecha en ElectricGuru.

Como se puede observar en la figura anterior, la señal es graficada en tiempo real mediante la conexión del prototipo hacia la computadora utilizando una conexión USB. El programa utilizado en el prototipo fue el programa base que se encuentra en la página web del módulo ECG. Esta prueba se realizó con el fin de validar el funcionamiento de la captura de datos y de los módulos ECG utilizados.

Se realizó otra prueba al prototipo esta vez utilizando un nuevo software de representación de señales. El software utilizado fue diseñado por James Delaney y está basado en lenguaje C#. Este software al igual que ElectricGuru, permite graficar las señales obtenidas a través de los puertos COM. Para esta prueba, se diseñó un código que almacene el valor del dato capturado y que era enviado a través de la comunicación USB. Como se puede ver en la figura a continuación, la gráfica representa un segmento del electrocardiograma realizado. La prueba se la realizó a la misma persona de la primera prueba para poder realizar una comparación a nivel de código para evitar desfases a la gráfica obtenida.



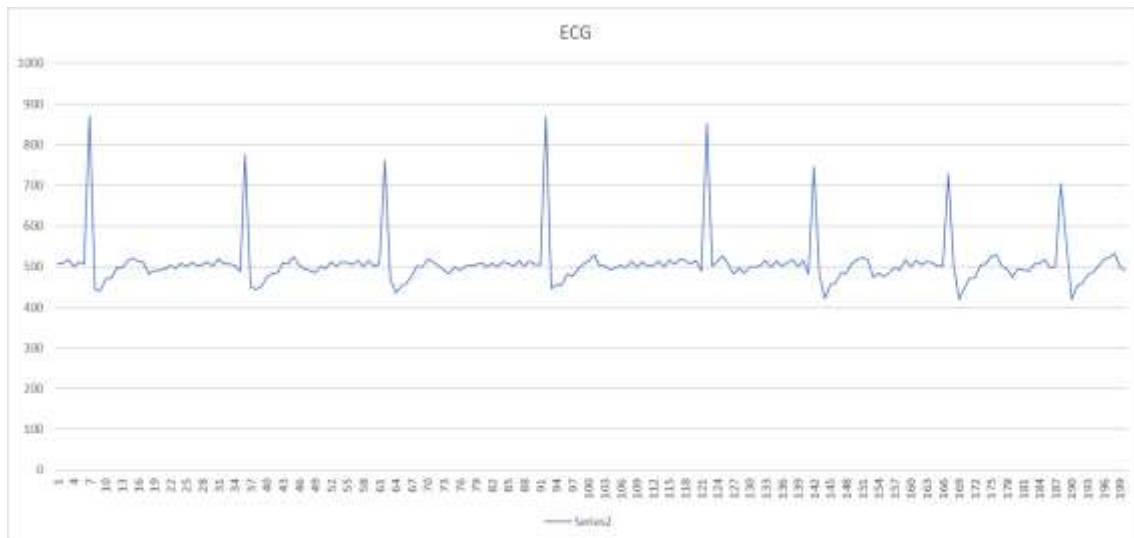


*Figura 52.* Grafica de Electrocardiograma hecha en programa de James Delaney.

Se realizó una nueva prueba al prototipo esta vez utilizando la función de almacenamiento de datos del prototipo. Para este caso, se utilizaron 6 derivaciones y se lo realizó a la misma persona de las pruebas anteriores.

En la prueba, el prototipo ya no fue conectado a la computadora ya que estaba programado para recibir los valores tomados y guardarlos en un archivo de tipo CSV (Comma-Separated Values) dentro de una memoria SD. Este tipo de archivos permiten almacenar datos separados por comas, lo que lo hace el tipo de archivo ideal para la lectura y escritura de datos obtenidos en un muestreo. Una vez almacenados los datos y terminado el examen, se procedió a retirar la memoria SD e insertarla en una computadora para poder evidenciar el almacenamiento de datos.

Para esto, se abrió el archivo con el programa Microsoft Excel 2016. Excel permite leer y escribir sobre archivos de tipo CSV. Para validar la obtención de datos, se insertó un gráfico en el programa, mismo que permitió evidenciar que los datos se almacenaban de forma correcta y que la gráfica era igual a la señal obtenida en las pruebas anteriores.



*Figura 53.* Grafica de Electrocardiograma hecha en Excel.

Como se puede ver en la figura anterior, la gráfica obtenida muestra una señal cardíaca muy similar a la señal obtenida en las pruebas uno y dos. La señal mostrada se encuentra basada los datos capturados en milisegundos.

Luego de verificar que los datos se reciben y se almacenan de manera correcta, se procedió a realizar una nueva prueba. Esta última se la realizó utilizando el sistema creado por los autores del documento, mismo que se detalla y explica anteriormente. La grafica se la realiza utilizando código JavaScript y sus librerías y los datos obtenidos para realizar la gráfica, son los datos que se descargan del servidor FTP, ya que el prototipo coloca el archivo de muestras en dicho servidor una vez concluido el examen.

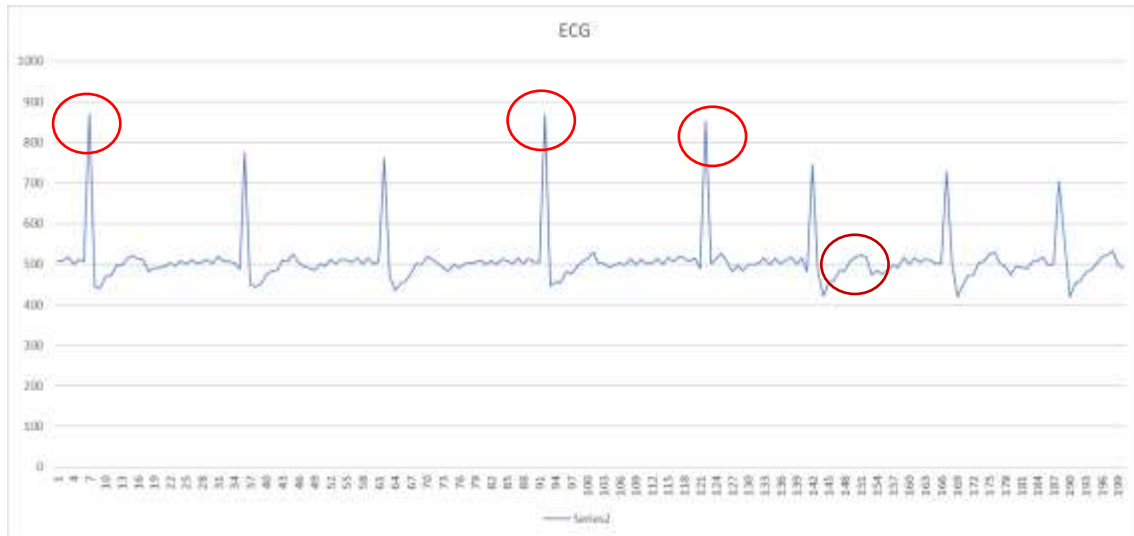
En esta prueba, el prototipo fue conectado a una fuente de voltaje de 9V y se utilizaron 6 derivaciones para la toma de muestras. El tiempo de muestreo fue de 20 milisegundos, es decir, se recibió una señal cada 20 milisegundos. Hay que tener en cuenta que el tiempo de muestro se debe adaptar a las instrucciones que se ejecutan en el microcontrolador. Esto implica que cualquier instrucción que sobrepase los 20 milisegundos, retrasaría la toma de datos necesarios para realizar la gráfica.



*Figura 54.* Grafica de Electrocardiograma hecha en el aplicativo.

Como se puede observar en la figura anterior, la gráfica es muy similar a las obtenidas en las pruebas anteriores, tomando en cuenta que las muestras se encuentran capturadas en milisegundos. Al ser un prototipo de captura de datos de ECG, el margen de error no debe superar del 10 por ciento ya que, al ser datos en extremo sensibles, la precisión debe ser muy alta. Cabe recalcar que no se realizaron las cuatro pruebas el mismo día, pero si fue realizada a la misma persona que se ha realizado las demás pruebas. Esto con el fin de poder realizar una correcta comparación.

Para una mejor compresión y validación, se validó el electrocardiograma realizado mediante la utilización del prototipo, en el centro de cardiología del SIME – USFQ. De acuerdo con lo conversado con el experto en el tema, el electrocardiograma puede ser usado para tener una referencia clara del funcionamiento del corazón del paciente, pero aún no puede ser considerado un electrocardiograma de tipo médico. Esto debido a que, al generar el examen, la información obtenida se almacena con ruido, lo que produce alteraciones en las líneas del electrocardiograma.

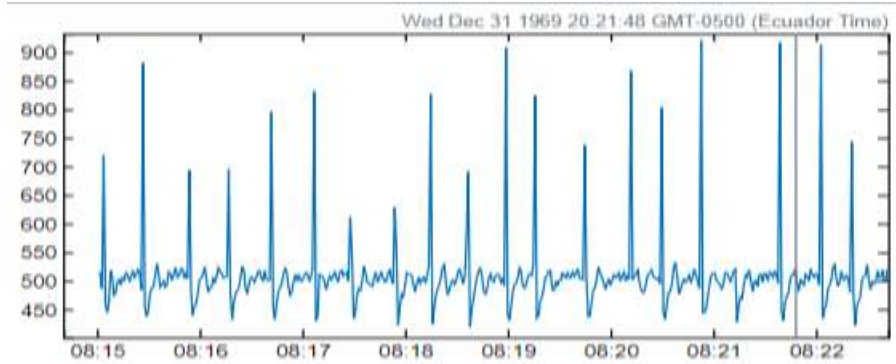


*Figura 55.* Grafica de Electrocardiograma hecha en Excel en base a datos tomados.

Como se puede ver en la figura anterior, se detallan algunos ejemplos que, según el experto en el campo, se puede apreciar el ruido generado que se almacena en los datos capturados. Las gráficas y puntos de derivación se revisaron de acuerdo a lo indicado por el libro “APRENDER A INTERPRETAR EL ELECTROCARDIOGRAMA” de Javier Montero, en conjunto con el experto.

Una vez concluido la fase de pruebas y experimentación, se encontraron otras formas de envío de datos para que puedan ser representados a través de una gráfica. Se realizaron pruebas utilizando la página ThingSpeak y sus múltiples opciones para graficas. Esta página permite la interpretación de datos de distintos aplicativos ya que está diseñada para la recolección y análisis de datos IoT.

Como se puede ver a continuación, se realizó el envío de datos desde el prototipo hacia la página directamente, obteniendo el siguiente resultado.



*Figura 56.* Grafica de Electrocardiograma hecha en ThingSpeak.

Como se puede ver en la figura anterior, el prototipo puede ser utilizado en este tipo de páginas para la creación de graficas en tiempo real sin la necesidad de tener una conexión USB. La grafica mostrada anteriormente fue realizada utilizando Código MatLab y la muestra fue obtenida de la misma persona que ha participado en las pruebas anteriormente detalladas.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

El prototipo al no ser realizado con equipos homologados, su resultado puede ser tomado como un examen referencial.

Para que mantenga una similitud con un electrocardiograma con equipos médicos debe existir más derivaciones en el prototipo.

A pesar de evitar la generación del ruido existe la posibilidad de generarlo sea este por los módulos y por factores externos, es decir, por el movimiento del paciente o por al momento de ser guardado en el documento.

Al momento del desarrollo del prototipo se encontró tecnologías las cuales permitían agregar mayores funcionalidades a las ya existentes del prototipo.

El prototipo no es autónomo ya que para realizar él envió de datos el cambio del módulo SD se lo realiza manualmente.

### **7.2 Recomendaciones**

El aplicativo no debe ser usado en dispositivos móviles (tablets, celulares) ya que estos pueden ser robados o extraviados y se pueden romper códigos de confidencialidad.

Realizar cambios de contraseñas periódicas.

Tomar medidas preventivas de tal manera que durante el examen disminuya la transmisión de ruido.

La persona a realizarse el examen no tenga relojes, pulseras, tobilleras que interfieran en la señal, además de mantenerse en el examen quietos evitando la generación de ruido.

La persona a realizarse el examen mantenga un periodo de calma de aproximadamente 10 minutos antes del examen.

Se puede mejorar la interfaz que se usa para mostrar la gráfica.

Se puede implementar tecnología bluetooth que permita él envió de datos a dispositivos móviles.

## REFERENCIAS

- Ballesteros, D. M., Melo, H. E., & Maya, A. (2010). Sistema de implementación inalámbrica ECG y temperatura para ambientes hospitalarios (SINHO). *Revista Ingeniería Biomédica*, 4(7), 55–63.
- Celik, N., Gagarin, R., Huang, G. C., Iskander, M. F., & Berg, B. W. (2014). Microwave Stethoscope: Development and Benchmarking of a Vital Signs Sensor Using Computer-Controlled Phantoms and Human Studies. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(8), 2341–2349.
- Franco Salazar, G. (2005). EKGweb, Las derivaciones del electrocardiograma. *Red de Salud de Cuba*. Recuperado el 25 de junio del 2018 de [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco\\_02.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco_02.pdf)
- Geddes, L. A., Voelz, M. H., Babbs, C. F., Bourland, J. D., & Tacker, W. A. (2007, Enero 30). Pulse Transit Time as an Indicator of Arterial Blood Pressure. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8986.1981.tb01545.x>
- Gualteros, J. D. (2016). Prototipo Ecg Con Transmision De Informacion a Dispositivos Android, 20. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2843>
- Guerra, J. L. G., & Perez, A. F. (1847). Implementación de un módulo de consulta y medición de ritmo cardiaco con envío de datos GSM usando Open Hardware.
- Hui, X., & Kan, E. C. (2018). Monitoring vital signs over multiplexed radio by near-field coherent sensing. *Nature Electronics*, 1(1), 74–78
- J. (2013, Agosto 11). Jamesrdelaney/Arduino. Recuperado el 25 de junio del 2018 de [https://github.com/jamesrdelaney/Arduino/tree/master/ECG Monitoring Software/FreeHC\\_29052013\\_Share/FreeHC/FreeHC](https://github.com/jamesrdelaney/Arduino/tree/master/ECG%20Monitoring%20Software/FreeHC_29052013_Share/FreeHC/FreeHC)
- Karthi, A., Rajendran, R., & Mathiarasan, P. (2017). Smart health surveillance with automated database using android mobile device. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60(December), 1–13.
- Latarjet, M., & Liard, A. R. (2005). *Anatomía humana*. Buenos Aires: Panamericana.
- Li, K., Holden, D., & Olin, T. (2010). ANALOGUE ELECTRONICS Heart Rate Monitor.

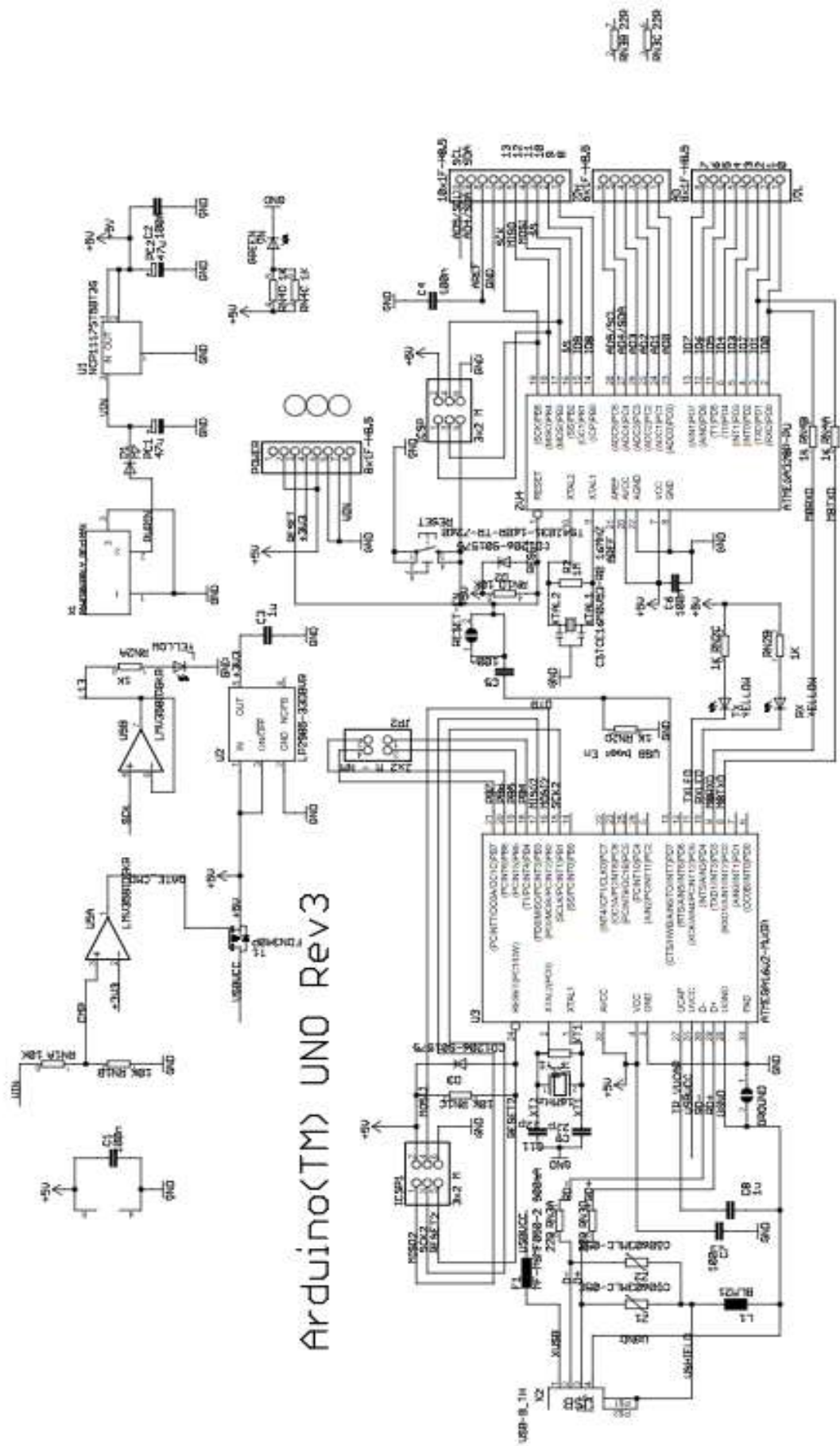
- Li, C., Lubecke, V. M., Boric-Lubecke, O., & Lin, J. (2013). A Review on Recent Advances in Doppler Radar Sensors for Noncontact Healthcare Monitoring. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61(5), 2046–2060.
- Mallick, B., & Patro, A. K. (2016). International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). *Heart Rate Monitoring System Using Finger Tip Through Arduino and Processing Software*, 5(1), 84–89.
- Olimex. (2015). Shield EKG-EMG - Open Source Hardware Board, (June). Recuperado de <https://www.olimex.com/Products/Duino/Shields/SHIELD-EKG-EMG/resources/SHIELD-EKG-EMG.pdf%0Ahttps://www.olimex.com/Products/loT/ESP8266-EVB/open-source-hardware>
- Patel, P. (2017, Noviembre28). Simultaneous Touchless Monitoring of Several Patients' Vital Signs. Recuperado de <https://spectrum.ieee.org/the-human-os/biomedical/diagnostics/touchless-monitoring-of-vital-signs-of-several-patients-at-once>.
- Patterson, R. P. (1989, Marzo). Fundamentals of impedance cardiography - IEEE Journals & Magazine. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/32403>
- Pozas Garza, G. (2008). El electrocardiograma normal. *Educación Médica*, 9(26), 38–42.
- Strickland, E. (2017, Septiembre 21). Smartphone Heart Monitor Beats Doctors at Diagnosing Atrial Fibrillation. Recuperado de <https://spectrum.ieee.org/the-human-os/biomedical/diagnostics/heart-monitor-for-your-phone-beats-doctors-at-diagnosing-atrial-fibrillation>.
- Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M., & Yoshida, M. (2014). Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present. *Electronics*, 3(2), 282–302.
- Tortosa Gereald. Desrickson, B. (2006). Anatomía y Fisiología del Corazón Pericardio y las Capas de la Pared Cardíaca Cámaras Cardíacas. *Principios de Anatomía y Fisiología*, 1(2), 6.
- Understand Your Things. (s.f.). Recuperado de <https://thingspeak.com/>
- Villarreal F, M. J., & Villarreal G, C. H. (2014). Wireless smart environment in Ambient Assisted Living for people that suffer from cognitive disabilities. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 22(2), 158–168.



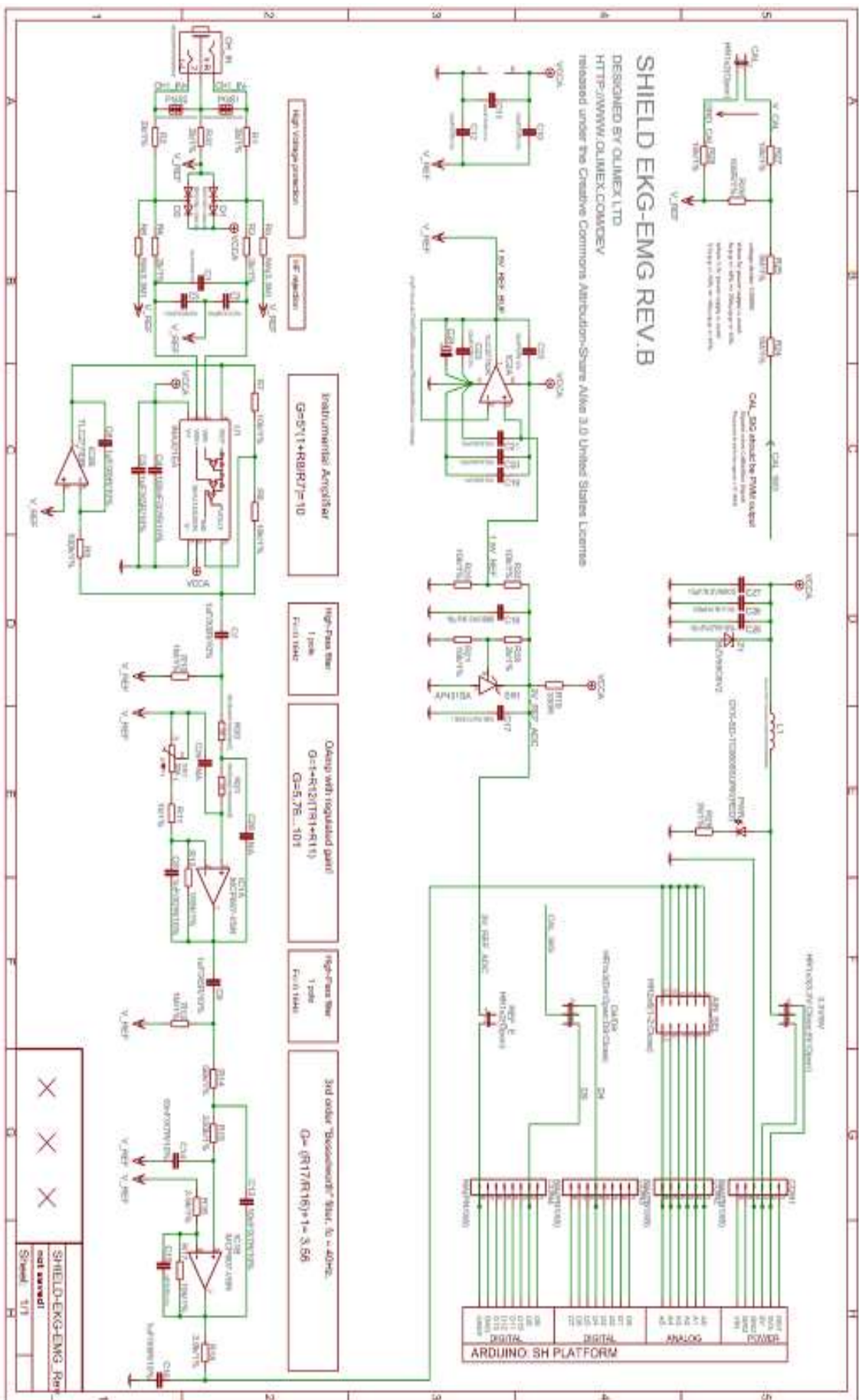
Woo, J., & Min, S. (2016). Semi heuristic optimization off search algorithm for satellite broadcasting receiver: Reducing channel setting time. In *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics, ICCE 2016* (pp. 555–556).

## **ANEXOS**

# Anexo1



# Anexo2



# Anexo3

## THE DEFINITIVE ARDUINO UNO PINOUT DIAGRAM

