



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

Monitoreo y análisis de datos en tiempo real en clases de Medicina:
Automatización del SimMan 3G Plus mediante IoMT en el Laboratorio de
una Institución de Educación Superior

AUTOR

Alvarez Quinteros, Edinson Richard

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR

Recalde Lino, Ángel Andrés

Santa Elena, Ecuador

Año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Ángel Recalde Lino, Ph.D.
TUTOR**

**Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

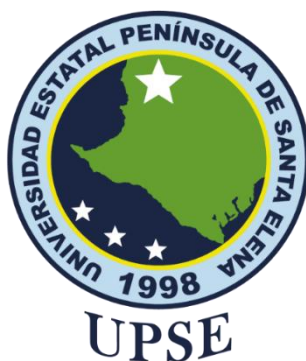
CERTIFICACIÓN

Certifico que, luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por EDINSON RICHARD ALVAREZ QUINTEROS, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización.

TUTOR

Ing. Ángel Recalde Lino, Ph.D.

Santa Elena, 24 de octubre de 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Edinson Richard Alvarez Quinteros**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, "Monitoreo y análisis de datos en tiempo real en clases de Medicina: Automatización del SimMan 3G Plus mediante IoMT en el Laboratorio de una Institución de Educación Superior" previo a la obtención del título en Magíster en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 24 de octubre de 2025

EL AUTOR

Edinson Richard Alvarez Quinteros



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado "Monitoreo y Análisis de Datos en Tiempo Real en Clases de Medicina: Automatización del SimMan 3G Plus mediante IoMT en el Laboratorio de una Institución de Educación Superior" presentado por el estudiante, Edinson Richard Alvarez Quinteros fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud menor al 1%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS magister		
Tesis - Edinson Richard Alvarez Quinteros		< 1% Textos sospechosos
		0% Similitudes 0% similitudes entre comillas 0% entre las fuentes mencionadas
		0% Idiomas no reconocidos
		23% Textos potencialmente generados por la IA (Ignorado)
Nombre del documento: Tesis - Edinson Richard Alvarez Quinteros.pdf ID del documento: 5dda289f724042d7584d8fcd97ed9f44c8c005db Tamaño del documento original: 1,59 MB	Depositante: ANGEL ANDRES RECALDE LINO Fecha de depósito: 14/9/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 14/9/2025	Número de palabras: 12.612 Número de caracteres: 93.633

TUTOR

Ing. Ángel Recalde Lino, Ph.D.



UPSE
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO

AUTORIZACIÓN

Yo, Edinson Richard Alvarez Quinteros

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 24 de octubre de 2025

EL AUTOR

Edinson Richard Alvarez Quinteros

AGRADECIMIENTO

Con profundo sentimiento de gratitud, deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las personas que han sido el motor y la inspiración en este camino académico y personal.

En primer lugar, a mis padres, quienes, con su amor incondicional, comprensión y ejemplo de vida, han sido el faro que ilumina cada uno de mis pasos. Su apoyo constante y sus palabras de aliento se han convertido en la fuerza que impulsa mi ser. A mi futura esposa, por su paciencia, motivación y compañía incansable; por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre y mi alegría en los instantes de triunfo. A mis hermanos, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, recordándome siempre la importancia de la unión, el esfuerzo y la perseverancia. De manera especial, agradezco a mi tutor, cuya guía y orientación han sido determinantes en la culminación de este trabajo, aportándome no solo conocimientos, sino también la confianza necesaria para alcanzar mis objetivos. Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera estuvieron presentes en este proceso, mi eterno agradecimiento.

Edinson Richard, Alvarez Quinteros

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a mis padres, por ser el cimiento de mi vida y el ejemplo más grande de amor y sacrificio.

A mi futura esposa, compañera de sueños y proyectos, quien con su apoyo y comprensión me inspira a seguir adelante.

Y a mis amigos leales, que con su presencia, compañía y aliento me acompañaron en cada etapa de este recorrido, haciéndolo más llevadero y significativo.

Edinson Richard, Alvarez Quinteros

ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA.....	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Revisión de literatura	5
1.2. Desarrollo teórico y conceptual	7
1.2.1 El corazón	7
1.2.2 SimMan 3G PLUS	12
1.2.3 Internet de las Cosas (IoT).....	13
1.2.4 Internet de las Cosas Médicas (IoMT).....	14
1.2.5 Diseño del Corazón Artificial	14
1.2.6 Gateway	15

1.2.7 Funcionamiento de un servo motor	15
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	16
2.1. Contexto de la investigación	16
2.2. Diseño y alcance de la investigación	17
2.2.1. Diseño de la investigación	17
2.2.2. Alcance de la investigación	18
2.3. Tipo y métodos de investigación.....	18
2.4. Población y muestra	18
2.5. Instrumentos de aplicación del proyecto.....	19
2.5.1. Sistema de alimentación	19
2.5.2 Sistema de comunicación para la adquisición de datos	21
2.5.3 Arduino IOT Cloud.....	24
2.5.4 Codificación Arduino	25
2.5.5 Conexión física de equipos y alimentación del sistema	26
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.....	27
2.6.1. Operabilidad del sistema.....	27
2.6.2. Configuración Emergent.....	30
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1. Conexión física y configuración de adquisición de datos	31
3.1.1 Diseño del prototipo.....	33
3.1.2 Impresión del prototipo.....	35
3.1.3 Conexión a Internet y adquisición de datos	35
3.2. Conexión a Arduino IOT Cloud.....	37
3.3. Implementación de protocolos	38
CONCLUSIONES	45

RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS	47
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros del corazón artificial	19
Tabla 2 Características principales del ESP8266.....	21
Tabla 3 Características principales del Servomotor SG90	23
Tabla 4 Tiempos de simulación del ECG en Arduino IoT Cloud.....	28
Tabla 5 SimMan 3G Plus vs Prototipo de Simulador Cardiovascular.....	31
Tabla 6 Variables asignadas para Sketch.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exterior del corazón con venas y arterias.....	7
Figura 2. Partes principales del corazón	9
Figura 3. Miocardiopatía del corazón con un corazón sano, dilatado e hipertrofiado...	10
Figura 4. Visualización de una estenosis aortica	11
Figura 5. Clínica de simulación de Universidad Espiritu Santo SIMUEES.....	16
Figura 6. Clínica de simulación de Universidad Espiritu Santo SIMUEES.....	17
Figura 7. Fuente de alimentación portable	20
Figura 8. Pinout del microcontrolador ESP8266	22
Figura 9. Micro-Servomotor y sus partes	24
Figura 10 Arduino IOT Cloud	24
Figura 11 Dashboard de Arduino IOT Cloud	26
Figura 12. Circuito ESP866 y Servomotor	27
Figura 13 Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo	29
Figura 14 Diseño de aplicación en Emergent	30
Figura 15. Diseño del corazón artificial	34
Figura 16. Diseño de canales para cableado del circuito electrónico	34
Figura 17. Impresión 3D del prototipo	35
Figura 18. Configuración Wi-Fi del ESP8266	35
Figura 19. Autenticación de credenciales para comunicación en tiempo real	36
Figura 20. Verificación del estado del ESP8266 tiempo real.....	36
Figura 21 Arduino IOT Agent	37
Figura 22 Configuración Network Credentials & Secret Key.....	38

Figura 23 Diseño del Dashboard	39
Figura 24 Simulación de Insuficiencia cardiaca en Arduino IoT Cloud	40
Figura 25 Simulación de Miocardiopatía en Arduino IoT Cloud.....	41
Figura 26 Simulación de Estenosis en Arduino IoT Cloud	41
Figura 27 Simulación de Insuficiencia Valvular en Arduino IoT Cloud.....	42
Figura 28 Simulación de fallas cardiovasculares en Emergent	42
Figura 29 Simulación de falla “Insuficiencia Cardiaca” en Emergent	43
Figura 30 Resultados de Test según el ECG.....	43
Figura 31 Resultados de Test del Prototipo según el ECG.....	44

RESUMEN

Este trabajo busca darle un giro más realista al entrenamiento médico, integrando la tecnología IoMT en el simulador SimMan 3G Plus dentro de una universidad. La idea central es simple, pero poderosa: incorporar funciones capaces de detectar y diagnosticar fallas cardiovasculares al instante, algo que en la práctica clínica puede marcar la diferencia.

Para lograrlo, se diseñó un sistema de comunicación en la nube con microcontroladores y sensores, capaz de recopilar y procesar datos en tiempo real. Como parte del proyecto, se armó un prototipo de corazón artificial controlado por Arduino y enlazado a la plataforma IoMT, lo que permitió monitoreo e interacción a distancia.

Los resultados fueron claros: las simulaciones ganaron en precisión y análisis, y los estudiantes pudieron entrenar de una manera más cercana a la realidad médica. En conclusión, sumar IoMT a estos simuladores eleva la calidad del aprendizaje y prepara mejor a los futuros profesionales.

Palabras claves: IoMT, simuladores médicos, fallas cardiovasculares.

ABSTRACT

This project aims to bring a more realistic approach to medical training by integrating IoMT technology into the SimMan 3G Plus simulator at a university. The central idea is simple yet powerful: to incorporate functions capable of instantly detecting and diagnosing cardiovascular failures, something that can make all the difference in clinical practice.

To achieve this, a cloud-based communication system was designed using microcontrollers and sensors, capable of collecting and processing data in real time. As part of the project, a prototype artificial heart controlled by Arduino and linked to the IoMT platform was built, enabling remote monitoring and interaction.

The results were clear: the simulations gained in accuracy and analysis, and students were able to train in a way that more closely resembles real-world medical practice. In conclusion, adding IoMT to these simulators enhances the quality of learning and better prepares future professionals.

Keywords: *IoMT, medical simulators, cardiovascular failures*

INTRODUCCIÓN

La creciente prevalencia de enfermedades cardiovasculares a nivel global ha impulsado la necesidad de innovaciones en el campo de la medicina y la ingeniería biomédica. Según la Organización Mundial de la Salud (2021), las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte a nivel mundial, lo que resalta la importancia de la investigación y el desarrollo de soluciones tecnológicas que mejoren la prevención, el diagnóstico y su tratamiento.

En este contexto, los prototipos de dispositivos médicos que simulan condiciones fisiológicas han cobrado relevancia en la educación y formación de profesionales de la salud. Modelos como el SimMan 3G Plus han demostrado ser herramientas efectivas para la capacitación, proporcionando simulaciones realistas de diversas situaciones clínicas. Se necesita incorporar simulaciones en el funcionamiento cardiovascular, permitiendo a los usuarios manejar emergencias relacionadas con fallas cardíacas.

Los avances en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT, por sus siglas en inglés) han permitido la recolección y análisis de datos biométricos en tiempo real. La integración de sensores electrónicos en modelos de simulación cardiovascular puede no solo replicar fallas cardiovasculares, sino también transmitir datos sobre el estado del corazón artificial a plataformas en la nube. Esto facilitaría a los profesionales monitorear y analizar el rendimiento del dispositivo, así como realizar simulaciones que incorporen diferentes escenarios clínicos.

Investigaciones previas han explorado el uso de tecnología similar en entornos de simulación. Por ejemplo, el trabajo de León (2020) demuestra cómo la conectividad de dispositivos inteligentes puede mejorar la experiencia de aprendizaje en emergencias médicas. Asimismo, el desarrollo de modelos biomédicos que integren componentes electrónicos básicos ha sido abordado en otros estudios asociados con la efectividad de simuladores de órganos en entornos educativos.

Este proyecto propone desarrollar un prototipo de corazón artificial con componentes electrónicos básicos que simule fallas cardiovasculares. A través de la recopilación de datos de sensores que midan presión, flujo y actividad valvular, se enviará información en tiempo real a una plataforma en la nube, permitiendo a los profesionales

visualizar y analizar los resultados mediante IoMT. Se espera que este prototipo no solo sirva como una herramienta auxiliar al SimMan 3G Plus, sino que también represente un avance significativo en la educación y la capacitación de los futuros profesionales de la salud.

Por lo tanto, el presente documento abordará tres unidades. La primera unidad enfocada en el marco teórico referencial en donde se encontrarán definiciones que nos permitan conocer más de este trabajo desarrollado en el campo médico desde el punto de la ingeniería y se comentarán trabajos de investigación que nos permitieron definir una referencia del proyecto. Mientras que en la segunda unidad el lector encontrará la información sobre la metodología propuesta, es decir el contexto, el diseño y alcance que tiene la investigación al igual que la población y las técnicas e instrumentos de recolección de datos al igual que la experimentación y la tercera unidad en la cual se visualizarán los resultados y se definirán las conclusiones.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

Con los avances tecnológicos observados en diversos campos y de manera particular en el ámbito médico surge la oportunidad de optimizar las funcionalidades de simuladores de última generación orientados al entrenamiento en situaciones clínicas críticas. En este contexto, se propone la implementación de un sistema de monitoreo cardiovascular que permita recrear escenarios de emergencia en el ámbito educativo, con el objetivo de robustecer la formación práctica de los estudiantes de salud.

La ejecución de este proyecto se fundamenta en la necesidad de potenciar la capacitación de los profesionales del sector sanitario en la gestión de urgencias cardiovasculares. Las enfermedades cardiovasculares constituyen un reto de magnitud para los sistemas de salud a nivel global, siendo responsables de aproximadamente 17,9 millones de muertes en 2019, lo que representa cerca del 32 % del total de muertes mundiales. (Organization, 2025)

Por ende, resulta esencial dotar a los docentes y aprendices de herramientas capaces de facilitar la práctica de habilidades críticas en un entorno seguro y controlado. El desarrollo de un prototipo de corazón artificial que simule disfunciones cardiovasculares, mediante la integración de componentes electrónicos básicos,

representa una solución innovadora para afrontar dicha necesidad. Este dispositivo permitirá a los futuros profesionales experimentar interactivamente con situaciones de emergencia, al mismo tiempo que incorpora tecnologías modernas como el Internet de las Cosas Médicas (IoMT). La visualización en tiempo real de variables tales como presión, flujo y actividad valvular ofrecerá a los estudiantes una comprensión más profunda de las dinámicas hemodinámicas y de la respuesta adecuada ante crisis. La utilización de este prototipo, como complemento al simulador avanzado SimMan 3G Plus, ampliará las capacidades existentes en la formación estudiantil: mientras que SimMan 3G Plus cubre un amplio rango de escenarios multimodales, la integración del corazón artificial focalizará la experiencia hacia la fisiología cardiovascular, un enfoque eminentemente práctico que complementa la educación teórica con simulaciones contextualizadas.

Adicionalmente, la posibilidad de transmitir los datos a una plataforma en la nube para su análisis en tiempo real no solo representa un avance en la simulación de emergencias, sino que enfatiza la relevancia de la telemedicina y la recopilación de datos en la formación clínica. Esta interconexión entre dispositivos electrónicos y plataformas de análisis permitirá mejorar la toma de decisiones y dotar al alumno de experiencias de aprendizaje que reflejen los escenarios reales de la práctica médica moderna.

La creación de este prototipo se justifica por la urgente necesidad de innovación en la educación médica, no solamente con vistas a optimizar la capacitación en emergencias cardiovasculares, sino también mediante la integración de tecnologías emergentes que equipen a los futuros profesionales para afrontar los retos que imponen las enfermedades cardiovasculares en la atención médica actual.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo mejorar la funcionalidad del SimMan 3G Plus usando IoMT para incrementar los procesos simulados en el diagnóstico de fallas cardiovasculares para prácticas de laboratorio en una Institución de Educación Superior?

Objetivo General

Implementar nuevas funcionalidades del SimMan 3G Plus utilizando herramientas de IoMT para incrementar los procesos simulados en el diagnóstico de fallas cardiovasculares para prácticas de laboratorio en una Institución de Educación Superior.

Objetivos Específicos

1. Analizar las nuevas funcionalidades a implementar para el diagnóstico de fallas cardiovasculares en el SimMan 3G Plus del laboratorio de Simulaciones de una Institución de Educación Superior de la ciudad de Guayaquil para mejorar las prácticas estudiantiles.
2. Diseñar el sistema de comunicaciones para conectar el SimMan 3G Plus usando IoMT y una nube para compartir los datos en tiempo real.
3. Construir un prototipo de corazón artificial basado en Arduino acondicionando la bomba, los sensores y las válvulas de acuerdo con las funciones que se requieren simular.
4. Validar el impacto de las nuevas funcionalidades implementadas mediante simulaciones prácticas y la retroalimentación de estudiantes y docentes.

Planteamiento hipotético

¿Las funciones del SimMan 3G usado en entornos médicos en el laboratorio de Simulaciones de una Institución de Educación Superior de la ciudad de Guayaquil ofrecen un entorno más amplio de pruebas médicas que permita simular fallas cardiovasculares?

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Revisión de literatura

En la investigación de Díaz et al. (2023), se plantea la creación de un prototipo de simulador para el entrenamiento en el cierre de defectos de Comunicación Interauricular (CIA) mediante cateterismo, que también funcione como recurso didáctico para estudiantes del área de la Salud. El objetivo es acelerar su curva de aprendizaje y aumentar su confianza al realizar este procedimiento.

En el artículo de Patiño (2022) se creó un prototipo de simulador cardíaco diseñado para el entrenamiento en la reparación o reemplazo de la válvula mitral, reproduciendo distintos escenarios de estenosis o insuficiencia mitral, que son las principales razones de este tipo de cirugías. El dispositivo tiene materiales blandos que imitan la sensación del cirujano al manipular los tejidos, e incluye actuadores electromecánicos que permiten simular diversos grados de estenosis o calcificación de la válvula mitral.

Sechihti et al. (2022), propusieron desarrollar un simulador para el entrenamiento en acceso venoso central y periférico, puesto que la capacitación resulta crucial para los profesionales de la salud que llevan a cabo estos procedimientos. La formación mediante simuladores ha demostrado aumentar la tasa de éxito y disminuir las complicaciones, ya que proporcionan un entorno controlado donde se pueden practicar y perfeccionar habilidades antes de realizar procedimientos en pacientes reales.

En el trabajo de Aydın & Gürbüz (2024) se realiza la simulación y visualización de las señales cardíacas provocadas por un infarto agudo de miocardio, a través del diseño e implementación de un electrocardiograma (ECG) y un monitor de signos vitales, desarrollados en un entorno de realidad virtual. El objetivo es facilitar el entrenamiento de estudiantes de medicina en situaciones de emergencia relacionadas con este tipo de eventos.

Por otro lado, Adetunji (2017) se enfoca en la creación de un prototipo que pueda medir las señales de presión y el ritmo cardíaco en la muñeca de un paciente. Se detalla el dimensionamiento, diseño, y el acoplamiento tanto mecánico como electrónico del dispositivo.

En el estudio de Bazalar (2024) se presenta el diseño de un modelo físico funcional del sistema circulatorio, que incluye un corazón artificial sencillo, capaz de simular pacientes con diversas enfermedades cardiovasculares. Su objetivo es facilitar estudios y desarrollos tecnológicos aplicables en cardiología. El sistema es controlado mediante un software de monitoreo que permite ajustar sus parámetros. Para validar el diseño, se incluyen gráficas de presión que ilustran diferentes casos simulados, tanto normales como patológicos.

En el trabajo de Chango et al. (2022) se analizaron un total de 535 artículos obtenidos de las diferentes bases de datos: Association for Computing Machinery (ACM), Web of Science y Scopus, utilizando "IoMT" como criterio de búsqueda. Se consideraron tres parámetros: problemática, artefacto y evaluación del artefacto, La búsqueda resultó en 535 artículos, lo que indica que este campo de investigación aún tiene mucho por explorar.

Suárez (2024) propuso desarrollar un prototipo de sistema no invasivo para el monitoreo cardiovascular, utilizando tecnología IoT puesto que se menciona que los equipos actuales son obsoletos, generan incomodidad en los pacientes y no pueden realizar exámenes en tiempo real o de forma síncrona.

En otros estudios como el de Chanchi et al (2020) se presenta un sistema IoT diseñado para monitorear la variabilidad del ritmo cardíaco en pruebas de usabilidad basadas en la experiencia de los usuarios. El sistema recopila de manera periódica tanto la variabilidad del ritmo cardíaco como el índice de estrés mental a lo largo de la interacción del usuario. A través de un estudio de caso, se identificaron las tareas que podrían haber causado estrés mental en los usuarios, lo que permitió estimar el nivel de aceptación de un software.

Prabhakar (2024) presenta tres estudios de caso sobre IoMT (Internet de las Cosas Medicas) basados en: Autenticación basada en PUF, Atención médica electrónica asistida por SDN habilitada por IA, y Sistema centrado en el paciente asistido por Blockchain. Las soluciones presentadas pueden tener un gran impacto en la velocidad a la que la infraestructura de IoMT puede evolucionar de manera eficiente junto con la evolución del mercado. En base a la búsqueda literaria asociada, se observa que no existe una investigación relacionada al problema científico que plantea el proyecto.

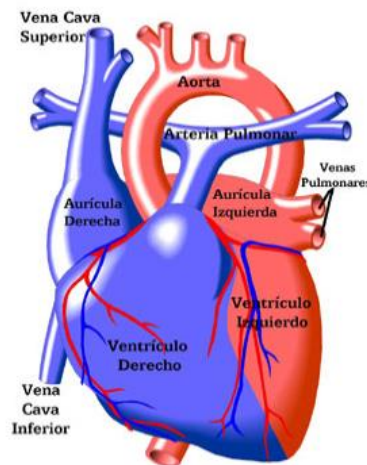
1.2. Desarrollo teórico y conceptual

1.2.1 El corazón

El corazón, que es un órgano muscular, tiene la tarea de mover la sangre a través de los vasos del sistema cardiovascular. Está situado en el mediastino medio, rodeado por un envoltorio fibroso conocido como pericardio. El corazón tiene una forma de pirámide cuadrangular, con una orientación similar a si dicha pirámide hubiese descendido hacia adelante sobre una de sus caras. De esta manera, su base se dirige hacia la pared torácica posterior y su vértice a la pared torácica frontal (Fig. 1). Los amplios vasos que nacen del corazón proyectan sus ramas hacia la cabeza, el cuello, el tórax y el abdomen, así como las extremidades superior e inferior (Torres, 2023).

Figura 1.

Exterior del corazón con venas y arterias



Nota: El gráfico muestra el exterior del corazón con sus venas y arterias, tanto las que se recubren su exterior como las que salen y conectan con otros elementos. Tomado de El Corazón Normal. [Fotografía], por Cove Point Fundation, 2020, Johns Hopkins University (<https://www.pted.org/?id=sp/normal1>)

1.2.1.1 Partes del corazón

El corazón humano se estructura fundamentalmente en cuatro cámaras: dos atrios (aurículas) superiores y dos ventrículos inferiores, separadas por tabiques interauricular e interventricular. Cada una de estas cámaras se encuentra conectada mediante válvulas unidireccionales que regulan el flujo sanguíneo y previenen el reflujo. (Clinic, 2024)

✓ **Aurícula derecha**

Recibe la sangre pobre en oxígeno procedente del cuerpo a través de las venas cavas (superior e inferior). Desde aquí, la sangre fluye hacia el ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide.

✓ **Aurícula izquierda**

Recibe la sangre rica en oxígeno proveniente de los pulmones a través de las venas pulmonares. Esta sangre pasa al ventrículo izquierdo mediante la válvula mitral.

✓ **Ventrículo derecho**

Bombea la sangre pobre en oxígeno hacia los pulmones a través de la arteria pulmonar. El flujo sanguíneo está regulado por la válvula pulmonar, que previene el retorno de la sangre al ventrículo.

✓ **Ventrículo izquierdo**

Es la cavidad más gruesa del corazón, encargada de bombear la sangre rica en oxígeno hacia todo el cuerpo mediante la arteria aorta. La válvula aórtica regula este flujo y evita el retroceso de la sangre.

✓ **Válvulas cardíacas**

Son estructuras que aseguran un flujo sanguíneo unidireccional dentro del corazón (Tortora, 2020). Las principales son:

- Válvula tricúspide: Entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho.
- Válvula pulmonar: Entre el ventrículo derecho y la arteria pulmonar.
- Válvula mitral: Entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo.
- Válvula aórtica: Entre el ventrículo izquierdo y la arteria aorta.

✓ **Septos cardíacos**

Dividen las cavidades del corazón en derecha e izquierda:

Septum interauricular: Entre las aurículas.

Septum interventricular: Entre los ventrículos.

✓ **Sistema de conducción eléctrica**

Coordina los latidos cardíacos a través de impulsos eléctricos. Este sistema incluye el nodo sinoauricular (nodo SA), el nodo auriculoventricular (nodo AV), el Haz de His y las fibras de Purkinje (Netter, 2021).

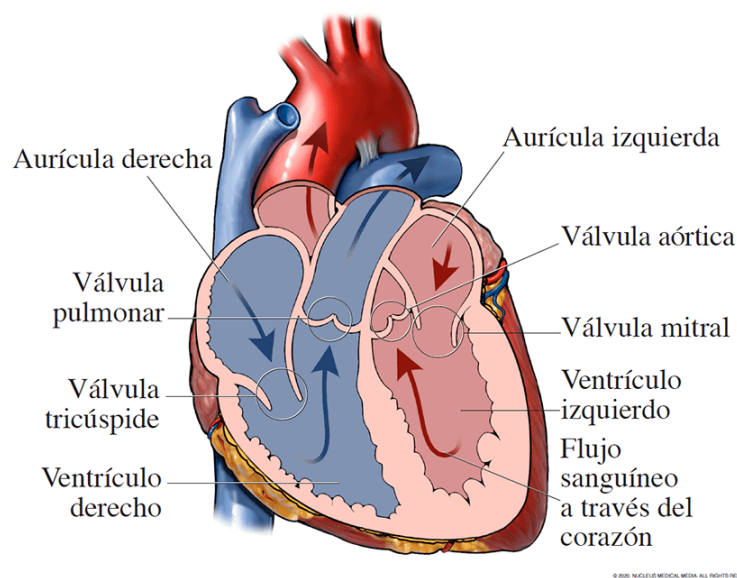
✓ Pericardio, miocardio y endocardio

Estas son las tres capas de la pared del corazón, desde la capa más externa hasta la más interna (Fig. 2).

- Pericardio: Capa externa que envuelve y protege el corazón.
- Miocardio: Capa muscular encargada de la contracción.
- Endocardio: Revestimiento interno de las cavidades cardíacas.

Figura 2

Partes principales del corazón



Nota: El grafico representa las partes internas del corazón y las señala a cada una ellas, tanto las que se encuentran en el interior como el exterior. Tomado de Anatomía del interior del corazón. [Fotografía], por Nucleus Medical Media.2022, NIH (<https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/corazon/anatomia>)

1.2.1.2 Fallas más comunes del corazón

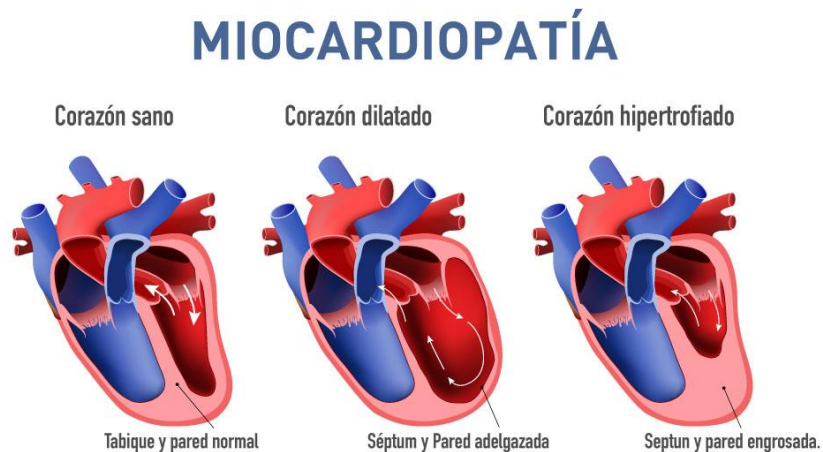
El corazón es un órgano esencial que bombea sangre a todo el cuerpo, pero como cualquier parte del cuerpo, puede sufrir de distintas enfermedades que afectan su función. Estas fallas suelen clasificarse en varios tipos según el problema que causan: en el músculo, en las válvulas, en el ritmo, o en los vasos sanguíneos que lo nutren.

El músculo cardíaco puede debilitarse o cambiar su forma, lo que afecta su capacidad para bombear sangre correctamente, a continuación, se muestran los problemas más comunes que se presentan en el músculo del corazón:

- **Insuficiencia cardíaca:** Aquí el corazón no puede trabajar de forma eficiente, lo que provoca acumulación de líquidos en los pulmones o las piernas. Esto suele pasar después de un infarto o por hipertensión no controlada (Yancy et al., 2013).
- **Miocardopatías:** Son enfermedades que afectan el músculo cardíaco. Por ejemplo, puede agrandarse (miocardopatía dilatada), volverse más grueso (hipertrofica) o más rígido, como se muestra en la (Fig. 3), lo que dificulta el bombeo de sangre (Maron et al., 2015).

Figura 3

Miocardopatía del corazón con un corazón sano, dilatado e hipertrofiado



Nota: El grafico muestra un corazón sano, un corazón dilatado y uno hipertrofiado estos dos ultimo haciendo referencia de las miocardopatías. Tomado de Miocardopatía. [Fotografía], por Policlínico San Miguel, 2021, Policlínico San Miguel (<https://policlinicosanmiguel.com/especialidades-medicas/cardiologia/miocardipatia/>).

✓ Fallas en las válvulas cardíacas

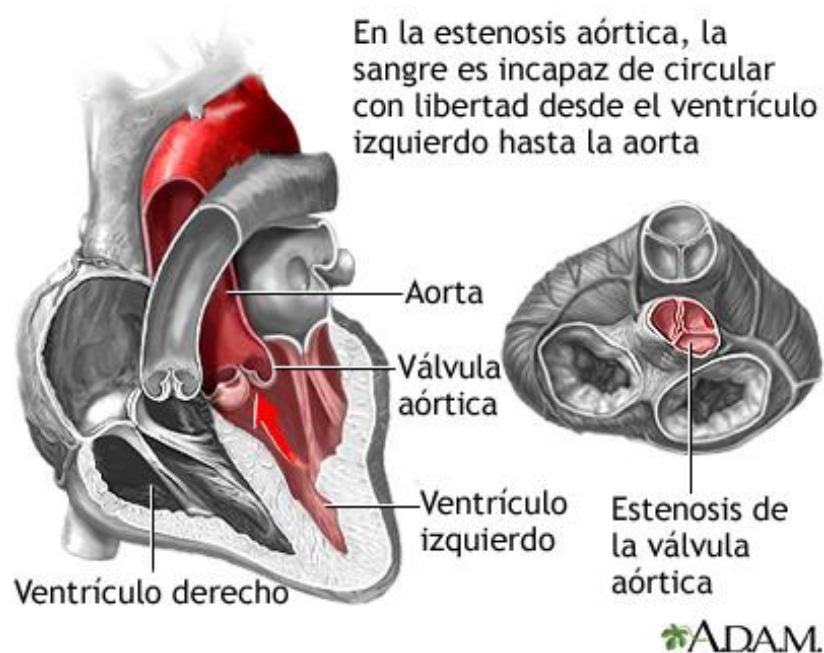
Las válvulas del corazón aseguran que la sangre fluya en la dirección correcta. Cuando no funcionan bien, pueden aparecer estos problemas:

- **Estenosis:** Ocurre cuando una válvula está rígida o estrecha y no se abre completamente (Fig. 4), limitando el flujo de sangre (Otto & Bonow, 2020).

- **Insuficiencia valvular:** En este caso, la válvula no cierra bien, lo que provoca que la sangre se devuelva.
- **Prolapso de la válvula mitral:** Es un problema donde la válvula mitral no se cierra correctamente y "se abomba" hacia la aurícula izquierda. Aunque muchas veces no da síntomas, en casos graves puede causar problemas serios (Freed et al., 2002).

Figura 4

Visualización de una estenosis aórtica



Nota: El gráfico muestra cómo se visualiza la estenosis aórtica, en este punto la sangre no circula desde el ventrículo izquierdo hasta llegar a la aorta. Tomado de Estenosis aórtica. [Fotografía], por A.D.A.M. Editorial team, 2024, Medline Plus (<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000178.htm>).

✓ Problemas en el ritmo del corazón

El corazón late gracias a impulsos eléctricos que regulan su ritmo, pero a veces ese sistema falla:

- **Fibrilación auricular:** Es un ritmo cardíaco rápido e irregular que aumenta el riesgo de accidentes cerebrovasculares (January et al., 2019).

- **Taquicardia ventricular:** Ocurre cuando los latidos son demasiado rápidos y empiezan en los ventrículos. Es una de las arritmias más peligrosas (Zipes et al., 2018).
- **Bradycardia:** Aquí el corazón late demasiado lento, lo que puede causar mareos o desmayos.
- **Bloqueos cardíacos:** Son problemas que ocurren cuando las señales eléctricas no viajan bien entre las partes del corazón (Epstein et al., 2013).

1.2.2 SimMan 3G PLUS

El SimMan 3G PLUS es un simulador de paciente que reproduce de manera realista las condiciones de un ser humano, diseñado específicamente para entrenar a profesionales de la salud en situaciones de emergencia. Gracias a su avanzado diseño y funcionalidades, permite practicar habilidades esenciales como la toma de decisiones bajo presión, la comunicación efectiva dentro de un equipo y la atención al paciente en un entorno seguro y controlado (Laerdal Medical, s.f.-a).

1.2.2.1 Principales características

Este simulador ofrece herramientas avanzadas para la práctica de procedimientos médicos. Por ejemplo, permite trabajar en el manejo de vías respiratorias mediante la inserción de tubos torácicos y simular diferentes escenarios, como movimientos del tórax en un solo lado o en ambos, lo que lo hace ideal para situaciones de emergencia respiratoria. Además, incluye sonidos pulmonares que se escuchan de forma localizada, lo que ayuda a mejorar la evaluación clínica (Laerdal Medical, s.f.-b).

También es muy útil para el entrenamiento en emergencias cardíacas, ya que cuenta con una biblioteca de electrocardiogramas (ECG) y sonidos del corazón en distintos puntos. Adicionalmente, los usuarios pueden practicar desfibrilación, cardioversión e incluso el uso de marcapasos, lo que permite un entrenamiento completo y realista (Laerdal Medical, s.f.-a).

En cuanto al sistema circulatorio, el SimMan 3G PLUS incorpora pulsos que están sincronizados con el ritmo cardíaco del ECG. Estos pulsos se sienten en distintas partes del cuerpo, como el cuello, brazos y piernas, y su intensidad cambia según la presión arterial del simulador. Esto no solo hace que el entrenamiento sea más realista, sino que

también permite a los participantes obtener retroalimentación directa sobre sus técnicas (Laerdal Medical, s.f.-b).

Otra funcionalidad importante es la posibilidad de practicar acceso venoso e intraóseo. Esto incluye puntos de acceso en ambos brazos, piernas y hombros, así como puntos de inyección intramuscular en los deltoides. Estas características lo convierten en una herramienta completa para simular la administración de medicamentos en distintas situaciones clínicas (Laerdal Medical, s.f.-b).

Una de las cualidades más destacadas de este simulador es que tiene pieles faciales intercambiables, lo que permite representar diferentes características físicas y condiciones de salud. Esto no solo mejora la diversidad en los escenarios de práctica, sino que también ayuda a los estudiantes a prepararse para atender a una amplia variedad de pacientes en el mundo real (Laerdal Medical, s.f.-c).

1.2.2.2 Uso y compatibilidad

El SimMan 3G PLUS utiliza un software llamado LLEAP para controlar todas sus funciones. Este software facilita el manejo del simulador y ofrece opciones variadas para monitorear al "paciente". Además, puede integrarse con herramientas adicionales, como VitalsBridge, que permite conectar el simulador a monitores clínicos reales, y el sistema de ultrasonido Laerdal-SonoSim Ultrasound Solution 2.0, que permite añadir diagnósticos por imágenes a las sesiones de entrenamiento (Laerdal Medical, s.f.-c).

1.2.2.3 Aplicaciones educativas

En términos de educación, el SimMan 3G PLUS es una herramienta clave para formar a futuros profesionales de la salud. Al poder recrear de manera precisa diferentes respuestas fisiológicas, los usuarios pueden practicar en un entorno seguro sin el riesgo de causar daño a un paciente real. Esto les permite adquirir confianza y habilidades prácticas que serán esenciales en su desempeño clínico (Laerdal Medical, s.f.-a).

1.2.3 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas, conocido como IoT, es un concepto que se refiere a la conexión entre objetos físicos a través de Internet. Estos objetos, como electrodomésticos, dispositivos electrónicos y herramientas industriales, cuentan con sensores y software que les permiten recopilar, compartir y analizar información. Esta tecnología ha transformado

la manera en que interactuamos con el mundo, haciendo posible que las máquinas trabajen juntas de forma automática y eficiente para mejorar procesos en distintas áreas, como el hogar, la industria y la agricultura (Oracle, s.f.).

1.2.4 Internet de las Cosas Médicas (IoMT)

El Internet de las Cosas Médicas, o IoMT, es una aplicación específica del IoT en el ámbito de la salud. Básicamente, conecta dispositivos médicos y aplicaciones a través de Internet para que puedan comunicarse con los sistemas de información de los hospitales o clínicas. Gracias a esta tecnología, se pueden recoger datos médicos de los pacientes de manera automática, lo que permite monitorearlos a distancia y hacer que los servicios de salud sean más rápidos y eficientes. Esto es especialmente útil para personas con enfermedades crónicas o que requieren atención continua (ComputerWeekly, s.f.).

1.2.5 Diseño del Corazón Artificial

El diseño de un corazón artificial es una tarea compleja que combina conocimientos de anatomía humana, ingeniería y tecnología. Para lograr un dispositivo funcional y seguro, es fundamental que se considere cada uno de los componentes que imitarán el funcionamiento del corazón humano.

1.2.5.1 Materiales Biocompatibles

Uno de los principales desafíos es seleccionar materiales que puedan estar en contacto con la sangre y los tejidos del cuerpo sin causar reacciones adversas. Por ejemplo, se pueden usar polímeros biocompatibles como el poliuretano o la silicona médica, que son flexibles y resistentes a la degradación. También es común emplear metales como el titanio debido a su durabilidad y compatibilidad con el cuerpo humano (Zhou et al., 2020).

1.2.5.2 Funciones del corazón artificial

El corazón artificial debe replicar los movimientos y funciones de un corazón natural. Esto implica incluir ciertos componentes esenciales que simulen el funcionamiento de las válvulas. (Paul et al., 2017).

También debe representarse las cavidades del corazón, como las aurículas y los ventrículos. Es por ello que el componente debe ser lo suficientemente flexible como para manejar la simulación de cada contracción.

1.2.5.3 Monitoreo IoT

El uso de elementos inteligentes es fundamental para garantizar que el dispositivo funcione correctamente. Por ejemplo: Para definir la presión dentro de las cámaras del corazón artificial, esta se determina en función del caso de estudio. Esto es clave para ajustar el rendimiento del prototipo en tiempo real (Srinivasan et al., 2019).

1.2.5.4 Uso de IoT

La integración de tecnologías IoT transforma el corazón artificial en un dispositivo inteligente. Con microcontroladores como el ESP32, es posible conectar el corazón artificial a la nube para recopilar datos en tiempo real. Estos datos se pueden enviar a un servidor seguro y ser analizados en un panel de control diseñado para médicos y pacientes. Además, el IoT permite establecer alertas automáticas en caso de anomalías, como una caída en el flujo sanguíneo o cambios bruscos (Sharma et al., 2021).

1.2.5.5 Personalización y Diversidad

Cada paciente tiene necesidades únicas, por lo que el diseño del corazón artificial debe ser adaptable. Por ejemplo, se pueden fabricar modelos personalizados basados en imágenes 3D del corazón del paciente, utilizando técnicas como la impresión 3D con materiales biocompatibles. Esto no solo mejora la integración del dispositivo en el cuerpo, sino que también reduce el riesgo de complicaciones postoperatorias (Zhang et al., 2022).

1.2.6 Gateway

Un Gateway es un dispositivo o nodo de red que actúa como punto de conexión y traducción entre dos redes que utilizan protocolos de comunicación diferentes. Su función principal es permitir el intercambio de información entre sistemas heterogéneos, asegurando la compatibilidad de datos, para este caso se usará como Gateway es ESP8266 (Systems, 2024).

1.2.7 Funcionamiento de un servo motor

El servo motor es un dispositivo electromecánico de control de posición, velocidad y aceleración angular. Su funcionamiento combina un motor eléctrico, un sistema de retroalimentación (sensor o potenciómetro) y un circuito de control que regula la posición del eje en función de una señal de referencia, este realiza movimientos angulares de forma precisa (Instruments., 2020).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

La Universidad Espíritu Santo, ubicada en el cantón Samborondón, perteneciente a la provincia del Guayas, posee un laboratorio de Simulaciones Médicas, en este lugar se tiene el simulador SimMan 3G Plus el cual permite simular varios casos clínicos desde situaciones básicas y controladas con un bajo de nivel de dificultad como casos como altos niveles de complejidad como cirugía inmersiva, control de síntomas fisiológicos y neurológicos e incluso situaciones de emergencia (Fig. 5).

Figura 5

Clínica de simulación de Universidad Espíritu Santo SIMUEES



Nota: La imagen muestra una estudiante realizando una ecografía en presencia del docente y compañeros de clase. Tomado de SIMUEES. [Fotografía], por UEES, 2024, UEES (<https://uees.edu.ec/uees-inaugura-la-clinica-de-simulacion-mas-avanzada-de-latinoamerica/>).

Con la finalidad de avanzar hacia la excelencia en la formación médica, la Universidad Espíritu Santo (UEES) presentó la clínica de simulación más extensa y sofisticada de la región SIMUEES que establece una nueva visión de la educación médica. Este centro educativo proporciona a los alumnos de medicina un ambiente práctico y realista (Fig. 6) que les permitirá lidiar con situaciones clínicas simuladas con gran precisión.

Figura 6

Clínica de simulación de Universidad Espíritu Santo SIMUEES



Nota: La imagen muestra una doctora (docente) mostrando a su estudiante como tomar los signos vitales gracias al Simulador, mismo que se alista para un proceso quirúrgico. Tomado de SIMUEES. [Fotografía], por UEES, 2024, UEES (<https://uees.edu.ec/uees-inaugura-la-clinica-de-simulacion-mas-avanzada-de-latinoamerica/>).

2.2. Diseño y alcance de la investigación

2.2.1. Diseño de la investigación

La propuesta planteada establece la creación de un prototipo de un corazón artificial que permitirá el control y monitoreo de los parámetros principales del corazón tales como la frecuencia cardiovascular que estará definida dependiendo del caso, al igual que para las válvulas mitral y tricúspide se usaran actuadores (servomotores) que permitirán simular la apertura y cierre de las válvulas. Este prototipo se plantea con recopilación de datos en tiempo real, lo que permitirá tomar mejores decisiones para emitir un diagnóstico.

El diseño propuesto es de carácter experimental y este tendrá tres parámetros de estudio, teniendo en cuenta que para variar la frecuencia cardiovascular será configurada y programada en función de las vibraciones que se emitirán en un periodo de tiempo que será cíclico, y será la frecuencia de latidos por minuto, mientras que los actuadores

permitirán el control de apertura y cierre de las válvulas, dichas acciones serán controladas en tiempo real con la finalidad de simular las diversas fallas cardiovasculares.

2.2.2. Alcance de la investigación

Se estima que esta investigación experimental brinde datos analíticos para comparar con valores reales de pacientes, ya que el uso de un controlador combinado con tecnología IoT nos permitirá visualizar los datos en tiempo real y guardar los registros históricos en la nube, y con estos datos establecer casos clínicos de estudios más precisos que permitan al estudiante estar en una situación similar a las que se presentan a diario en el campo médico.

2.3. Tipo y métodos de investigación

En esta investigación se estudiarán parámetros tales como el flujo sanguíneo, lo que da paso a una investigación cuantitativa, en la cual se analizarán los datos obtenidos para determinar los parámetros y así analizar los resultados obtenidos de las muestras, mediante el análisis de datos se podrá identificar los valores críticos que hacen la diferencia y visualizar patrones que se presentan en las diversas fallas cardiovasculares. Con ello, se puede tener una base del patrón de comportamiento de la frecuencia cardíaca, que a su vez nos dará paso para comparar los otros parámetros de los signos vitales y estado de los elementos internos del corazón para establecer un diagnóstico.

En el caso de la investigación cualitativa se relaciona con esta propuesta mediante un análisis de los datos que se obtienen realizando la prueba de chi cuadrado y una prueba de hipótesis obteniendo todos los datos de entrevistas, encuestas y análisis de documentos con el fin de analizar variables tales como el estado del paciente, condición cardiovascular, estado de apreciación de los estudiantes entre otras variables que se estudiarán con la finalidad de mostrar que el proyecto cumplió con los objetivos establecidos ya que se efectuará un análisis de resultado y las variaciones según en enfoque que se pueda visualizar.

2.4. Población y muestra

La población objeto de estudio está constituida por todos los estudiantes matriculados en la carrera de Medicina de la Universidad Espíritu Santo durante el primer periodo académico del 2025. Se considera población finita ya que el número total de individuos es determinable a partir del registro institucional de matrículas.

La muestra está constituida por los participantes del sondeo que respondieron la encuesta en el periodo de levantamiento (25 al 29 de agosto del 2025). Se realizó un muestreo probabilístico estratificado por año académico que cumplieron con ciertos requisitos. (Ver tabla 1).

Tabla 1

Parámetros de Población y Muestra

Parámetros	Datos
Universo / Población	1400 estudiantes
Muestra	38 estudiantes
Método de muestreo	Probabilístico estratificado

La adquisición de datos nos ayudará para futuras mejoras del prototipo y ampliar las funciones que puede brindar a los estudiantes.

2.5. Instrumentos de aplicación del proyecto

Considerando los valores normales de la frecuencia cardiovascular que registran los centros de salud y son datos públicos, o que se encuentran publicados en artículos o textos para guía de valores referenciales de los parámetros a estudiar, la proyección de comprensión estimada se tomara en cuenta en función de las practicas realizadas por los estudiantes evaluando los conceptos y aplicaciones que se relacionaran con el prototipo, estos datos se compararan con las practicas realizadas con el simulador actual.

Para la adquisición de datos de los parámetros a estudiar se implementó un prototipo de corazón artificial que posee un sistema de alimentación portátil, sistema de procesamiento y análisis de información, sistema de comunicación, sistema de visualización de datos en tiempo real con los siguientes materiales:

2.5.1. Sistema de alimentación

En cualquier sistema electrónico basado en microcontroladores, el suministro energético representa un componente fundamental para el correcto funcionamiento del hardware. En este proyecto, el microcontrolador ESP8266, pieza clave en la plataforma Arduino IoT Cloud, requiere una fuente de alimentación de 5V DC que permita operar

tanto el propio módulo como los periféricos conectados, como el servomotor encargado de simular el latido cardíaco (Mínguez, 2020).

El ESP8266 posee un regulador interno que convierte la entrada de 5V en los 3.3V necesarios para su funcionamiento, permitiendo una conexión directa a una fuente común como un cargador USB o una batería portátil (Fig.7). Esta configuración no solo simplifica la alimentación del sistema, sino que también facilita su integración en laboratorios de simulación médica donde se requiere movilidad, conectividad inalámbrica y eficiencia energética (Reynoso et al., 2023).

Figura 7

Fuente de alimentación portable



Nota: El grafico muestra la fuente de alimentación implementada para el funcionamiento del proyecto.

Para el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), una alimentación estable es crucial, ya que garantiza la transmisión continua y segura de datos en tiempo real, como los generados por los casos simulados de electrocardiograma (ECG), la fuente de alimentación debe ser capaz de mantener un suministro constante bajo demanda, especialmente durante los picos de corriente producidos por el movimiento del servomotor (Diaz, 2019).

2.5.2 Sistema de comunicación para la adquisición de datos

Para llevar a cabo la adquisición de datos se necesita un microcontrolador que sea el encargado de recopilar toda la data para luego transmitirla, con ello se debe tomar en cuenta cual es el protocolo de comunicación que tiene el sensor para poder establecer la comunicación directa con el microcontrolador.

2.5.2.1 ESP8266

El ESP8266 es un microcontrolador con conectividad Wi-Fi integrada, desarrollado por Espressif Systems. Su popularidad radica en su bajo costo, tamaño compacto, bajo consumo energético y facilidad de integración en proyectos de electrónica e IoT. Está equipado con un procesador de 32 bits a 80 MHz (expandible a 160 MHz), memoria RAM, GPIOs programables y un módulo Wi-Fi 802.11 b/g/n, lo que lo convierte en una excelente opción para el desarrollo de dispositivos conectados (Ver tabla 2) (Ceja et al., 2017).

Tabla 2

Características principales del ESP8266

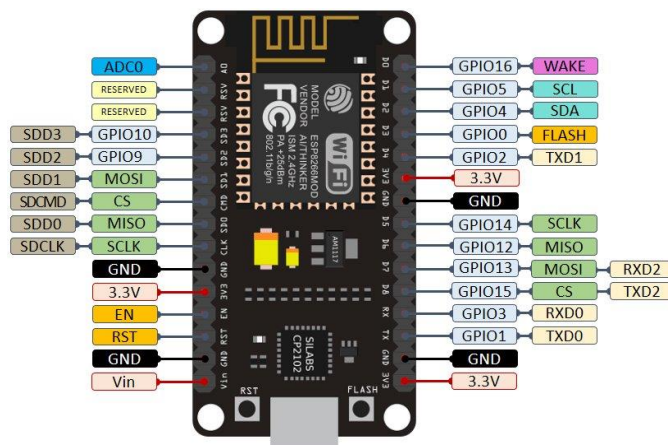
Características Principales	Especificaciones
CPU	Microcontrolador ESP8266EX, arquitectura de 32 bits, frecuencia de hasta 80/160 MHz.
Memoria	- SRAM integrada de 80 KB (para datos). - Flash externa (dependiendo del modelo: 512 KB a 4 MB).
Conectividad Inalámbrica	Wi-Fi 802.11 b/g/n integrado (2.4 GHz). Soporta modos <i>Station</i> , <i>Access Point</i> y mixto.
Entrada y Salida	- 17 GPIO disponibles (dependiendo de la versión de la placa). - Pines con funciones múltiples: PWM, ADC (1 entrada analógica de 10 bits), UART, I2C, SPI.
Periféricos Integrados	- Temporizadores. - Interrupciones.

	<ul style="list-style-type: none"> - Soporte PWM. - ADC de 10 bits.
Seguridad	Incluye soporte básico para protocolos de seguridad como WPA/WPA2 para Wi-Fi. El cifrado avanzado depende de software.
Consumo de energía	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje de operación: 5V – 3.3V. - Consumo en transmisión Wi-Fi: entre 70–200 Ma. - Modos de ahorro de energía: <i>Light Sleep</i> y <i>Deep Sleep</i>.
Compatibilidad	Compatible con Arduino IDE, PlatformIO, NodeMCU (Lua), MicroPython y otros entornos de desarrollo.

En este proyecto, el ESP8266 actúa como el cerebro del sistema de simulación cardíaca, permitiendo la conexión del corazón artificial con la nube y facilitando la sincronización entre la señal de ECG simulada y el movimiento del servomotor. Gracias a su compatibilidad con plataformas como Arduino y su capacidad para conectarse a redes inalámbricas, el ESP8266 es capaz de enviar y recibir datos en tiempo real (Fig. 8) a través de protocolos como HTTP o MQTT (Kodali & Mahesh, 2016).

Figura 8

Pinout del microcontrolador ESP8266



Nota: El gráfico muestra el microcontrolador con sus nomenclaturas de pines.

Su uso en el ámbito del Internet de las Cosas Médicas (IoMT) permite el monitoreo remoto y la interacción en tiempo real con sistemas de simulación biomédica, contribuyendo a una formación médica más interactiva y basada en datos. En este contexto educativo, el ESP8266 no solo actúa como un microcontrolador, sino también como una pasarela hacia entornos de aprendizaje conectados, escalables y accesibles desde cualquier lugar (Mesquita et al., 2018).

2.5.2. Servomotor SG 90

El servomotor es un componente esencial en este sistema, ya que su movimiento mecánico es el encargado de simular el latido del corazón artificial. Un servomotor es un actuador rotativo que permite control preciso de ángulo, velocidad y posición, generalmente limitado a un rango de 0° a 180°. Estos motores se componen de un motor de corriente continua (DC), un sistema de engranajes, un sensor de posición y un circuito de control (Autsou et al., 2024).

El servomotor genera un movimiento oscilante, programado para simular el ritmo cardíaco mediante la rotación de un asta fijada a un eje dentro del corazón impreso en 3D con filamento flexible (Ver tabla 3). Este diseño permite una representación mecánica realista del proceso de contracción y relajación del corazón (Eleyan & Fallon, 2020).

Tabla 3

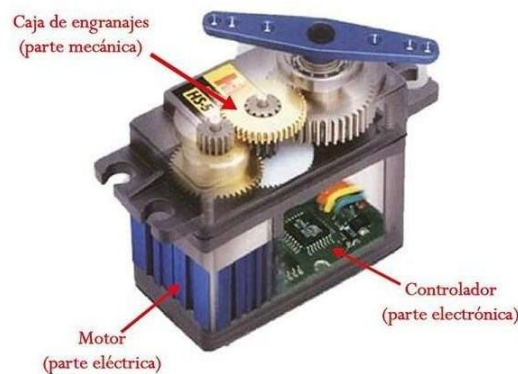
Características principales del Servomotor SG90

Características Principales	Especificaciones
Voltaje de operación	4.8V – 6.0V (funciona óptimamente a 5V).
Consumo de corriente	- En reposo: ~10 mA. - En operación: 100–250 mA (picos hasta 500 mA bajo carga).
Ángulo de giro	Aproximadamente 0° a 180° (controlado por PWM).
Compatibilidad	Compatible con la mayoría de los microcontroladores (Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi, etc.).

El uso del servomotor en el contexto de la simulación médica presenta ventajas pedagógicas significativas. Permite a los estudiantes de medicina visualizar y comprender la mecánica del sistema cardiovascular en tiempo real y en condiciones controladas. Al estar vinculado con sensores y controladores IoT, el servomotor también facilita la sincronización de señales visuales (Fig. 9) con los datos de ECG simulados, promoviendo una experiencia inmersiva en el aprendizaje clínico (Baballe et al., 2022).

Figura 9

Micro-Servomotor y sus partes



Nota: El grafico muestra las partes del servomotor que se aplica como actuador para simular el movimiento del ECG.

2.5.3 Arduino IOT Cloud

Arduino IoT Cloud es una plataforma en línea desarrollada por Arduino para la creación, programación y gestión de dispositivos conectados a Internet. Está orientada a simplificar el desarrollo de soluciones IoT (Fig. 10) al integrar herramientas de diseño visual de interfaces, dashboards interactivos, almacenamiento de variables, y compatibilidad con dispositivos como el ESP8266, ESP32 y placas Arduino oficiales (Sharma, 2023).

Figura 10

Arduino IOT Cloud



Nota: Arduino IOT Cloud es una plataforma para proyectos inalámbricos en tiempo real.

Arduino IoT Cloud permite controlar y monitorear el latido del corazón artificial de forma remota, mediante dashboards personalizados que visualizan el ritmo cardíaco, las variables de simulación de ECG y el estado de funcionamiento del sistema. Esta plataforma también proporciona funciones de control automático basadas en condiciones programadas, lo cual mejora la automatización y sincronización del proceso de simulación médica (Adetunji, 2017).

Una de sus principales ventajas es que combina un entorno de desarrollo basado en la nube con interfaces gráficas, permitiendo a los usuarios definir "Things" (cosas conectadas), variables vinculadas y eventos. Estas características son especialmente útiles en contextos educativos donde los estudiantes pueden interactuar en tiempo real con dispositivos médicos simulados, desarrollar competencias en tecnologías digitales y comprender el impacto de la conectividad en la salud (Khabir, 2020).

2.5.4 Codificación Arduino

La codificación en Arduino permite programar el comportamiento de dispositivos como el ESP8266 a través de un entorno de desarrollo simple y versátil. En este proyecto, se utiliza para establecer la lógica que sincroniza el movimiento del servomotor con los datos simulados del ECG. Mediante instrucciones en lenguaje C/C++, se definen las acciones del latido, tiempos de respuesta y comunicación con la nube. Esta programación es esencial para garantizar un funcionamiento preciso, dinámico y automatizado del corazón artificial (Aydın & Gürbüz, 2024).

2.5.4.1. Parametrización de variables

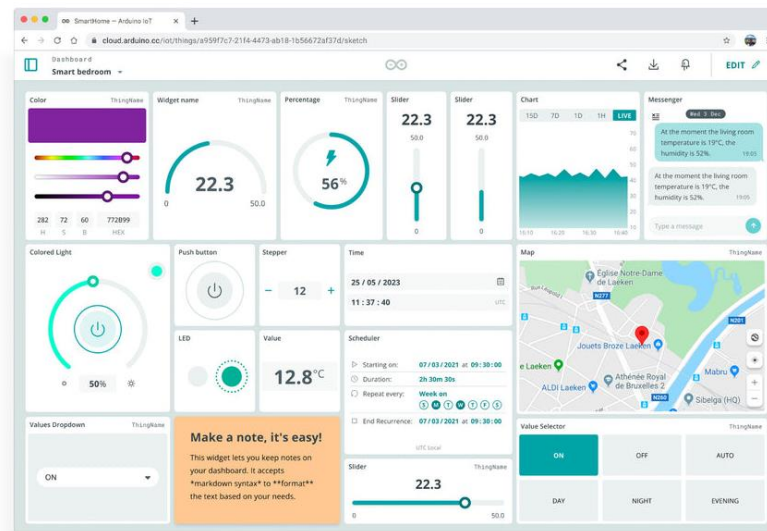
La parametrización de variables en Arduino IoT Cloud permite configurar valores clave que representan datos físicos o virtuales dentro del sistema. En este proyecto, variables como frecuencia cardíaca, estado del servomotor o tiempo de latido son definidos y controlados desde la nube. Estas variables pueden ser modificadas en tiempo real y se sincronizan automáticamente con el microcontrolador. Esta funcionalidad facilita la simulación médica interactiva y ajustable según los casos clínicos propuestos en clases prácticas (Sarah et al., 2020).

2.5.4.2. Dashboard

El dashboard de Arduino IoT Cloud es una interfaz gráfica que permite visualizar y controlar en tiempo real las variables del sistema. A través de widgets como diales, botones y gráficos, se puede monitorear la actividad del corazón artificial, ajustar parámetros y observar la respuesta del sistema (Fig. 11). Esta herramienta facilita la interacción entre los usuarios y el dispositivo, convirtiéndose en una plataforma intuitiva para estudiantes de medicina que aprenden conceptos fisiológicos mediante una representación digital y tangible del funcionamiento cardíaco (Tsyruynyk et al., 2023).

Figura 11

Dashboard de Arduino IOT Cloud



Nota: Arduino IOT Cloud presenta datos en tiempo real mediante varios widgets.

2.5.5 Conexión física de equipos y alimentación del sistema

En la Figura 14 se muestra la conexión física de un microcontrolador ESP8266 (NodeMCU) alimentado a través de un cable micro USB, el cual proporciona los 5V DC necesarios desde un cargador o una computadora. Esta energía entra por el puerto USB y se distribuye por la línea de alimentación de la placa de pruebas (protoboard), utilizando los rieles positivo (rojo) y negativo (negro) para organizar la distribución de energía.

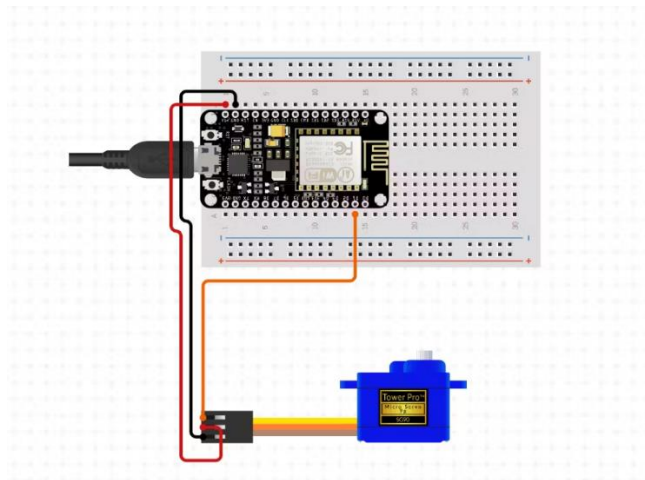
El microservo Tower Pro SG90, encargado de simular el latido del corazón artificial, se conecta a través de tres pines:

- Cable marrón (GND) a tierra (GND) del ESP8266.
- Cable rojo (VCC) a los 5V de salida del ESP8266.
- Cable naranja (señal) a un pin digital (GPIO) del ESP8266, en este caso D4 (GPIO2).

Esta conexión permite controlar el movimiento del servo desde el código cargado en el ESP8266, y al estar alimentado directamente desde el mismo puerto USB, se asegura una integración compacta, eficiente y adecuada para entornos educativos o de simulación médica.

Figura 12

Circuito ESP866 y Servomotor



Nota: En la imagen se describe la conexión física entre el microcontrolador y el actuador.

2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.

2.6.1. Operabilidad del sistema

El ECG lee y se digitaliza, y mediante algoritmos sencillos, se interpretan sus picos y fases para generar pulsos eléctricos que actúan sobre los servos, reproduciendo los movimientos del corazón real. El uso del ECG en el sistema es de manera práctica: el ECG simula la actividad eléctrica del corazón, permitiendo que los servos realicen los movimientos correspondientes a cada ciclo cardíaco. La señal de ECG, que puede durar en torno a 2 a 3 segundos, se procesa para extraer los puntos clave del ciclo y generar impulsos en momentos precisos, en función del ritmo cardíaco simulado.

El algoritmo sencillo convierte la señal de ECG en movimientos de servos detectando los picos principales que representan los latidos cardíacos; primero filtra y detecta estos picos en la señal eléctrica, luego calcula el intervalo entre ellos para determinar el ritmo, y finalmente genera pulsos de control en los servos en sincronía con cada latido, permitiendo que los movimientos reflejen las variaciones del ritmo cardíaco en tiempo real y de forma interactiva

Tabla 4

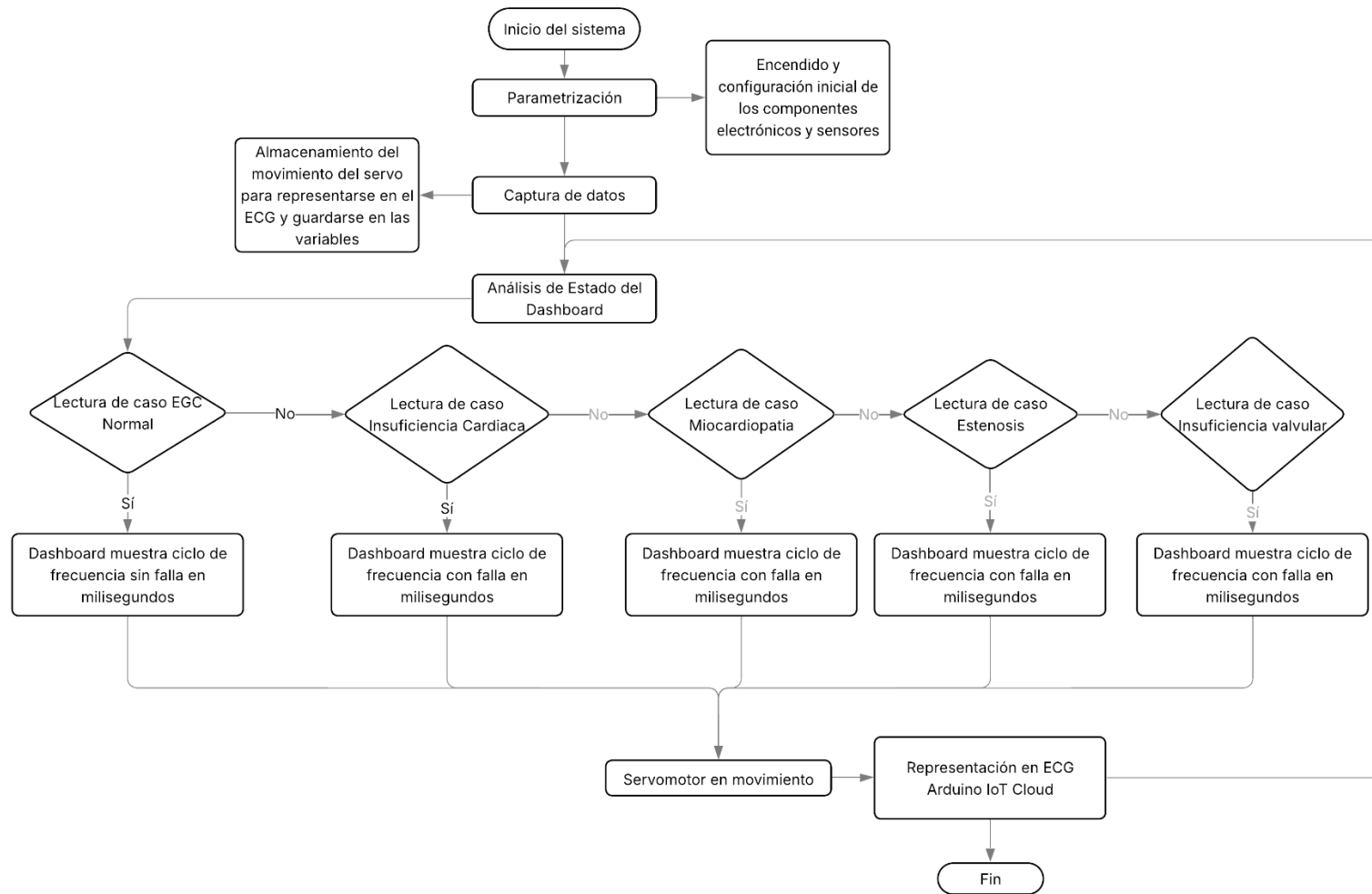
Tiempos de simulación del ECG en Arduino IoT Cloud

Falla Cardiovascular	Tiempo (milisegundos)
ECG normal	1500 – 2000 aprox.
Insuficiencia cardíaca	2500 – 3000 aprox.
Miocardiopatía	2000 – 3000 aprox.
Estenosis	1500 – 2000 aprox.
Insuficiencia valvular	2500 – 3000 aprox.

El tiempo de generación de pulsos para los servos está sincronizado con los ciclos del ECG. Se programa para que, en función del tipo de patología o estado cardíaco, la señal tenga una duración y características específicas (Fig. 12). Por ejemplo, la duración de la prueba total suele ser de aproximadamente 10 segundos, lo que permite visualizar con precisión varios ciclos del ECG generado, con ciclos que varían según el caso.

Figura 13

Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo



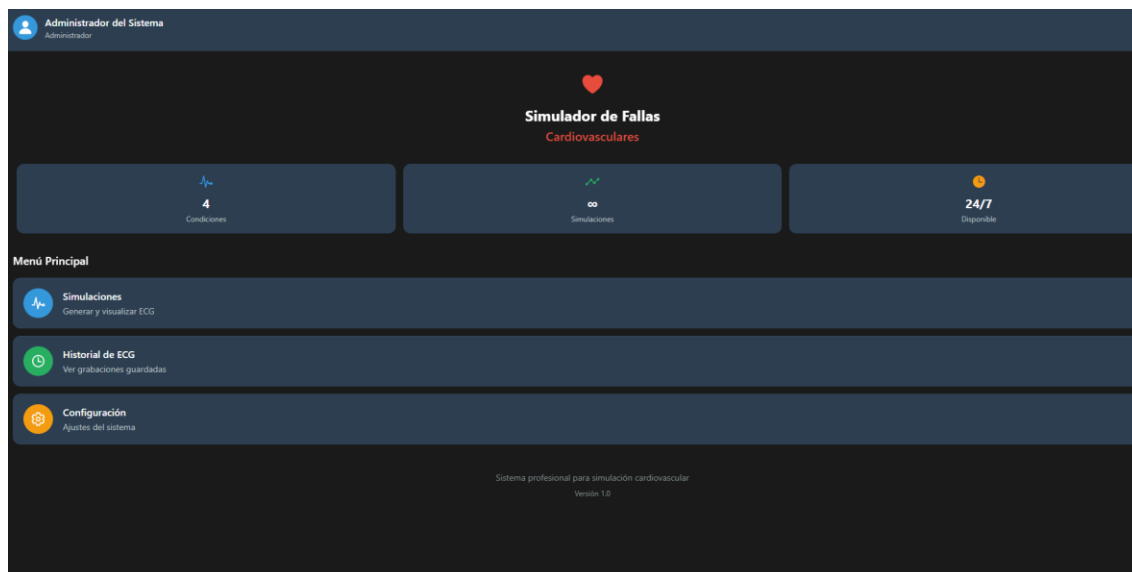
2.6.2. Configuración Emergent

La aplicación desarrollada para el SimMan 3G Plus integra la tecnología IoMT (Internet of Medical Things) con el objetivo de automatizar y enriquecer las simulaciones clínicas en tiempo real. A través de la plataforma Emergent y Promp, la app genera de manera dinámica gráficas de electrocardiogramas (ECG) que representan diferentes fallas cardiovasculares como la insuficiencia cardíaca, la miocardiopatía y las alteraciones valvulares (estenosis o insuficiencia).

Cada patrón está diseñado para imitar con precisión las variaciones eléctricas propias de estas patologías, lo que permite al estudiante interpretar los cambios en las ondas P, complejos QRS y segmentos ST, tal como ocurriría en un paciente real. El sistema envía la señal al maniquí SimMan, sincronizando la información para que los signos vitales del simulador correspondan a la condición cardíaca programada (Fig. 13).

Figura 14

Diseño de aplicación en Emergent



De esta manera, la app no solo facilita la recreación de escenarios clínicos más realistas, sino que también habilita el monitoreo y análisis de datos en tiempo real, permitiendo al docente y al estudiante visualizar la evolución de los registros cardiacos durante la práctica.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de funcionalidades del SimMan 3G Plus

La siguiente tabla presenta una comparación detallada entre el simulador médico avanzado SimMan 3G Plus y el prototipo de simulador cardiovascular desarrollado. Se analizan sus características técnicas, funcionales, educativas y tecnológicas para evidenciar sus similitudes y diferencias.

Tabla 5

Tabla de Comparación: SimMan 3G Plus vs Prototipo de Simulador Cardiovascular

Categoría	SimMan 3G Plus (Laerdal)	Prototipo de simulador cardiovascular
Tipo de simulador	Maniquí de simulación médica avanzada de cuerpo completo.	Sistema modular de simulación cardiovascular con interfaz digital.
Objetivo principal	Entrenamiento clínico integral en emergencias médicas, procedimientos invasivos y respuesta ante crisis.	Simulación específica de fallas cardiovasculares y visualización de ritmos cardíacos mediante dashboard interactivo.
Componentes principales	Maniquí físico, sensores fisiológicos integrados, software SimPad/Laerdal Learning Application, conexión inalámbrica.	Dashboard con botones/switches, controlador electrónico, corazón artificial, sistema de generación de señales y visualización ECG.
Escenarios clínicos	Incluye más de 200 escenarios predeterminados (trauma, paro cardiorrespiratorio, shock, ventilación, etc.).	Escenarios centrados en patologías cardiovasculares (insuficiencia cardíaca, estenosis, miocardiopatías), activables manualmente.

Simulación fisiológica	Respuesta automática a intervenciones (medicación, RCP, intubación, desfibrilación). Cambios en frecuencia cardíaca, presión, saturación, etc.	Simulación de latidos cardíacos con ajustes en ritmo y fuerza según el caso clínico; representación gráfica en ECG dinámico.
Nivel de realismo	Muy alto (anatomía humana realista, sonidos, fluidos, respuesta táctil).	Medio (enfocado en respuesta eléctrica y visual, no anatómica).
Control del sistema	Automático o manual mediante software propietario y red inalámbrica.	Manual y programable mediante switches físicos o interfaz digital del dashboard.
Salida de datos	Registro de datos fisiológicos y resultados del entrenamiento en el software Laerdal.	Visualización de la señal en tiempo real tipo ECG; posibilidad de registro mediante software adicional.
Conectividad	Wi-Fi, USB, integración con LMS (Learning Management Systems).	Conexión directa al sistema electrónico mediante Wi-Fi; puede ampliarse con comunicación serial o Bluetooth.
Costo aproximado	Alto (más de USD 70,000).	Bajo/medio (dependiendo de materiales y componentes electrónicos).
Portabilidad	Baja (maniquí de tamaño real, requiere espacio y energía).	Alta (dispositivo compacto y transportable).

Aplicaciones educativas	Capacitación en medicina de emergencias, enfermería, anestesia, cuidados intensivos.	Formación específica en electrofisiología, cardiología y comprensión de patologías cardíacas.
Ventajas principales	Alta fidelidad, múltiples sistemas fisiológicos integrados, escenarios automáticos.	Bajo costo, personalización de escenarios, visualización didáctica y control directo del usuario.
Innovación destacada	Integración completa de funciones corporales y respuesta autónoma.	Uso de dashboard interactivo para control de escenarios clínicos y generación de ECG en tiempo real.

En resumen, el SimMan 3G Plus ofrece una simulación médica integral y realista, ideal para formación clínica avanzada, mientras que el prototipo desarrollado constituye una solución complementaria, centrada en la enseñanza práctica de patologías cardiovasculares y la comprensión de señales electrofisiológicas mediante control digital.

3.2. Conexión física y configuración de adquisición de datos

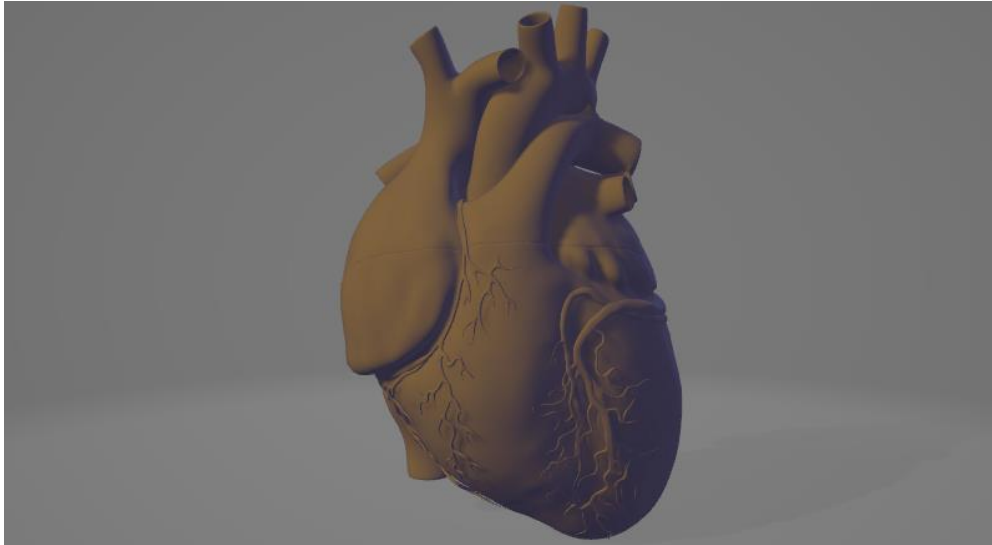
En el siguiente espacio se redacta como se realizó la implementación de los dispositivos electrónicos anteriormente mencionados en este proyecto, cada uno de estos equipos permitirá que se lleve a cabo la adquisición de datos para la toma de decisiones.

3.2.1 Diseño del prototipo

El proceso de impresión 3D comenzó con el diseño del modelo utilizando el software ZBrush para crear las formas y estructuras del corazón. El diseño fue adaptado para incluir cavidades que pudieran albergar los componentes electrónicos necesarios. Estas cavidades fueron dimensionadas cuidadosamente para asegurar un encaje perfecto de los dispositivos, y se hicieron ajustes adicionales para dejar espacio para los cables y otras conexiones internas (Fig. 15).

Figura 15

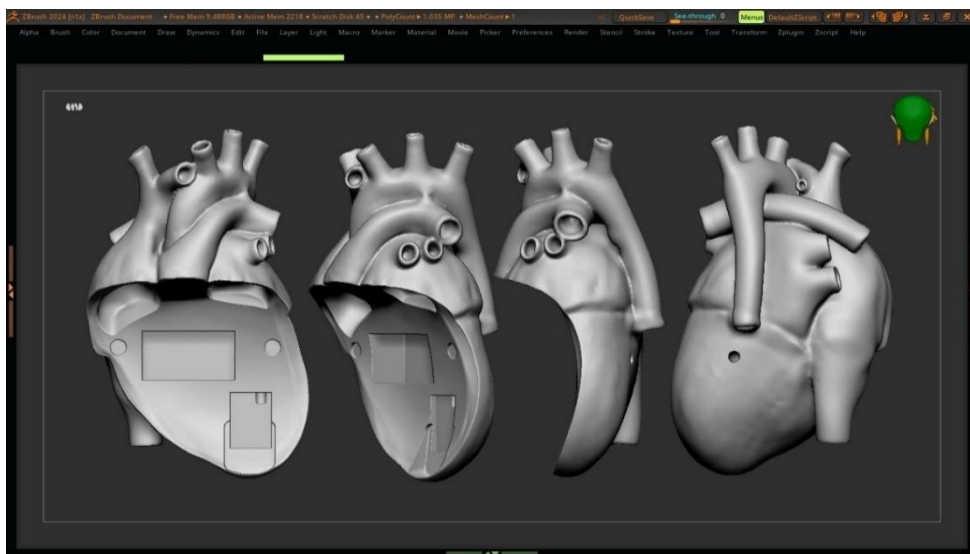
Diseño del corazón artificial



Durante el proceso de revisión, se incorporaron canales específicos para el cableado en el diseño, lo cual permitió el paso ordenado de los cables entre las diferentes partes del corazón. Se decidió que todos los canales tendrían un diámetro uniforme de 7 mm, lo que facilitó la impresión y evitó posibles complicaciones al integrar los cables. Estos canales fueron trazados para conectar las partes internas de la tapa y el corazón, asegurando que no interferirían con el funcionamiento de los componentes (Fig. 16).

Figura 16

Diseño de canales para cableado del circuito electrónico



3.2.2 Impresión del prototipo

Finalmente, se realizó una revisión exhaustiva del diseño, asegurándose de que los materiales fueran adecuados para la impresión 3D. Se eligió un material negro, debido a la disponibilidad, con un acabado mate y sin detalles adicionales como sombras o venas, lo que mantenía el enfoque en la estructura funcional del objeto (Fig. 17). Con todos los ajustes y detalles definidos, el diseño fue aprobado para su impresión, y se procedió a realizar los ajustes finales para asegurar una correcta ejecución del proyecto.

Figura 17

Impresión 3D del prototipo



3.3 Conexión a Internet y adquisición de datos

El sistema fue configurado utilizando un módulo ESP8266, el cual fue preparado para conectarse a internet mediante una red Wi-Fi. En primer lugar, se programó el ESP8266 empleando el entorno de desarrollo Arduino, incluyendo las librerías necesarias para la comunicación con Arduino IoT Cloud (Fig. 18).

Figura 18

Configuración Wi-Fi del ESP8266

```
ECG_apr13a.ino  ReadMe.adoc  thingProperties.h  Sketch Secrets  +
// Code generated by Arduino IoT Cloud, DO NOT EDIT.
#include <ArduinoIoTCloud.h>
#include <Arduino_ConnectionHandler.h>

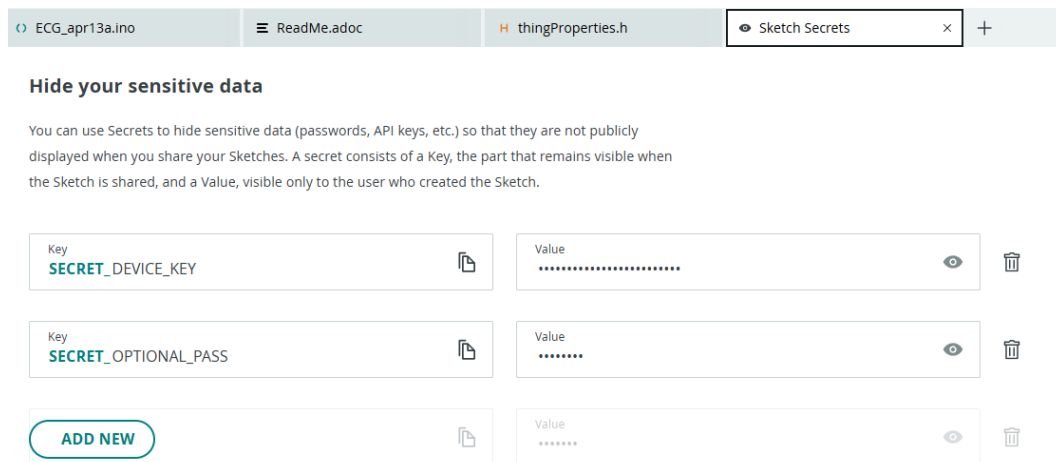
const char DEVICE_LOGIN_NAME[] = "000b023f-5804-4238-b4cd-3d69d0f47dec";

const char SSID[] = SECRET_SSID; // Network SSID (name)
const char PASS[] = SECRET_OPTIONAL_PASS; // Network password (use for WPA, or use as key for WEP)
const char DEVICE_KEY[] = SECRET_DEVICE_KEY; // Secret device password
```

Luego, se ingresaron las credenciales de la red Wi-Fi en el archivo "secrets" para garantizar una conexión segura. Después, se asignó el identificador del dispositivo y las claves de autenticación proporcionadas por la plataforma IoT Cloud en las variables de configuración del "sketch", permitiendo que el ESP8266 se autentificara y estableciera una comunicación en tiempo real con la nube (Fig. 19).

Figura 19

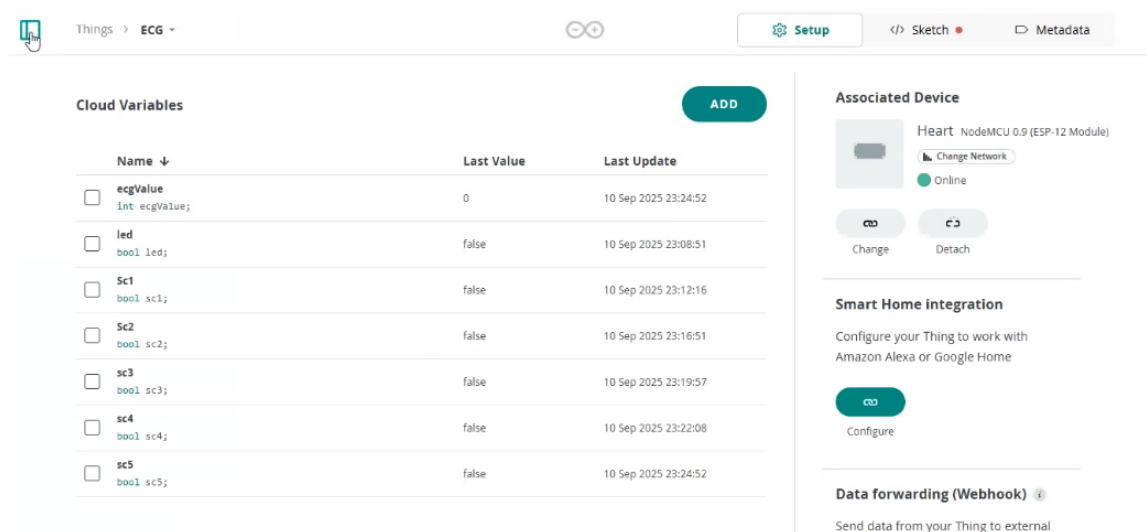
Autenticación de credenciales para comunicación en tiempo real



De esta manera, el ESP8266 quedó configurado para enviar los datos adquiridos por los sensores hacia la plataforma Cloud, permitiendo su monitoreo y control remoto de forma confiable y protegida (Fig. 20).

Figura 20

Verificación del estado del ESP8266



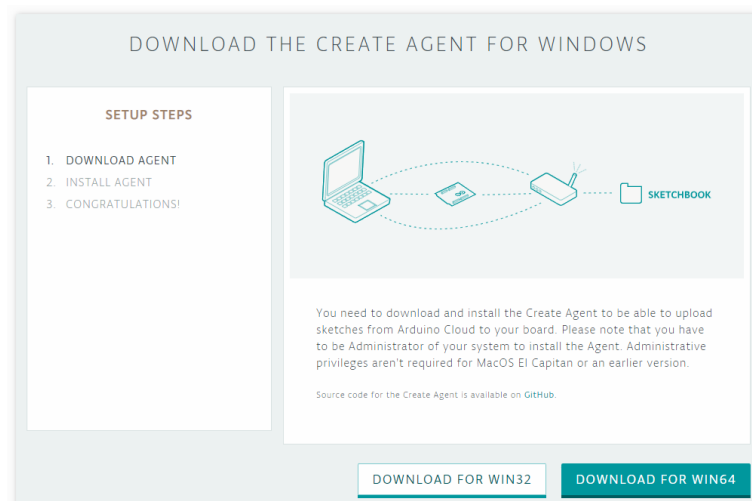
Fue necesario de realizar la configuración del device como se evidencia anteriormente para habilitar la identificación del controlador y mediante el sketch cargar la información que contiene las variables del Things y el dashboard para la comunicación en tiempo real conectada a la red configurada.

3.3.1 Conexión a Arduino IOT Cloud

El proceso de conexión del microcontrolador ESP8266 a la plataforma Arduino IoT Cloud comienza con la configuración inicial del dispositivo en la cuenta de Arduino. A través de la interfaz web de Arduino IoT Cloud, el usuario registra un nuevo dispositivo (Thing), asigna un nombre y selecciona el modelo correspondiente (en este caso, NodeMCU ESP8266). Para que esta comunicación sea posible, se requiere la instalación y ejecución del Arduino IoT Cloud Agent, una aplicación de escritorio que facilita la comunicación serial entre el dispositivo físico y la nube (Fig. 21).

Figura 21

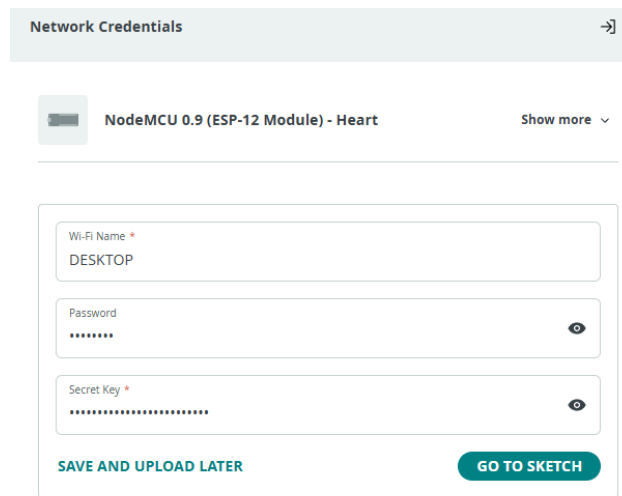
Arduino IOT Agent



El Arduino IoT Cloud Agent actúa como un intermediario entre el navegador y el puerto USB del computador, detectando automáticamente el ESP8266 conectado y transfiriendo la clave de conexión segura (Device ID y Secret Key) necesaria para autenticar el dispositivo en la red de Arduino. Este agente permite también la carga remota del sketch (programa Arduino) desde el navegador, sin necesidad de abrir el IDE de escritorio (Fig. 22).

Figura 22

Configuración Network Credentials & Secret Key



3.3.2 Implementación de protocolos

En la implementación de los protocolos dentro del sistema IoT, se establecieron varias variables en la plataforma Cloud para monitorear y controlar diferentes parámetros relacionados con la función cardiovascular simulada. Estas variables permiten que el sistema reciba datos en tiempo real y que también pueda ser controlado o ajustado según sea necesario (Ver tabla 5).

Tabla 6

Tabla de Variables asignadas para Sketch

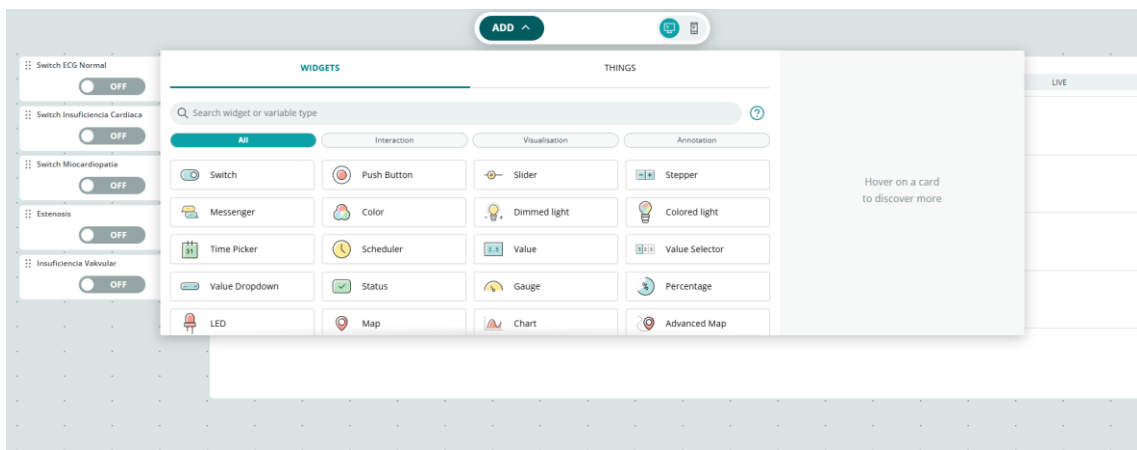
TAG	Tipo	Descripción	Función
ecgValue	Int	Valor en tiempo real de la señal de ECG	Monitoreo del ritmo cardíaco
sc1	Bool	ECG normal (solo lectura)	Verificación rápida de estado
sc2	Bool	Miocardiopatía (lectura y escritura)	Simulación y detección de miocardiopatía
sc3	Bool	Insuficiencia cardíaca (lectura y escritura)	Simulación y detección de insuficiencia cardíaca
sc4	Bool	Estenosis (lectura y escritura)	Simulación y detección de estenosis
sc5	Bool	Insuficiencia vascular (lectura y escritura)	Simulación y detección de insuficiencia vascular

3.3.3. Diseño del Dashboard

El diseño del dashboard está estructurado para facilitar la interacción del usuario con el sistema simulado y promover un monitoreo efectivo en tiempo real. Este consta de cinco botones o switches, cada uno correspondiente a un escenario clínico específico, que incluyen condiciones como ECG normal, miocardiopatía, insuficiencia cardíaca, estenosis e insuficiencia vascular. Estos switches permiten activar o desactivar cada caso fácilmente, brindando la posibilidad de simular diferentes patologías cardiovasculares en el sistema (Fig. 23). La disposición de estos controles está pensada para ser intuitiva, con colores diferenciados que faciliten la identificación rápida de cada escenario, y ubicados en una posición accesible para su manejo durante las simulaciones.

Figura 23

Diseño del Dashboard



Además de los interruptores, el dashboard integra un gráfico en tiempo real que representa la señal fisiológica del corazón artificial, típicamente un gráfico de línea que visualiza la forma de onda del ECG o las variaciones en las variables monitoreadas, como presión o flujo sanguíneo. Este gráfico se actualiza dinámicamente según el escenario activo, permitiendo a los usuarios observar en vivo los efectos de cada condición en la función cardiovascular simulada. La gráfica es esencial para la interpretación visual y el análisis de las diferentes fallas o patologías simuladas, facilitando la comprensión de los cambios fisiológicos asociados a cada caso.

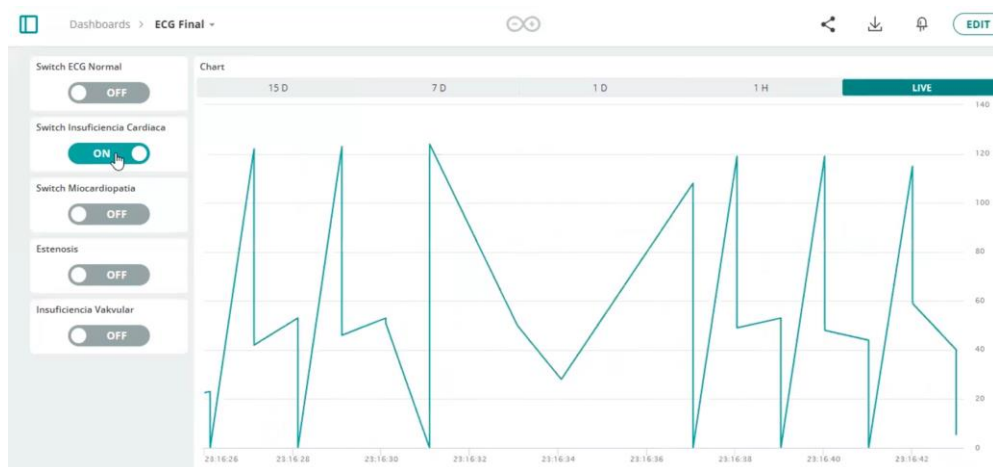
3.4. Pruebas y resultados

El funcionamiento del prototipo se basaba en el uso de un dashboard que permitía activar diferentes escenarios clínicos relacionados con fallas cardiovasculares. Cuando el usuario seleccionaba un caso específico, mediante los botones o switches del dashboard, el sistema activaba la simulación correspondiente y enviaba la señal eléctrica adecuada para reproducir la condición seleccionada.

Una vez activado un escenario, el corazón artificial comenzaba a simular los latidos en función de las características de cada caso clínico. Por ejemplo, en un escenario de insuficiencia cardíaca, el ritmo y la fuerza de los latidos simulados se ajustaban para reflejar esa condición. La señal generada por el corazón artificial, que imita los latidos reales, se transmitía en tiempo real a un gráfico en la sección del dashboard, donde se reflejaba como un electrocardiograma (ECG) dinámico que mostraba la forma de onda correspondiente a cada escenario

Figura 24

Simulación de Insuficiencia cardiaca en Arduino IoT Cloud



Este gráfico en tiempo real permitía a los usuarios observar cómo variaban las ondas en función del caso activado, se representa la simulación de la falla “Insuficiencia Cardiaca” (fig. 24), facilitando así la interpretación visual de las alteraciones cardíacas simuladas.

Figura 25

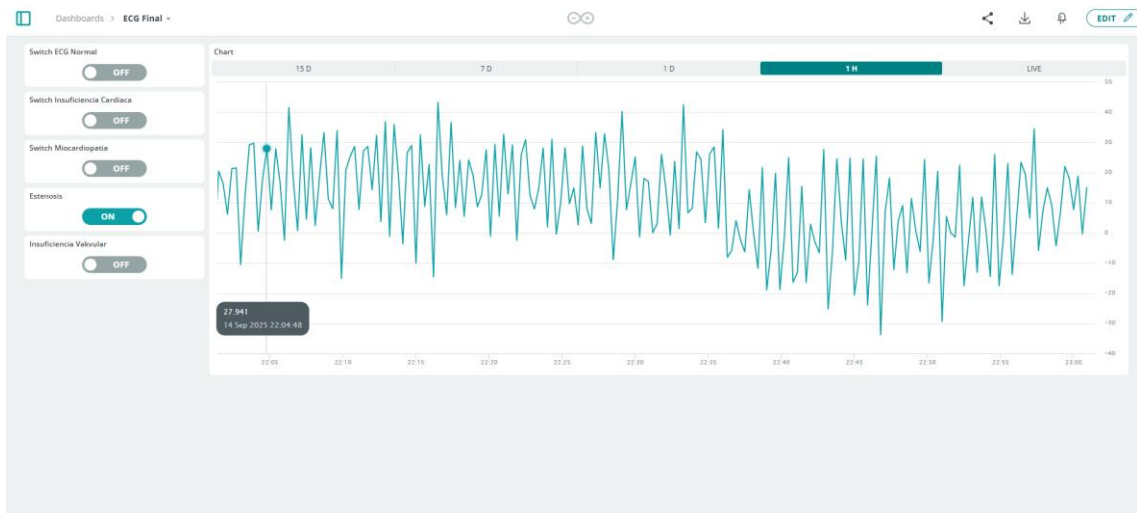
Simulación de miocardiopatía en Arduino IoT Cloud



Para la figura 25 se simula la falla de “Miocardiopatía” en tiempo real demostrando el resultado en milisegundos con una interpretación visual en un intervalo de 10 segundos.

Figura 26

Simulación de Estenosis en Arduino IoT Cloud



Para la figura 26 se simula la falla de “Estenosis” en tiempo real demostrando el resultado en milisegundos con una interpretación visual en un intervalo de 10 segundos.

Figura 27

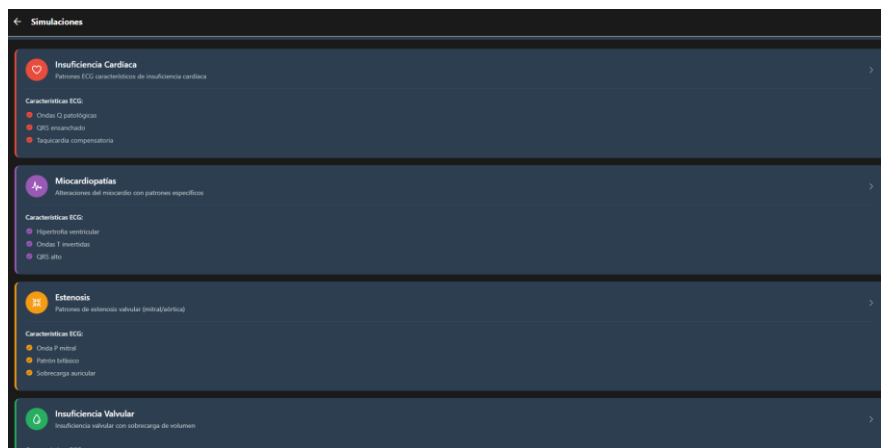
Simulación de Insuficiencia Valvular en Arduino IoT Cloud



Para la figura 27 se simula la falla de “Insuficiencia Valvular” en tiempo real demostrando el resultado en milisegundos con una interpretación visual en un intervalo de 10 segundos.

Figura 28

Simulación de fallas cardiovasculares en Emergent



De esta forma, se comprobó que el sistema logra reproducir patrones específicos: en la insuficiencia cardíaca se observaron irregularidades en el ritmo con frecuencias reducidas, en la miocardiopatía se evidenció un trazo con alteraciones en la amplitud de las ondas, mientras que en la estenosis o insuficiencia valvular los registros mostraron variaciones significativas en los intervalos y morfología del ECG. Estos resultados no solo refuerzan el carácter didáctico de la aplicación, sino que también permiten una retroalimentación precisa sobre cómo interpretar datos fisiológicos simulados con base en parámetros medibles y comparables en un entorno de laboratorio académico (Fig. 28).

Figura 29

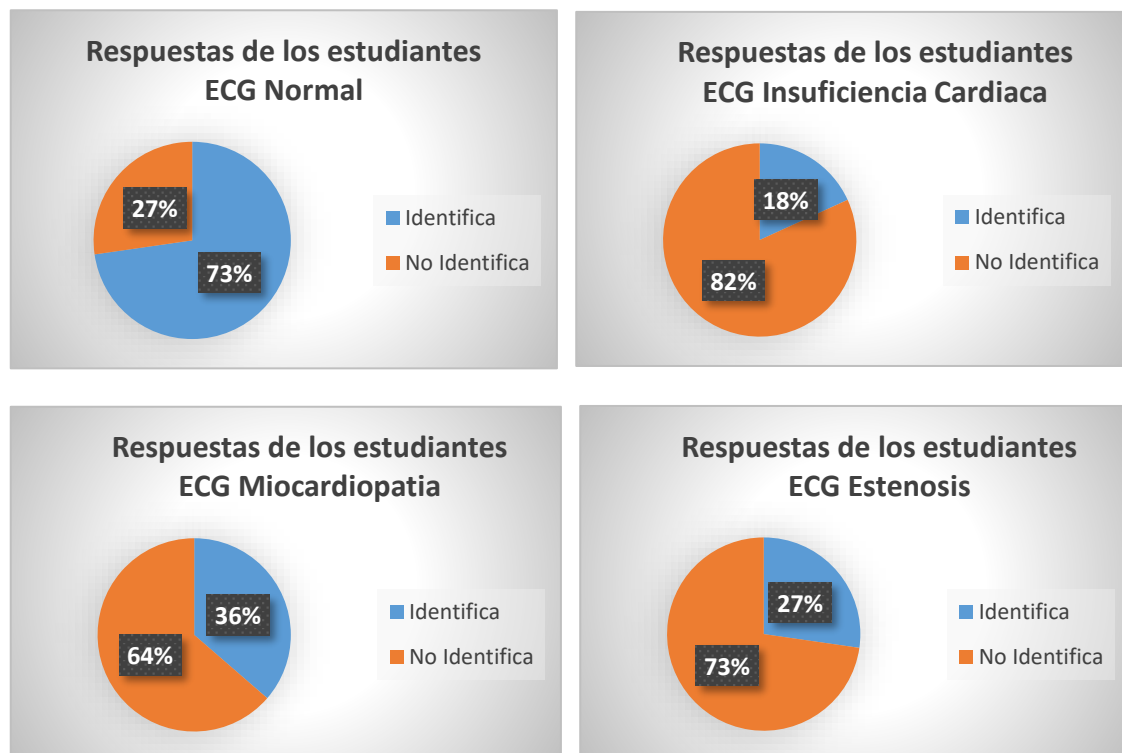
Simulación de falla “Insuficiencia Cardiaca” en Emergent



Cabe recalcar que, para la validación de este prototipo, se reunió a un conjunto de estudiantes al cual se le presentó el prototipo y sus funcionalidades, adicionalmente se les presentó diversos casos de fallas cardiovasculares en los cuales los estudiantes debían de identificar según el ECG, después de ello se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 30

Resultados de Test según el ECG

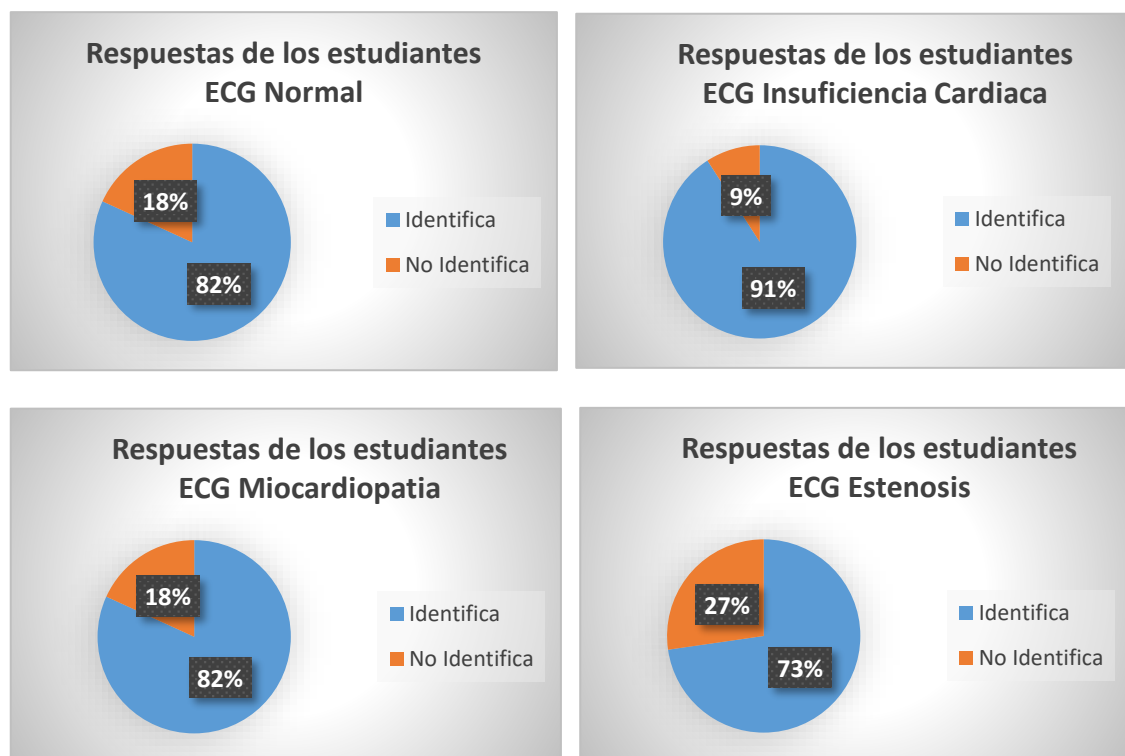


Este estudio se realizó con un total de 11 estudiantes los cuales respondieron de forma significativa que identificaban la correcta lectura de los patrones de un ECG para el caso de una persona en condiciones normales, pero para los otros tres casos en los cuales se visualizaron las cardiopatías los estudiantes no identificaron cabe recalcar que este estudio se hizo previo a la presentación del prototipo.

Una vez realizada la presentación del prototipo y realizado un análisis en función de las ondas del ECG, se volvió a mostrar diferentes ECG para evaluar si los estudiantes tenían una mayor comprensión la lectura del ECG.

Figura 31

Resultados de Test del Prototipo según el ECG



Se puede visualizar que después de la presentación del prototipo y la charla brindada a los estudiantes, estos tienen una mejor comprensión de la lectura de un ECG para diferentes casos de fallas cardiovasculares. Es importante mencionar que se consideraron las cuatro fallas más comunes según los datos tomados de diferentes revistas médicas.

CONCLUSIONES

Al desarrollar un sistema de monitoreo de señales cardiovasculares ofrece una solución educativa para fortalecer el análisis de datos, de una manera confiable y eficiente que contribuye al aprendizaje y desarrollo académico de los estudiantes universitarios de la carrera de medicina.

El diseño de un sistema de red de comunicación para la integración de compatibilidad entre actuadores y controladores es fundamental para impulsar la eficacia de los diferentes sistemas electrónicos, brindando una plataforma sólida para la automatización inteligente y la optimización de procesos en diversos sectores, ya sean académicos o industriales y sus diversas aplicaciones prácticas.

El desarrollo de un modelo analítico basado en funciones para evaluar las diversas fallas cardiovasculares en un software de programación de componentes electrónicos representa un paso crucial hacia la mejora en el campo educativo. Este enfoque proporciona una herramienta poderosa para el análisis de datos de un ECG generado a través de datos para la toma de decisiones y la implementación de propuestas de solución, contribuyendo así al uso de recursos dinámicos para el aprendizaje y de bajo costo.

Las tecnologías de transmisión de datos como Wifi son fundamentales para la comunicación efectiva entre los actuadores y los sistemas de control en los sistemas de robótica educativa, sistemas de telemedicina, IoMT y otros. Este protocolo permite una transmisión de datos confiable, segura en tiempo real.

El trabajo detalla el uso de diversas herramientas y tecnologías, como Arduino Cloud Agent, Arduino Cloud e IoT Remote, que son esenciales para la adquisición de información, procesamiento y visualización de datos. La integración de todas estas herramientas permite y facilita el monitoreo y control del entorno digital educativo creado.

Este trabajo de investigación aplicada resalta la importancia de emplear tecnologías avanzadas y metodologías de investigación combinadas con entornos de simulación permiten fortalecer el aprendizaje de la lectura de un ECG, mostrando que la combinación de IoMT y sistemas de programación basado en Arduino puede llevar a una mejora eficiente y solida en el campo educativo médico.

RECOMENDACIONES

Se detallan algunas recomendaciones tales como:

- Hay que asegurar que el sistema de monitoreo y análisis de datos en tiempo real sea robustos y confiables, utilizando sensores y actuadores de alta precisión que permitan garantizar la recopilación de datos de manera precisa y continua. Esto contribuirá notablemente a la mejora de la formación profesional de los estudiantes de medicina y al fortalecimiento de su crecimiento académico.
- Brindar capacitaciones de forma continuas al personal docente sobre el uso y gestión del sistema de comunicación, asegurando que se familiaricen con los últimos avances tecnológicos y sus protocolos.
- Basándose en los resultados obtenidos del modelo analítico usado se debe implementar medidas para el uso de energía, en el caso de agregar algún componente adicional al prototipo optimizando el uso de cada uno de los componentes y reduciendo los costos de implementación y mantenimiento del prototipo.
- Realizar un análisis continuo del sistema de comunicación para detectar y corregir posibles fallas o interferencias que puedan influir en la transmisión de datos.
- Fomentar el uso de tecnologías avanzadas y diversas metodologías de investigación sólidas para la mejora del prototipo.
- Analizar los requisitos para la comunicación de los componentes electrónicos (sensores, controladores, actuadores) y seleccionar el protocolo de comunicación adecuado (como Wifi, MQTT, etc.)
- Realizar un estudio detallado del sistema de monitoreo y análisis de datos en tiempo real en clases de medicina del prototipo, incluyendo los componentes electrónicos involucrados, el consumo energético y los factores que afectan al rendimiento del equipo.
- Realizar las pruebas del prototipo en los entornos de simulación, después de las capacitaciones a los estudiantes que harán uso del prototipo.
- Sugerir implementar otros prototipos para complementar las funcionalidades del SimMan 3G Plus, brindando así una gran cantidad de simulaciones para diversos casos clínicos.

REFERENCIAS

- Adetunji, K. E. (2017). *Cloud Computing for Monitoring Renewable Energy System in Rural Areas*. University of Johannesburg (South Africa).
- Autsou, S., Kudelina, K., Vaimann, T., Rassõlkin, A., & Kallaste, A. (2024). Principles and methods of servomotor control: Comparative analysis and applications. *Applied Sciences*, 14(6), 2579.
- Aydın, M., & Gürbüz, İ. (2024). IoT based a low cost battery monitoring system using ESP8266 and Arduino IoT cloud platform. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 13(4), 170-179.
- Baballe, M. A., Bello, M. I., Umar, A. A., Nigeria, K., Shehu, A. K., Bello, D., & Abdullahi, F. T. (2022). A look at the different types of servo motors and their applications. *Journal Of Engineering And Computer Sciences*, 1(2), 4-9.
- Bazalar Obregú, J. L. (2024). *Diseño de modelo físico de sistema circulatorio y corazón artificial simulado por computadora para estudios y desarrollos aplicables en cardiología*. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/96bf3dda-b9d6-490a-8c9e-454e787e0ab4>
- Ceja, J., Renteria, R., Ruelas, R., & Ochoa, G. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería eléctrica*, 1(2), 24-36.
- Chanchi, G. E., OSPINA, M. A., & PÉREZ, J. L. (2020). *Sistema IoT para la monitorización de la variabilidad del ritmo cardiaco en pruebas de usabilidad*. *Revista ESPACIOS*. ISSN, 798, 1015. <http://es.revistaespacios.com/a20v41n25/a20v41n25p07.pdf>
- Chango, W., Olivares, T., & Delicado Martínez, F. M. (2022). *Topologías en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), revisión bibliográfica*. <https://ruidera.uclm.es/bitstreams/321eda7c-3599-40d1-aa7c-c8d271cd780a/download>

- de la Salud, O. M. (2021). OMS. *Cuidados Innovadores para las condiciones crónicas. Organización y prestación de atención de alta calidad a las enfermedades crónicas no transmisibles en las Américas.*
- Díaz Marchal, B. (2019). *Análisis e implementación de recursos didácticos basados en el kit D1 mini (ESP8266) en la UD" Les comunicacions-3r d'ESO"* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Díaz, S. J., Fontalvo Méndez, C. A., Medrano Gómez, V. P., Molina Santos, S., Orozco Mercado, H. J., & Salazar Arreola, D. E. (2023). Creación de un simulador para el entrenamiento de pericardiocentesis ecoguiada en los residentes de Medicina de la universidad Simón Bolívar.
- Eleyan, A., & Fallon, J. (2020, October). IoT-based home automation using android application. In *2020 international symposium on networks, computers and communications (isncc)* (pp. 1-4). IEEE.
- Khabir, F. A. M. (2020). *Arduino-Nano Based Implementation of Supervisory Control* (Doctoral dissertation, Al-Neelain University).
- Kodali, R. K., & Mahesh, K. S. (2016, December). A low cost implementation of MQTT using ESP8266. In *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)* (pp. 404-408). IEEE.
- León, L. F. B. (2023). *Interpretaciones de los profesionales de la salud sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) como tecnología de impacto a la salud pública, análisis desde las ciencias cognitivas* (Doctoral dissertation, Universidad El Bosque).
- Mesquita, J., Guimarães, D., Pereira, C., Santos, F., & Almeida, L. (2018, September). Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things. In *2018 IEEE 23rd international conference on emerging technologies and factory automation (ETFA)* (Vol. 1, pp. 784-791). IEEE.
- Mínguez, T. D. (2020). *Processing: Desarrollo de interfaces de usuario, aplicaciones de visión artificial e IoT para Arduino y ESP8266.* Marcombo.

- Patiño Ruiz, J. (2022). *Prototipo de simulador cardiaco con estenosis e insuficiencia en válvula mitral*. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/cf25000b-84d3-42ce-bd22-5f8754d05a6d>
- Reynoso Jardón, E. L., Nandayapa, M., Estrada Barbosa, Q., Ñeco Caberta, R., Pineda Gugenbuhul, M. J., Ramírez Monares, J. A., & Arvizu Astorga, J. F. (2023). Explorando internet de las cosas basado en ESP8266: herramientas y caso de estudio. *Revista de ciencias tecnológicas*, 6(3).
- Sarah, A., Ghozali, T., Giano, G., Mulyadi, M., Octaviani, S., & Hikmaturokhman, A. (2020, August). Learning IoT: Basic experiments of home automation using ESP8266, arduino and XBee. In *2020 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)* (pp. 290-294). IEEE.
- Secihiiti, F. Y. E. G., Armenta, Q. E. A., & De Siete, S. C. A. D. (2022). *PUEBLA Y LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA NACIONAL*. https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Armando-Portillo/publication/393377747_Herramienta_para_pacientes_con_EVC_en_urgencias/links/686730a607b3253fd1cc1be6/Herramienta-para-pacientes-con-EVC-en-urgencias.pdf
- Sharma, V. (2023). Design and Implementation of Wireless Sensor Networks Using LoRaWAN, MQTT and Cloud Computing.
- Suárez González, J. R. (2024). *Desarrollo de prototipo de software interactivo fisiokinesico con sensor de movimiento MICROSOFT KINECT (Doctoral dissertation)*.
- Tsyurulnyk, S., Tsyurulnyk, M., Potapova, N., Semenov, A., & Tromsyuk, V. (2023, March). The climate control system using ESP8266 and Arduino IoT Cloud. In *CEUR Workshop Proceedings. 2022. Vol. 3309. P. 462-477. Code 185325*.
- Prabhakar, P. K. (Ed.). (2024). *Biomedical Research Developments for Improved Healthcare*. IGI Global.

ANEXOS

Anexo 1. Codificación Arduino IoT Cloud

```
/*  
  Sketch mejorado para controlar 3 servomotores - Simulación de ECG normal,  
  insuficiencia cardíaca, miocardiopatía, estenosis e insuficiencia valvular  
*/  
  
#include "thingProperties.h"  
  
#include <Servo.h>  
  
// Definición de pines  
#define SERVO1_PIN D2  
#define SERVO2_PIN D0  
#define SERVO3_PIN D1  
#define ROJO 5  
  
// Objetos Servo  
Servo servo1;  
Servo servo2;  
Servo servo3;  
  
// Simulación ECG  
unsigned long previousMillis = 0;  
const long interval = 50; // Intervalo de actualización (ms)  
int ecgPhase = 0;  
  
// Variables para insuficiencia cardíaca  
unsigned long lastUpdate = 0;  
int stage = 0;  
unsigned long stageStart = 0;  
int stageDuration = 0;  
  
// Variables para miocardiopatía  
unsigned long lastMioUpdate = 0;  
int mioPhase = 0;  
int mioPatternStage = 0;  
unsigned long mioPatternStart = 0;  
  
// Variables para estenosis  
unsigned long lastEstUpdate = 0
```

```

int estPhase = 0;
// Variables para insuficiencia valvular
unsigned long lastValvUpdate = 0;
int valvPhase = 0;
bool retroceso = false;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ROJO, OUTPUT);
  // Asignar pines a los servos
  servo1.attach(SERVO1_PIN);
  servo2.attach(SERVO2_PIN);
  servo3.attach(SERVO3_PIN);
  // Posición inicial de los servos
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  servo3.write(90);
  delay(1500);
  // Inicializar IoT Cloud
  initProperties();
  ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
  ecgValue = 0;
  setDebugMessageLevel(2);
  ArduinoCloud.printDebugInfo();
}
void loop() {
  ArduinoCloud.update();
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    if (sc1) {
      simulateECG();
      moveServos();
    } else if (sc2) {
      simularInsuficienciaCardiaca();
    } else if (sc3) {

```

```

    simularMiocardiopatia();
} else if (sc4) {
    simularEstenosis();
} else if (sc5) {
    simularInsuficienciaValvular();
} else {
    // Detener todo si no hay switch activado
    servo1.write(90);
    servo2.write(90);
    servo3.write(90);
    ecgValue = 0;
}
}
delay(50);
}
// --- SIMULACIÓN DE ECG NORMAL ---
void simulateECG() {
    if (ecgPhase < 50) {
        ecgValue = 50 * sin(ecgPhase * 0.1);
    } else if (ecgPhase < 100) {
        ecgValue = 100 * sin(ecgPhase * 0.2);
    } else if (ecgPhase < 150) {
        ecgValue = 30 * sin(ecgPhase * 0.15);
    } else {
        ecgValue = 0;
    }
    ecgPhase = (ecgPhase + 1) % 200;
}
// --- SIMULACIÓN DE INSUFICIENCIA CARDÍACA ---
void simularInsuficienciaCardiaca() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - lastUpdate >= interval) {
        lastUpdate = currentMillis;
        if (currentMillis - stageStart >= stageDuration) {
            stage = (stage + 1) % 4;

```

```

stageStart = currentMillis;
    switch(stage) {
        case 0: stageDuration = 300 + random(0, 200); break; // Taquicardia
        case 1: stageDuration = 800 + random(0, 400); break; // Bradicardia
        case 2: stageDuration = (random(0, 10) > 7) ? (1500 + random(0, 1000)) : 0; break;
// Latido débil
        case 3: stageDuration = 200; break; // Reposo
    }
}

switch(stage) {
    case 0: ecgValue = 100 + random(0, 30); break;
    case 1: ecgValue = 40 + random(0, 20); break;
    case 2: ecgValue = 20 + random(0, 10); break;
    case 3: ecgValue = 0; break;
}

    moveServos();
}
}

// --- SIMULACIÓN DE MIOCARDIOPATÍA ---
void simularMiocardiopatia() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - lastMioUpdate >= interval) {
        lastMioUpdate = currentMillis;
        if (currentMillis - mioPatternStart > 3000) {
            mioPatternStage = (mioPatternStage + 1) % 3;
            mioPatternStart = currentMillis;
        }

        switch(mioPatternStage) {
            case 0: // Ondas T invertidas
                if (mioPhase < 50) ecgValue = 40 * sin(mioPhase * 0.1);
                else if (mioPhase < 100) ecgValue = 100 * sin(mioPhase * 0.2);
                else if (mioPhase < 150) ecgValue = -30 * sin(mioPhase * 0.15);
                else ecgValue = 0;
                break;
                case 1: // QRS ancho

```

```

    if (mioPhase < 60) ecgValue = 40 * sin(mioPhase * 0.1);
    else if (mioPhase < 150) ecgValue = 80 * sin(mioPhase * 0.1);
    else if (mioPhase < 180) ecgValue = 20 * sin(mioPhase * 0.15);
    else ecgValue = 0;
    break;
    case 2: // Extrasístoles
    if (mioPhase < 40) ecgValue = 40 * sin(mioPhase * 0.1);
    else if (mioPhase < 80) ecgValue = 120 * sin(mioPhase * 0.2);
    else if (mioPhase < 120) ecgValue = 20 * sin(mioPhase * 0.15);
    else if (mioPhase < 140 && random(0, 10) > 6) ecgValue = 150 * sin((mioPhase-
120) * 0.3);
    else ecgValue = 0;
    break;
    }
    mioPhase = (mioPhase + 1) % 200;
    moveServos();
}
}
// --- SIMULACIÓN DE ESTENOSIS ---
void simularEstenosis() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - lastEstUpdate >= interval) {
        lastEstUpdate = currentMillis;
        // Movimiento reducido y más lento (flujo limitado)
        if (estPhase < 100) {
            ecgValue = 40 * sin(estPhase * 0.05); // amplitud reducida
        } else {
            ecgValue = 0; // Pausa simulando flujo restringido
        }
        estPhase = (estPhase + 1) % 150;
        moveServos();
    }
}
// --- SIMULACIÓN DE INSUFICIENCIA VALVULAR ---
void simularInsuficienciaValvular() {

```

```

unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - lastValvUpdate >= interval) {
  lastValvUpdate = currentMillis;
  // Pico alto y luego retroceso (sangre que se devuelve)
  if (!retroceso) {
    ecgValue = 120 * sin(valvPhase * 0.2); // Contracción fuerte
    if (valvPhase > 40) retroceso = true; // Activa retroceso
  } else {
    ecgValue = -60 * sin(valvPhase * 0.1); // Retroceso de sangre
    if (valvPhase > 80) {
      retroceso = false;
      valvPhase = 0;
    }
  }
  valvPhase = (valvPhase + 1) % 200;
  moveServos();
}
}
// --- MOVER LOS TRES SERVOS ---
void moveServos() {
  int safeValue = constrain(ecgValue, -100, 100);
  int angle = map(abs(safeValue), 0, 100, 90, 180);
  servo1.write(angle);
  servo2.write(angle);
  servo3.write(angle);
}
// --- EVENTOS DE IoT ---
void onLedChange() {
  digitalWrite(ROJO, led ? HIGH : LOW);
}
void onSc1Change() {
  if (sc1) {
    Serial.println("ECG normal activado.");
    sc2 = false; sc3 = false; sc4 = false; sc5 = false;
  }
}

```

```
}  
void onSc2Change() {  
    if (sc2) {  
        Serial.println("Insuficiencia cardíaca activada.");  
        sc1 = false; sc3 = false; sc4 = false; sc5 = false;  
        stage = 0; stageStart = millis(); stageDuration = 0;  
    }  
}  
void onSc3Change() {  
    if (sc3) {  
        Serial.println("Miocardiopatía activada.");  
        sc1 = false; sc2 = false; sc4 = false; sc5 = false;  
        mioPhase = 0; mioPatternStage = 0; mioPatternStart = millis();  
    }  
}  
void onSc4Change() {  
    if (sc4) {  
        Serial.println("Estenosis activada.");  
        sc1 = false; sc2 = false; sc3 = false; sc5 = false;  
        estPhase = 0;  
    }  
}  
void onSc5Change() {  
    if (sc5) {  
        Serial.println("Insuficiencia valvular activada.");  
        sc1 = false; sc2 = false; sc3 = false; sc4 = false;  
        valvPhase = 0; retroceso = false;  
    }  
}
```

Anexo 2. Práctica de simulación en UCI

PRÁCTICA EN UCI USANDO SIMUHEART CON SIMMAN 3G PLUS

Objetivo

Esta práctica tiene como objetivo el análisis del caso clínico de un paciente que se encuentra en UCI y configurar los parámetros del prototipo para realizar la simulación en conjunto con los datos que nos brinda el SimMan 3G Plus.

Materiales Necesarios

- Prototipo SimuHeart
- Módulo de comunicación Wifi.
- ESP8266 u otro microcontrolador compatible.
- Fuente de alimentación.
- Cables y conectores.
- Computadora con software de programación (Arduino Cloud).

Conexión del Prototipo como complemento del SimMan 3G Plus

Se elige un lugar adecuado en el departamento donde se colocará el prototipo. Debe estar cerca a un punto eléctrico, ya que solo se necesita de alimentación para que el prototipo pueda empezar los procesos de simulación y así obtener las lecturas representativas.

Asegúrate de que el lugar seleccionado permita un fácil acceso para su mantenimiento.

Fija el prototipo y su cable de alimentación a un soporte utilizando abrazaderas o soportes.

Asegúrate de que esté firmemente sujetado y no se mueva con el movimiento.

Registro fotográfico de la Instalación del prototipo al sistema de alimentación



Anexo 3. Práctica de simulación en Hospitalización

PRÁCTICA EN HOSPITALIZACIÓN USANDO SIMUHEART CON SIMMAN 3G PLUS

Objetivo

Esta práctica tiene como objetivo el análisis del caso clínico de un paciente que se encuentra en Hospitalización y configurar los parámetros del prototipo para realizar la simulación en conjunto con los datos que nos brinda el SimMan 3G Plus.

Materiales Necesarios

- Prototipo SimuHeart
- Módulo de comunicación Wifi.
- ESP8266 u otro microcontrolador compatible.
- Fuente de alimentación.
- Cables y conectores.
- Computadora con software de programación (Arduino Cloud).

Conexión del Prototipo como complemento del SimMan 3G Plus

Se elige un lugar adecuado en el departamento donde se colocará el prototipo. Debe estar cerca de un punto eléctrico, ya que solo se necesita de alimentación para que el prototipo pueda empezar los procesos de simulación y así obtener las lecturas representativas.

Se procede a verificar la conexión del prototipo con la red Wifi que se encuentra en la zona que estará el prototipo.

Se realiza la programación del equipo por cable al ESP8266 hasta que se envíen todos los datos que el prototipo requiere para su conexión.

Se abre el software Arduino Cloud para activar el caso respectivo de análisis y efectuar la simulación con todos los parámetros ya configurados.

Registro fotográfico de la Instalación del prototipo en el departamento de Hospitalización.

