



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS COMPUTACIONALES

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO
BASADO EN LÓGICA DIFUSA PARA LA DETECCIÓN
TEMPRANA DE UN PARO CARDÍACO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Sistemas Computacionales

Autor(es):

Br. Rodriguez Johnson, Stefany Grace

Br. Vera Ulloa, Diana Carolina

Asesor:

Mg. Gómez Avila, José Alberto

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por las Bachilleres **Stefany Grace Rodriguez Johnson** y **Diana Carolina Vera Ulloa**, denominada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO BASADO EN LÓGICA
DIFUSA PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE UN PARO CARDÍACO”**

Mg. José Alberto Gómez Avila
ASESOR

Mg. Víctor Enemesio Dávila Rodríguez
**JURADO
PRESIDENTE**

Mg. Rolando Javier Berrú Beltrán
JURADO

Ing. Luis Mauricio Gutiérrez Magán
JURADO

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a nuestros padres, hermanas y familiares quienes nos apoyaron en cada momento, gracias a ellos culminamos nuestra carrera profesional y el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

A nuestros maestros de la Universidad Privada del Norte por brindarnos sus enseñanzas durante nuestra etapa de estudiantes, también a nuestro querido asesor de tesis Mg. José Alberto Gómez Avila por el tiempo y la dedicación brindada para lograr culminar de manera exitosa el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación.....	12
1.4. Limitaciones	13
1.5. Objetivos	13
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	13
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. <i>Sistema Experto</i>	16
2.2.2. <i>ISO/IEC 25010</i>	17
2.2.3. <i>Lógica difusa</i>	19
2.2.4. <i>Pulsera Electrónica</i>	23
2.2.5. <i>Sensor</i>	24
2.2.6. <i>Integración de los sensores</i>	27
2.2.7. <i>Paro cardíaco</i>	28
2.2.8. <i>Metodologías ágiles de desarrollo de software</i>	29
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	34
3.1. Formulación de la Hipótesis.....	34
3.2. Operacionalización de variables	35
CAPÍTULO 4. DESARROLLO.....	37
4.1. Información general del proyecto.....	37
4.1.1. <i>Nombre del proyecto</i>	37
4.1.2. <i>Descripción del proyecto</i>	37
4.1.3. <i>Alcance del proyecto</i>	37

4.1.4.	<i>Riesgos principales</i>	37
4.1.5.	<i>Restricciones</i>	37
4.1.6.	<i>Criterios de aceptación</i>	37
4.2.	Planificación del proyecto	38
4.2.1.	<i>Participantes y Roles</i>	38
4.2.2.	<i>Establecimiento de requerimientos (Product Backlog)</i>	38
4.2.3.	<i>Establecimiento de Sprints (Sprint Backlog)</i>	39
4.2.4.	<i>Establecimiento de Releases (Release Backlog)</i>	40
4.2.5.	<i>Burndown Chart</i>	41
4.3.	Desarrollo del proyecto	42
4.3.1.	<i>Release 1</i>	42
4.3.2.	<i>Release 2</i>	52
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA		60
5.1.	Diseño de investigación	60
5.2.	Unidad de estudio	60
5.3.	Población	60
5.4.	Muestra (muestreo o selección).....	60
5.5.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	61
5.6.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	62
CAPÍTULO 6. RESULTADOS		67
6.1.	Prueba de la hipótesis.....	67
6.1.1.	<i>Dimensión de Fiabilidad de la variable Dependiente</i>	67
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN		72
CONCLUSIONES		73
RECOMENDACIONES		74
REFERENCIAS		75
ANEXOS		78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Sensor de pulso. Especificaciones	24
Tabla N° 2. Sensor de humedad. Especificaciones	25
Tabla N° 3. Sensor de temperatura. Especificaciones	26
Tabla N° 4. Comparación de metodologías ágiles vs. tradicionales.....	29
Tabla N° 5. Cuadro comparativo de metodologías ágiles.....	31
Tabla N° 6. Operacionalización de variable independiente	35
Tabla N° 7. Operacionalización de variable dependiente	36
Tabla N° 8. Equipo Scrum.....	38
Tabla N° 9. Product Backlog	38
Tabla N° 10. Rango de valoración de esfuerzo	38
Tabla N° 11. Sprint Backlog	39
Tabla N° 12. Release Backlog	40
Tabla N° 13. Definición de sensores	42
Tabla N° 14. Conjuntos difusos: Variables de entrada	43
Tabla N° 15. Conjuntos difusos: Variable de salida	43
Tabla N° 16. Base de reglas para la inferencia.....	47
Tabla N° 17. Lista de cotejo: Estado de los sensores.	47
Tabla N° 18. Lista de cotejo: Envío por Bluetooth	51
Tabla N° 19. Lista de cotejo: Recepción de datos de sensores	52
Tabla N° 20. Ejemplo de valores de variables de entrada	54
Tabla N° 21. Resultado de fusificación	56
Tabla N° 22. Implementación de lógica difusa: primera regla	56
Tabla N° 23. Implementación de lógica difusa: Ubicar grado de pertenencia	57
Tabla N° 24. Implementación de lógica difusa: evaluar reglas	57
Tabla N° 25. Resultado de evaluación de reglas.....	57
Tabla N° 26. Técnicas e instrumentos de la variable dependiente.....	61
Tabla N° 27. Técnicas e instrumentos de la variable independiente.....	61
Tabla N° 28. Cuadro de técnicas para procesar la información.	62
Tabla N° 29. Métodos y procedimientos de la variable dependiente.....	63
Tabla N° 30. Métodos y procedimientos de la variable independiente.....	66
Tabla N° 31. Resultado indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco...	69
Tabla N° 32. Cálculo de hipótesis del Indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco.....	70
Tabla N° 33. Comparativo Indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Características del modelo de calidad del producto software	18
Figura N° 2. Función de pertenencia: Triángulo	20
Figura N° 3. Función de pertenencia: Trapezoidal	21
Figura N° 4. Función de pertenencia: Gaussiana	21
Figura N° 5. Función de pertenencia: Sigmoidal.....	22
Figura N° 6. Sensor de pulso: Sen 0386 (adelante)	24
Figura N° 7. Sensor de pulso: Sen 0386 (atrás)	25
Figura N° 8. Sensor de humedad: LM393.....	25
Figura N° 9. Sensor de temperatura: LM35	26
Figura N° 10. Placa Arduino.....	27
Figura N° 11. Módulo Bluetooth	27
Figura N° 12. Infarto agudo de miocardio	28
Figura N° 13. Ciclo de vida de Scrum.....	33
Figura N° 14. Burndown Chart	41
Figura N° 15. Función de pertenencia: Pulso Cardíaco.....	44
Figura N° 16. Función de pertenencia: Humedad de la muñeca	44
Figura N° 17. Función de pertenencia: Temperatura de la muñeca	45
Figura N° 18. Función de pertenencia: Nivel de peligro	45
Figura N° 19. Sensor de pulso conectado a arduino	48
Figura N° 20. Sensor de humedad conectado a arduino.....	48
Figura N° 21. Sensor de temperatura conectado a arduino	49
Figura N° 22. Diagrama de circuito lógico.....	49
Figura N° 23. Conexiones entre módulo Bluetooth y Arduino.	50
Figura N° 24. Implementación de la conexión del módulo Bluetooth	50
Figura N° 25. Implementación de los sensores en conjunto con el arduino	51
Figura N° 26. Modelo Mamdani	53
Figura N° 27. Inferencia según Mamdani.....	53
Figura N° 28. Resultado de la agregación de las salidas	58
Figura N° 29. Resultado de la defusificación	59
Figura N° 30. Región crítica del Indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco.....	71
Figura N° 31. Gráfico comparativo: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco .	72

RESUMEN

El presente proyecto fue realizado para brindar solución al mayor problema de muchas familias que es el paro cardíaco. Según la Organización Mundial de la Salud (2018), es una de las dos causas principales de mortalidad en el mundo, durante los últimos 15 años, las cuales, en el año 2016, ocasionaron 15,2 millones de defunciones registradas.

El problema radica por la falta de dispositivos de detección de paros cardíacos, y a pesar de que existen investigaciones acerca de enfermedades del corazón, en nuestra localidad no existen estadísticas relacionadas con dispositivos electrónicos que detectan un paro cardíaco.

Para dar solución a este problema se desarrolló una pulsera electrónica capaz de medir el pulso cardíaco, temperatura y nivel de sudoración del usuario utilizando sensores ubicados en la parte interior de este, captando las señales del cuerpo y enviando los datos a la aplicación móvil donde por medio de la lógica difusa enviará una alerta a la persona responsable de socorrer al usuario con paro cardíaco.

Se realizó la investigación de los factores que provocan un paro cardíaco (sus síntomas) mediante la entrevista al médico de cardiología, y así determinar las variables necesarias para el desarrollo del presente proyecto. Para luego desarrollar el sistema experto basado en lógica difusa y la pulsera electrónica. Utilizando la metodología ágil Scrum, que permite presentar el producto de forma periódica, aplicando buenas prácticas del trabajo en equipo, facilitando el hallazgo de soluciones óptimas y oportunas, a los problemas en el transcurso del desarrollo del proyecto.

Una vez concluido el desarrollo, se realizó la medición de las variables mediante las fórmulas definidas de los indicadores.

Al finalizar el proyecto, el sistema propuesto es capaz de la detección temprana de un paro cardíaco en pacientes reincidentes con problemas cardíacos.

ABSTRACT

The present project was made to provide a solution to the biggest problem of families that is cardiac arrest. According to the World Health Organization (2018), it is one of the leading causes of mortality in the world, during the last 15 years, which, in 2016, caused 15.2 million registered deaths.

The problem lies in the lack of detection devices for cardiac arrest, and although there is research on heart disease, in our town there are no statistics related to electronic devices that detect cardiac arrest.

To solve this problem, an electronic wristband was developed to measure the heart rate, temperature and level of sweating of the user using sensors located inside of the wristband, capturing body signals and sending data to the mobile application where means of diffuse logic will send an alert to the person responsible to help the user with cardiac arrest.

The investigation of the factors that cause cardiac arrest (its symptoms) was carried out by means of the interview with the cardiology doctor, and thus determine the variables necessary for the development of the present project. To then develop the expert system based on fuzzy logic and the electronic wristband. Using the Agile Scrum methodology, which allows presenting the product periodically, applying good practices of teamwork, facilitating the finding of optimal and timely solutions, to the problems during the development of the project.

Once the development was concluded, the variables were measured using the defined formulas of the indicators.

At the end of the project, the proposed system is capable of early detection of cardiac arrest in relapsed patients with heart problems.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según la Organización Mundial de la Salud (2018), las dos causas principales de mortalidad en el mundo, durante los últimos 15 años, han sido la cardiopatía isquémica y el accidente cerebrovascular; las cuales, en el año 2016, ocasionaron 15,2 millones de defunciones registradas.

La principal causa de un paro cardíaco es el infarto del miocardio que es un tipo de cardiopatía isquémica (enfermedad del corazón). Gran parte de las enfermedades al corazón surgen porque las personas no llevan un estilo de vida saludable. En España, Moreno et al. (2008) mencionan que la alimentación basada en una dieta de azúcares y grasas a la larga producen obstrucciones en el corazón, además de ello se suman otras situaciones como la historia familiar, estrés relacionado con el trabajo, falta de sueño adecuado, tabaquismo, alcoholismo y falta de ejercicio.

La mayoría de personas no llegan a saber el momento exacto en el que están atravesando por un paro cardíaco y no pueden tomar medidas para combatirlo.

En España, Estados Unidos y otros países americanos, se lanzaron al mercado dispositivos que pueden monitorear el estado del corazón y la presión arterial. Estos dispositivos llamados pulseras running o pulseras de actividad física, tienen como una de sus funciones dar a conocer la cantidad de latidos del corazón por minuto de la persona que los utiliza, ya sea que se encuentre en reposo o en movimiento.

Cunado (2016) indica que existen 10 variedades de pulseras running: Microsoft Band 2, Fitbit Charge 2, Samsung Gear Fit 2, Garmin Vivosmart HR, Garmin Vivosmart HR+, Polar A360, Withings Pulse O2, Polar Loop 2, Garmin Vivofit 3 y LG Lifeband Touch que monitorean distintas variables, de las cuales la pulsera Garmin Vivosmart HR se enfoca a la investigación por su característica del pulsómetro que se encarga de medir la frecuencia cardíaca.

En el caso médico existen diferentes equipos electrónicos como el llamado Sensitive Imago, un equipo electrónico que utiliza la biorresonancia bajo la tecnología NLS (Sistema no lineal de análisis), que es un método de diagnóstico. Este equipo electrónico se centra en descubrir enfermedades patológicas y desequilibrio en los órganos, a nivel celular, así la persona no haya tenido síntomas de alguna enfermedad. (Alfa-Med Ucrania, s.f.)

Existe también un examen especializado y no invasivo llamado Angiografía por Resonancia Magnética (ARM) del Corazón que permite evaluar la luz y las paredes de los vasos coronarios del corazón, para saber si presentan algún estrechamiento u obstrucción

ocasionado por depósitos de grasa o placas cálcicas en la pared del vaso. (Society of Interventional Radiology (SIR), 2017).

En el 2014, un estudio del Ministerio de Salud reveló que más del 16% de peruanos sufren de presión arterial alta, y dentro de este grupo, los varones lo padecen con mayor frecuencia que las mujeres. Además, advirtieron que la tasa de mortalidad por enfermedad de corazón, provocada por un infarto, representa un 28.77% en todo el Perú. Esa cifra va en aumento por las malas costumbres alimenticias, consumo excesivo de tabaco, inactividad física, estrés y, posiblemente, problemas hereditarios. El 50% de infartos se presentan en personas que no tienen síntomas de problemas al corazón, sino que mantienen estilos de vida inadecuados que afectan su salud.

Chirinos (2008) indica que el sistema actual de los centros hospitalarios se limita a atender a los pacientes dentro del mismo hospital forzándolo a esperar su turno. Además, el insuficiente personal médico y la mala organización traen como consecuencia diagnósticos imprecisos poniendo en riesgo la vida de los pacientes. Una solución a los problemas mencionados anteriormente son los “Sistemas de Diagnóstico desde el Punto de Asistencia” (*point of care*) que brindan mayor proximidad entre los pacientes y médicos, permiten el envío de las muestras de los pacientes: su temperatura, presión arterial, ECG (actividad eléctrica del corazón), ritmo cardíaco, entre otros, desde su hogar o habitación de un hospital, hacia un laboratorio para su revisión y/o almacenamiento. De esa forma, reduce costos logísticos del traslado de pacientes para la toma de muestras en hospitales. Por consiguiente, Chirinos implementó un prototipo de un módulo de transmisión RF para señales electrocardiográficas que permite a cualquier persona con una computadora, ver su señal ECG. Sin embargo, no son equipos portables con los que la persona pueda desplazarse con naturalidad llevando consigo el equipo.

A pesar de que existen investigaciones acerca de enfermedades del corazón, en nuestra localidad no existen estadísticas relacionadas con dispositivos electrónicos que detectan un paro cardíaco.

1.2. Formulación del problema

¿Es posible la detección temprana de un paro cardíaco en pacientes reincidentes con problemas cardíacos mediante la implementación de un sistema experto?

1.3. Justificación

Al finalizar esta investigación, se ofrecerá un dispositivo electrónico (pulsera electrónica) y una aplicación móvil con envío de notificaciones, capaz de detectar un paro cardíaco beneficiando a personas reincidentes de paro cardíaco.

Desde el punto de vista socio-económico, este producto ofrecerá beneficios a las personas de todos los estatus económicos porque implicaría un solo gasto de compra que se utilizará en el día a día, evitando costos logísticos de hospitales, doctores, medicinas, entre otros. Generando menos gastos para las personas de bajos recursos. Además, brindará estabilidad emocional a personas reincidentes de paro cardíaco frente a su enfermedad.

Asimismo, el presente proyecto presenta una justificación académica debido a que permite poner en práctica los conocimientos adquiridos en la formación profesional y podrá ser tomado como un antecedente para futuros trabajos de la comunidad estudiantil, enriqueciendo la información sobre aplicaciones móviles conectadas a pulseras electrónicas, que puedan detectar un paro cardíaco.

1.4. Limitaciones

La limitación que hemos enfrentado fue la falta de información en el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) de pacientes reincidentes de cardiología y por ello se optó por la información que nos brindó un médico de cardiología de un hospital en Trujillo.

Otra limitación que enfrentamos fue que la funcionalidad de envío de SMS utilizada en el sistema experto solo es soportada en la versión de Android 5.1 del celular donde se instale la aplicación móvil, puesto que las siguientes versiones (a partir de la 6.0) tienen un nivel de seguridad más alto y su funcionalidad es más restringida.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Implementar un sistema experto basado en lógica difusa para la detección temprana de un paro cardíaco en pacientes reincidentes con problemas cardíacos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de alertas correctas del sistema experto para la detección temprana de un paro cardíaco.
- Identificar el nivel de aprendizaje del sistema experto para los pacientes con problemas cardíacos.
- Calcular el porcentaje de completitud de implementación funcional del sistema experto con respecto a los requerimientos proporcionados por el experto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El estudio realizado por Gutiérrez (2016) titulado: “Sistema de monitoreo continuo de signos vitales con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos”, tuvo como objetivo desarrollar un sistema de monitoreo continuo de variables fisiológicas clínicas del paciente, para lo cual elaboró un dispositivo “wearable” que consiste en una camiseta de microfibra con sensores incorporados (electrodos textiles, elástico piezoresistivo, termistor de resistencia variable y un sensor comercial, que miden la actividad eléctrica del corazón, el movimiento respiratorio, la temperatura axilar, y, la temperatura ambiental y humedad relativa, respectivamente), para calcular los parámetros fisiológicos: frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria que posteriormente, mediante un módulo *Bluetooth*, son enviados al software de monitoreo para su análisis y reporte de datos sobre el estado de salud del paciente, los cuales son revisados por un profesional capacitado. El sistema fue probado en 3 sujetos, dos adultos y un infante, en dos ambientes: en el laboratorio y en el hogar. Los resultados obtenidos en el caso del adulto de sexo masculino de 23 años que se midieron en el laboratorio, en promedio fueron: la frecuencia cardíaca (FC) de 61.49 latidos/min con una desviación estándar de 5.90 latidos/min; la frecuencia respiratoria (FR) de 15.13 ciclos/min con desviación estándar de 3.02 ciclos/min; la temperatura corporal periférica (TCP) de 36.72°C con una desviación estándar de 0.27 y las variables ambientales fueron 24.54°C y 51.95%. El caso del adulto de sexo femenino de 20 años, se midieron en el hogar y en promedio se obtuvo: la FC de 61.73 latidos/min con una desviación estándar de 6.73; la FR de 13.48 ciclos/min con una desviación estándar de 4.31, la TCP de 39.95°C con una desviación estándar de 0.12 y las variables ambientales fueron de 24.87°C y 55.47%. Finalmente, el caso del infante de 9 años que se midieron en reposo se obtuvo, en promedio, la FC de 78.28 latidos/min con una desviación estándar de 7.71; la FR de 10.45 ciclos/min con una desviación estándar de 5.21; la TCP de 36.72°C con una desviación estándar de 0.14 y las variables ambientales fueron de 24.3°C y 55.21%. En base a estos datos, la investigación nos demuestra que es posible que se puedan detectar los signos vitales con el uso de sensores para detectar problemas cardíacos en las personas.

En la investigación realizada por Cunado, E. (2016), titulado: Pulseras running con pulsómetro para monitorizar la frecuencia cardíaca en carrera, su objetivo fue la falta de dispositivos que puedan dar a conocer el ritmo cardíaco y cantidad de palpitations o personas deportistas que practiquen natación, atletismo, deportes de campo y agua. Se utilizó una herramienta que les facilitó a los deportistas monitorear sus impulsos cardíacos, identificando y analizando los materiales para cada deportista según su necesidad como: sensores de monitoreo de oxígeno y del corazón, para los atletas; materiales resistentes al agua, para el caso de los nadadores;

e incorporaciones de dispositivos bluetooth. Se probó en deportistas y las conexiones de envío de información, pruebas dentro del agua, pero se detectó que ninguno de los dispositivos avisaba cuando el corazón entraba en un momento crítico. La postura coincide con las ideas que aspiramos a desarrollar, porque el estudio muestra que es posible dar una segunda utilidad a los dispositivos de palpitations y orienta a llevarlo a una perspectiva medicinal y agregar una nueva innovación haciéndolo eficaz y útil nuestra investigación.

El estudio realizado por el Instituto de Cardiología de Lima (2013) titulado: “Nuevo laboratorio de Hemodinamia”, el cual efectuó una investigación con el objetivo de implementar un equipo de hemodinamia con la más avanzada tecnología para poder salvar la vida a pacientes que ingresan con un infarto agudo. El cual se realizó utilizando procedimientos percutáneos, mínimamente invasivos, que trabajan a través de las arterias de la ingle o de la muñeca, utilizando catéteres y/o instrumentos muy finos y delgados para corregir las obstrucciones o malformaciones. Los resultados que obtuvieron fueron exitosos, se ingresó un paciente con un infarto agudo y se realizó una intervención inmediata donde se pudo probar el equipo logrando salvar la vida del paciente. La información contribuye a la investigación porque es importante detectar a temprano momento un paro cardíaco para impedir que ocurran este tipo de intervenciones de emergencia y riesgosa y así evitar tragedias y gastos medicinales.

Chirinos, R. (2008) en su investigación titulada: “Diseño de un prototipo de módulo RF aplicado a telemedicina para monitoreo de señales ECG en hospitales y domicilios”, tuvo como finalidad mejorar el monitoreo de los pacientes y lograr diagnósticos más certeros, contribuyendo el desarrollo de dispositivos médicos orientados a la telemedicina. Los resultados fueron, la señal ECG transmitida por radiofrecuencia alcanzó por lo menos 50 metros de distancia entre el módulo hardware y el software, y el microcontrolador del sistema se alimentó con 4.0VDC que permitió al equipo ser portátil alimentado por baterías o pilas. Esta investigación es pertinente porque se demuestra que es posible implementar un módulo portátil de monitoreo de señales ECG que permite a cualquier persona, con una computadora, ver su señal ECG, además de proporcionar datos de sensores que se tomaron en cuenta.

La investigación de Quisbert, M. (2013) titulada: “Sistema experto para el diagnóstico de la enfermedad coronaria (isquemia)” tuvo como objetivo proporcionar un diagnóstico confiable de las posibilidades de tener la enfermedad coronaria, en base a factores de riesgo y síntomas de una persona, a través de un sistema experto utilizando lógica difusa. Los resultados de la investigación fueron: el índice de presión tomada por el médico cardiólogo fue de 96% y por el sistema experto desarrollado fue de 83%; el tiempo promedio de atención por el cardiólogo fue de 51.1 minutos y el del sistema experto desarrollado fue de 17.3 minutos. Los datos demuestran que el sistema experto da una respuesta rápida al diagnóstico en comparación con el cardiólogo, además, es confiable como el cardiólogo, pues los conocimientos de este

son usados en el análisis del sistema experto. Este hecho refuerza a la presente investigación debido a que es posible detectar problemas en el corazón.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema Experto

Según Pressman (2010, pág. 6-7), existen diversos tipos de aplicación de software o como él los nombra: “dominios de aplicación del software”, uno de ellos es el software de inteligencia artificial, el cual utiliza algoritmos no numéricos para solucionar problemas complejos que son difícilmente tratados computacionalmente o con el análisis directo. Los sistemas expertos son un campo de aplicación en esta área.

Fernández Centeno (1987) citado por Fortuna, M. (1991, pág. 51) define que un sistema experto (SE) es “un programa de Inteligencia Artificial que, basándose en el conocimiento, puede realizar una tarea que de alguna forma puede resultar dificultosa, y que normalmente la suele realizar el experto humano”. Dicho de otra forma, es un sistema que actúa como un experto humano, utilizando reglas de inferencia basándose en el conocimiento proporcionado por el experto, para dar respuestas confiables a los usuarios finales.

Existen tres tipos de sistemas expertos (Badaró, Ibañez, & Agüero, 2013):

- **Basados en reglas previamente establecidas.** Trabajan mediante la aplicación de reglas heurísticas apoyándose comúnmente en lógica difusa para su comparación y evaluación de resultados.
- **Basados en casos.** Trabajan mediante el razonamiento basado en casos haciendo analogías basándose en las soluciones anteriores de problemas similares.
- **Basados en redes bayesianas.** Trabajan mediante la aplicación del teorema de bayes, con el modelo bayesiano o modelo probabilístico.

2.2.1.1. Componentes básicos

Al existir una gran variedad de herramientas para desarrollar sistemas expertos, no existe un estándar; sin embargo, tienen componentes en común. Fortuna (1991, pág. 52), señala los siguientes componentes básicos:

- **Base de conocimiento.** Son el conjunto de reglas de la información extraída del experto humano y representados por el

ingeniero de conocimientos, que definen cómo se va a evaluar la información de entrada.

- **Base de hechos o datos.** Son los datos de entrada del usuario con los que el sistema experto infiere una respuesta basada en las reglas.
- **Sistema de Control e Inferencia.** Es el motor de inferencia que, con el uso de la base de conocimientos, interpretan y evalúan los datos de entrada, para construir razonamientos y dar respuesta o solución al usuario final.
- **Interfaz de usuario.** Es la interfaz gráfica del sistema experto con la que el usuario final interactúa.

Los componentes del sistema experto durante su proceso de análisis e implementación se relacionan con tres grupos de personas (Fortuna, 1991, pág. 52):

- **Expertos en el dominio de aplicación.** Son los especialistas en el área de interés de la aplicación.
- **Ingenieros de conocimientos.** Son los que construyen la base de conocimiento, a partir de las abstracciones de lo proporcionado por el experto.
- **Usuarios finales.** (Expertos o no). Son los que interactúan con el sistema experto, por medio de la interfaz gráfica.

2.2.2. ISO/IEC 25010

Es la segunda división, “Modelo de Calidad”, de las que componen la familia de normas ISO/IEC 25000 SQuaRE (System and Software Quality Requirements and Evaluation) cuya finalidad es orientar el desarrollo de productos software, por medio de “la especificación de requisitos y evaluación de características de calidad” (ISO 25000, 2014), dicha norma es basada en la ISO 9126 y en la ISO 14598.

El Modelo de Calidad del producto de software definido por la ISO/IEC 25010 está compuesto por ocho características de calidad: Adecuación Funcional, Eficiencia de Desempeño, Compatibilidad, Usabilidad, Fiabilidad, Seguridad, Mantenibilidad y Portabilidad, de las cuales, en la presente investigación solo se utilizaron tres: Usabilidad, Adecuación Funcional y Fiabilidad.



Figura N° 1. Características del modelo de calidad del producto software

Fuente: (ISO 25000, 2014). ISO/IEC 25010.

2.2.2.1. Usabilidad

Esta característica se manifiesta en la facilidad con la que el usuario entiende, aprende y utiliza el producto software, bajo determinadas condiciones. La ISO 25000 (2014) subdivide a este atributo en:

- **Capacidad para reconocer su adecuación:** Es la aptitud del producto que permite al usuario entender si es adecuado para sus necesidades.
- **Capacidad de aprendizaje:** Es la facultad del producto en permitir al usuario aprender su aplicación.
- **Capacidad para ser usado:** Es la aptitud del producto que concede al usuario operarlo y controlarlo con facilidad.
- **Protección contra errores de usuario:** Es la capacidad del sistema para proteger a los usuarios de hacer errores.
- **Estética de la interfaz de usuario:** Es la capacidad de la interfaz de usuario de agradar y satisfacer la interacción con el usuario.
- **Accesibilidad:** Es la capacidad del producto de permitir ser utilizado por usuarios con determinadas características y discapacidades.

2.2.2.2. Adecuación Funcional

Esta característica presenta la capacidad de un sistema en realizar las funciones especificadas cuando se usa bajo las condiciones declaradas. (ISO 25000, 2014). Se subdivide en:

- **Compleitud funcional:** “Capacidad del sistema para proporcionar todas las funciones especificadas por el usuario”. (AQCLab, s.f.)
- **Corrección funcional:** Es la capacidad del sistema para entregar resultados correctos y deseados por el usuario.
- **Pertinencia funcional:** “Capacidad del sistema para llevar a cabo únicamente las funciones necesarias para que el sistema realice las tareas y objetivos que han sido especificados por el usuario”. (AQCLab, s.f.).

2.2.2.3. Fiabilidad

Esta característica se presenta en el sistema al desempeñar las funciones especificadas bajo condiciones y periodo de tiempo determinados. Se subdivide en:

- **Madurez:** “Capacidad del sistema para satisfacer las necesidades de fiabilidad en condiciones normales”. (ISO 25000, 2014).
- **Disponibilidad:** Es la disposición del sistema de estar accesible y operativo para su uso cuando se requiere.
- **Tolerancia a fallos:** “Capacidad del sistema o componente para operar según lo previsto en presencia de fallos hardware o software”. (ISO 25000, 2014)
- **Capacidad de recuperación:** Es la facultad del sistema para recuperar los datos afectados y restaurar el estado deseado en caso de fallo o interrupción.

2.2.3. Lógica difusa

La lógica difusa o, también llamada lógica borrosa, es un tipo de lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la información ambigua, imprecisa o incompleta, “de una forma adecuada, atendiendo a criterios de significado (y no de precisión)”. (González Morcillo, 2011). El concepto clave con el que trabaja la lógica difusa es el conjunto difuso.

2.2.3.1. Conjuntos difusos

Guzmán y Castaño (2006) mencionan que “un conjunto difuso es un conjunto con límites borrosos o “no muy bien” definidos”. Así un elemento de un conjunto difuso puede pertenecer “parcialmente” a otro. Cada conjunto difuso está definido por una función de pertenencia.

2.2.3.2. Función de pertenencia

Una función de pertenencia establece el grado de pertenencia de los elementos de un conjunto difuso. Representa la posibilidad de que un elemento se encuentre en el interior del conjunto. Para definir las funciones de pertenencia de cada conjunto depende de las características propias del conjunto real del cual representa. Según el Programa de Integración de Tecnología (2015), las funciones de pertenencia más comunes son:

- **Función triangular:** Tiene una distribución de probabilidad continua que tiene un valor mínimo P_1 , un valor máximo P_3 y una moda P_2 , de modo que la función de densidad de probabilidad es cero para los extremos (P_1 y P_3), y similar entre cada extremo y la moda, por lo que su gráfico es un triángulo.

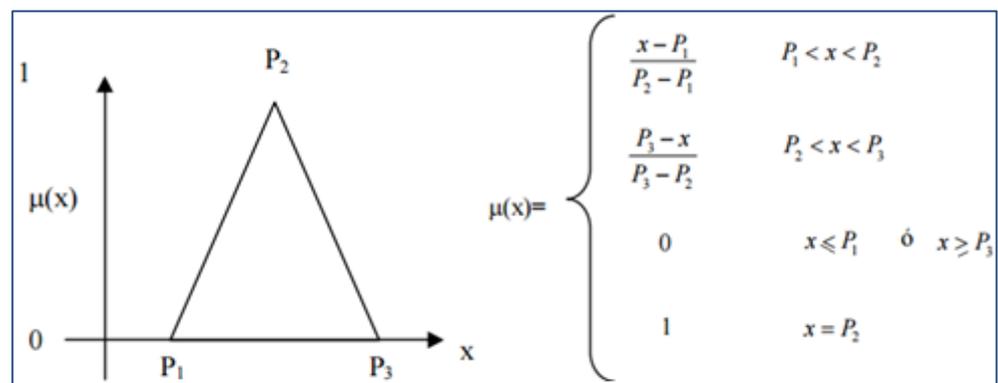


Figura N° 2. Función de pertenencia: Triángulo

Fuente: (Blancas Núñez, 2016) Sistemas Inteligentes: Lógica difusa

- **Función trapezoidal:** Definida por sus límites inferior P_1 , y superior P_2 , un límite de soporte inferior P_2 , y un límite de soporte superior P_3 .

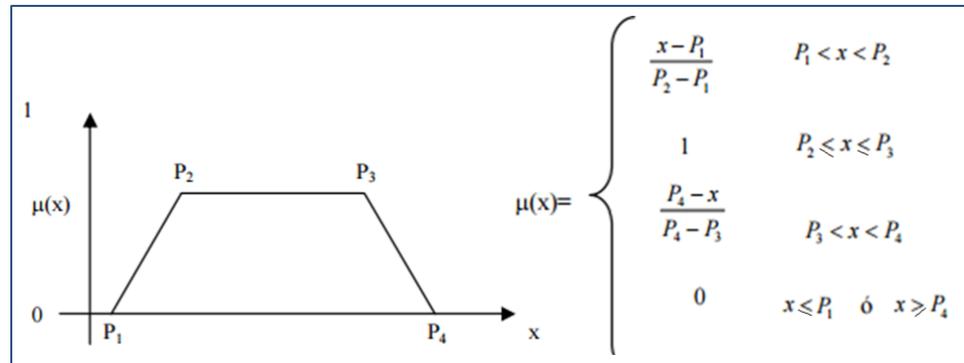


Figura N° 3. Función de pertenencia: Trapezoidal

Fuente: (Blancas Núñez, 2016) Sistemas Inteligentes: Lógica difusa

- **Función gaussiana:** Definida por su valor medio m y el parámetro $k > 0$. Es la típica campana de Gauss y cuanto mayor es k , más estrecha es la campana.

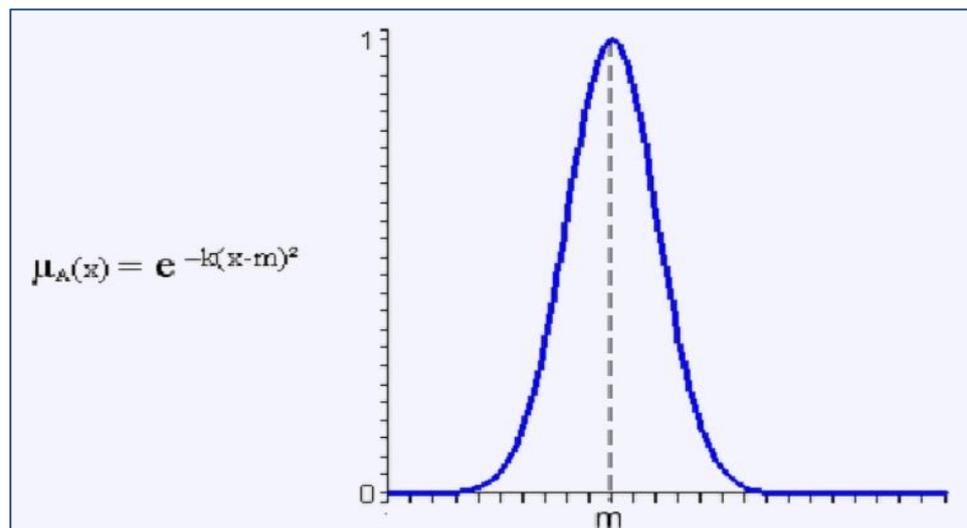


Figura N° 4. Función de pertenencia: Gaussiana

Fuente: (Jiménez, 2010). Funciones de pertenencia.

- **Función Sigmoidal:** Muestra una progresión temporal desde unos niveles bajos al inicio, hasta acercarse a un clímax transcurrido un cierto tiempo; la transición se produce en una región caracterizada por una fuerte aceleración intermedia. Está definida por sus límites inferior a , superior b y el punto de inflexión m , tales que $a < m < b$. Cuando la distancia entre a y b aumenta, el crecimiento es más lento.

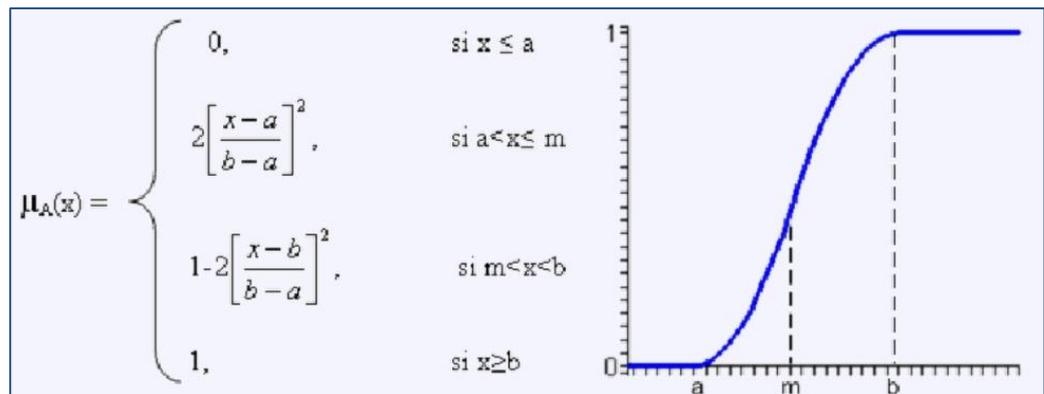


Figura N° 5. Función de pertenencia: Sigmoidal

Fuente: (Jiménez, 2010). Funciones de pertenencia.

2.2.3.3. Etapas de la lógica difusa

- Fusificación:** Se traducen los valores del mundo real en valores difusos, asignándoles grados de pertenencia con relación a los conjuntos difusos a través de funciones de pertenencia. (Guzmán & Castaño, 2006).
- Bases de conocimiento:** Se definen reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones del sistema. Los ingenieros de conocimiento fijan las reglas a partir de la abstracción de la información adquirida del experto de conocimiento.

c. Inferencia lógica: Se encarga de manipular los conjuntos difusos mediante las reglas definidas, utilizando métodos de inferencia, tales como (Soria Barreda, Almaguer Ochoa, Díaz Vera, & Arza Pérez, 2016):

- **Mamdani:** Este método propone definir una base de reglas difusas de la forma causa-efecto: Si A y B, entonces C. Este método es considerado intuitivo y adaptable al lenguaje humano.
- **Takagi-Sugeno:** La base de las reglas difusas es representada como una función lineal de las variables de entradas. Se adapta mejor a análisis matemáticos, técnicas lineales, de optimización y adaptativas.
- **Tsukamoto:** La base de las reglas difusas definidas es representada a través de un conjunto difuso con una función de pertenencia monoatómica. Este método es el menos utilizado.

d. Defusificación: En esta etapa, se vuelven a traducir los valores difusos a valores del mundo real. Guzmán y Castaño, mencionan dos técnicas de defusificación:

- *Promedio de máximos.* Se calcula el promedio de todas las variables que tienen el mayor valor de grado de pertenencia.
- *Método de centroide.* Se calcula el promedio ponderado de la salida.

2.2.4. Pulsera Electrónica

Las pulseras electrónicas son dispositivos capaces de medir el ritmo cardíaco y otros síntomas del usuario utilizando sensores ubicados en la parte interior de este captando las señales y emisiones del cuerpo. Estos dispositivos electrónicos cada vez puedan tener un mayor número de sensores en menor espacio. (Ortiz, 2016).

2.2.5. Sensor

Es un “dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida”. (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014). Es decir, un dispositivo que está capacitado para detectar una determinada acción o estímulo externo (temperatura, presión, etc.), transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas para obtener datos cuantitativos. (Pérez Porto & Gardey, 2010). En el desarrollo de la investigación se utilizarán los siguientes tipos de sensores:

2.2.5.1. Sensor de pulso

Es un sensor de ritmo cardíaco óptico, que tiene una etapa de amplificación y un filtro para el ruido, lo cual hace que su señal de salida sea confiable y estable. (Tdrobótica, s.f.). Se utilizará el sensor **Sen 0386**.

Amperios	4mA	
Voltaje	3V – 5V	
Dimensiones	<i>Diámetro</i>	19mm
	<i>Grosor</i>	3mm

Tabla N° 1. Sensor de pulso. Especificaciones

Fuente: (Tdrobótica, s.f.). Sensor de pulso



Figura N° 6. Sensor de pulso: Sen 0386 (adelante)

Fuente: (ElectroniLAB, s.f.). Sensor ritmo o pulso cardíaco.

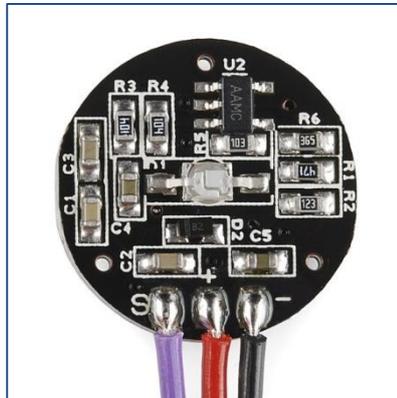


Figura N° 7. Sensor de pulso: Sen 0386 (atrás)

Fuente: (ElectroniLAB, s.f.). Sensor ritmo o pulso cardíaco

2.2.5.2. Sensor de humedad

Mide el nivel de sudor del cuerpo a través de las muñecas, devuelve una tensión proporcional al nivel de humedad medido. (DFRobot, s.f.). Se utilizará el sensor **LM393**.

Señal de salida	Salida analógica de 0 ~ 5V Salida digital de comparador	
Voltaje	3.3V – 5V	
Dimensiones	Ancho	20mm
	Alto	60mm

Tabla N° 2. Sensor de humedad. Especificaciones

Fuente: (Naylam Mechatronics, s.f.). Sensor de humedad

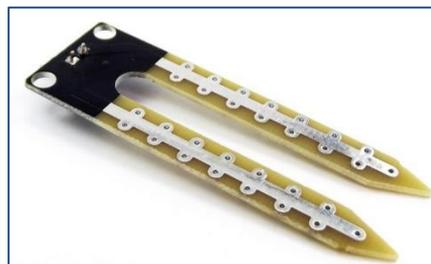


Figura N° 8. Sensor de humedad: LM393

Fuente: (Naylam Mechatronics, s.f.). Sensor de humedad del suelo

2.2.6. Integración de los sensores

2.2.6.1. Arduino

“Es una plataforma de electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar”. Las placas de Arduino utilizan diversos microcontroladores y microprocesadores, que son capaces de realizar las instrucciones programadas con su propio lenguaje **Arduino** mediante el **software Arduino**. Así como también, pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. (Arduino, s.f.).

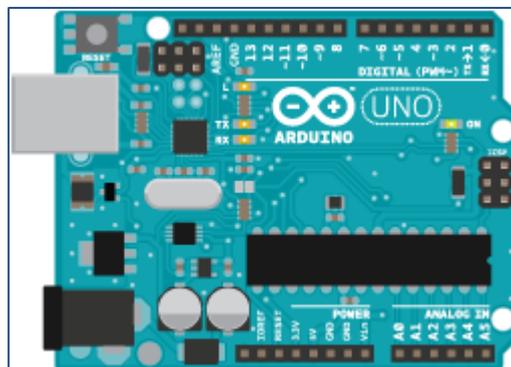


Figura N° 10. Placa Arduino

Fuente: (Arduino, s.f.). What is Arduino?

2.2.6.2. Módulo Bluetooth HC-06

Permite la transmisión de datos inalámbricamente desde el Arduino hacia otros dispositivos y/o viceversa. Entre los diferentes modelos de módulos Bluetooth, está el **HC-06** que se comporta como esclavo, esperando peticiones de conexión, es decir, si algún dispositivo se conecta, el módulo transmite todos los datos que recibe del Arduino y viceversa. (Naylamp Mechatronics, s.f.).

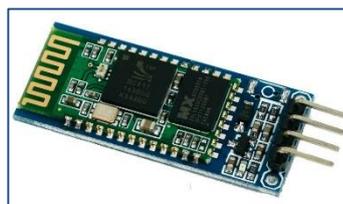


Figura N° 11. Módulo Bluetooth

Fuente: (Naylamp Mechatronics, s.f.). Tutorial Básico de Uso del Módulo Bluetooth HC-06 y HC-05.

2.2.7. Paro cardíaco

“El paro cardíaco ocurre cuando el corazón repentinamente deja de latir”. (MedlinePlus, 2018). Sucede cuando una arteria coronaria se obstruye y detiene el flujo de sangre al corazón. Los problemas que pueden causar un paro cardíaco son: cardiopatía coronaria, ataque al corazón, enfermedad cardíaca congénita, esfuerzo físico extremo, drogas recreativas y medicamentos que pueden alterar el ritmo cardíaco. Según la Fundación Cardiológica Argentina (2018) el ataque al corazón o el infarto agudo de miocardio es la principal causa del paro cardíaco.

El infarto agudo de miocardio es la necrosis (muerte de las células) de un órgano o parte de él por falta de riego sanguíneo, debido a una obstrucción o estrechez de la arteria correspondiente.

El clásico síntoma de infarto agudo de miocardio es un dolor tipo presión en el lado izquierdo del pecho, con irradiación al brazo. Sin embargo, puede ser síntoma de otras enfermedades que no son de origen cardíaco, tales como: ansiedad y trastorno de pánico, asma, bronquitis pulmonar, neumonía, cáncer del pulmón, entre otras. (Pinheiro, 2015). Debido a esto, los otros síntomas del infarto de miocardio ayudan en la detección de un paro cardíaco.

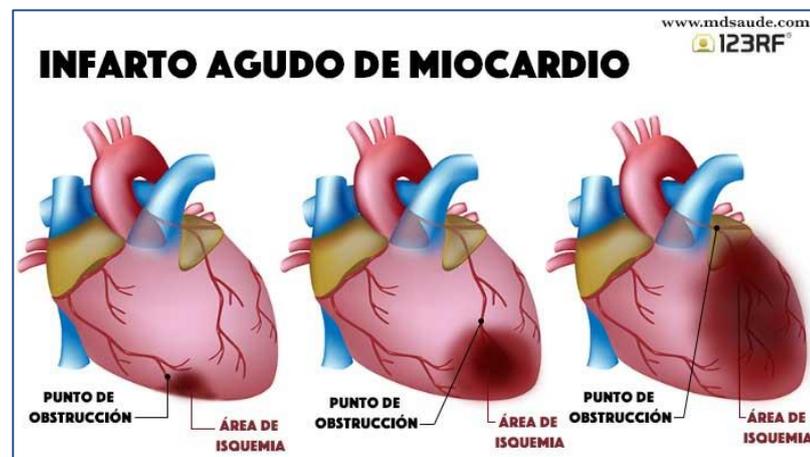


Figura N° 12. Infarto agudo de miocardio

Fuente: (Pinheiro, 2016). Infarto Fulminante – causas y síntomas.

2.2.7.1. Síntomas

Los síntomas del paro cardíaco más comunes, según el Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre de EE. UU., citado por Redacción EC (2018), son:

- Dolor o molestias en el centro o lado izquierdo del pecho.
- Molestias en la parte superior del cuerpo.
- Dificultad para respirar.
- Sudor frío y repentino.
- Aturdimiento leve o mareo súbito.
- Palpitaciones (cuando el corazón late de manera irregular).
- Sensación poco común de cansancio que no tiene motivo evidente.

2.2.8. Metodologías ágiles de desarrollo de software

Una metodología de desarrollo es un marco de trabajo utilizado para estructurar, planear y controlar el proceso de desarrollo de software.

Metodologías ágiles	Metodologías tradicionales
El cliente forma parte del equipo de desarrollo.	El cliente solo actúa con el equipo de desarrollo mediante reuniones.
Existen un proceso para determinar cambios durante el desarrollo del proyecto.	Propone resistencia a los cambios.
Contiene un número de artefactos reducido.	Se basa en un número de artefactos bastante completo.
No existe un contrato fijo, debido a que debe ser flexible a cambios.	Existe un contrato predefinido.
Está orientado a proyectos pequeños con entregas frecuentes.	Se aplica a proyectos de tamaño variado.

Tabla N° 4. Comparación de metodologías ágiles vs. tradicionales.

Fuente: (Tenemaza Hurtado, 2016). Comparación de Metodologías Ágiles y Tradicionales.

Las metodologías ágiles tienen ciertas ventajas sobre las metodologías tradicionales, tales como:

- Entrega incremental evitando el uso excesivo de documentación.
- Se tiene mayor contacto con el cliente.
- Existen definiciones claras de roles y responsabilidades dentro del equipo.

Para la elección de la metodología ágil a utilizar en el presente proyecto de investigación, teniendo en cuenta las cuatro metodologías más empleadas en la actualidad según (OBS Business School, 2015), se desarrolló el siguiente cuadro comparativo:

	Scrum	XP	Kanban	Agile Inception
Enfoque (1 - 4)	Centrada en la administración del proyecto, trabajando con el ciclo de vida iterativo e incremental. (Muradas, 2018)	Centrada en la programación o creación del producto, enfocada en la retroalimentación continua. (Muradas, 2018)	Centrada en la elaboración de un tablero donde se especifican los procesos del flujo de trabajo. (Muradas, 2018)	Son técnicas de conceptualización empleadas en el proceso de iniciación de un proyecto. (OBS Business School, 2015)
Puntaje	4	3	1	2
Carga de documentación (1 - 4)	La requerida por el cliente.	La mínima documentación.	Se utilizan tarjetas de tareas.	Solo de inicio del proyecto.
Puntaje	4	2	2	3
Disponibilidad del cliente (1 - 4)	Se tiene una constante comunicación con el cliente mediante las reuniones periódicas.	Revisiones constantes del cliente con el equipo de programación.	Solo es para el manejo de coordinación del grupo de trabajo.	En todo el proceso de iniciación del proyecto.

Puntaje	4	1	2	3
Avance en la programación (1 - 4)	Se avanza conforme a las revisiones que se realizan periódicamente.	Se centra en la programación en parejas con pruebas periódicas continuas. (Muradas, 2018)	Simplifica la planificación y la asignación de responsabilidades.	No aplica.
Puntaje	4	2	3	1
Equipos de trabajo (1 - 4)	Trabajo en equipo.	Trabajo en parejas	Trabajo en equipo.	Todos los participantes.
Puntaje	4	3	1	2
TOTAL	20	11	9	11

Tabla N° 5. Cuadro comparativo de metodologías ágiles.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se decidió utilizar la metodología ágil **SCRUM**, debido que el producto de la investigación es un sistema experto que se enfoca en la solución del problema de un solo actor: el paciente, y no amerita que se trabaje con una metodología formal. Además, SCRUM utiliza un método iterativo e incremental que es útil para proyectos en constante prueba y error, brinda a la presente investigación una evolución rápida para detectar si el sistema cumple o no con los requerimientos, minimizando riesgos y tiempo de desarrollo.

2.2.8.1. SCRUM

Es un marco de trabajo de procesos ágiles, donde se va presentando el producto de forma periódica, aplicando buenas prácticas del trabajo en equipo, facilitando el hallazgo y sugerencia de soluciones óptimas a los problemas en el transcurso del desarrollo del proyecto. (Muradas, 2018).

El equipo SCRUM está conformado por los siguientes roles específicos (Muradas, 2018):

- a. **Stakeholder:** Es el cliente, quien define los requerimientos (*Product Backlog*), y recibe el producto al final de cada iteración, así como proporcionar el *feedback*.
- b. **Product Owner:** Es el intermediario (y representante) del cliente (*stakeholder*) entre el equipo de desarrollo. Prioriza los requerimientos según las necesidades principales.
- c. **Scrum Master:** Es el facilitador de todo el equipo de desarrollo, elimina impedimentos identificados durante el proceso, incentiva al equipo a seguir los valores y principios ágiles, reglas y procesos de SCRUM.
- d. **Scrum Team:** Es el equipo de desarrollo, encargado de desarrollar los casos de uso definidos en el *Product Backlog*, estimando las tareas realizadas en cada iteración del *Sprint Backlog*. Es autogestionado (no existe jefe de equipo) y multidisciplinario.

Los artefactos de SCRUM están definidos para fomentar la transparencia de la información, estos son:

- a. **Product Backlog:** lista de ideas (requerimientos) para el producto.
- b. **Sprint Backlog:** lista de ítems (tareas) que se eligen por el equipo de desarrollo, de acuerdo a las funcionalidades del producto, estimando el esfuerzo y prioridad de cada una de ellas.
- c. **Release Backlog:** lista detallada de cada sprint con sus respectivas tareas, en bloques de entrega de versiones del producto.
- d. **Burndown Chart:** cuadro informativo del progreso del equipo de desarrollo con respecto a las tareas realizadas y pendientes.

Un pilar importante en el desarrollo de SCRUM son las revisiones (reuniones) del equipo Scrum, entre ellas están: (Muradas, 2018).

- a. **Reunión Planificación:** se realiza al inicio de cada sprint.
- b. **Reunión Diaria:** tiene una duración de máximo 15 minutos, se realiza una retroalimentación de lo realizado el día anterior.
- c. **Reunión de revisión:** se realiza al final de cada sprint. Se exponen tanto las tareas completadas como las no completadas.

- d. **Reunión de retrospectiva:** se realiza después de la reunión de revisión de un sprint. Tiene como objetivo que todo el equipo Scrum reflexionen y concluyan con posibles acciones de mejora.

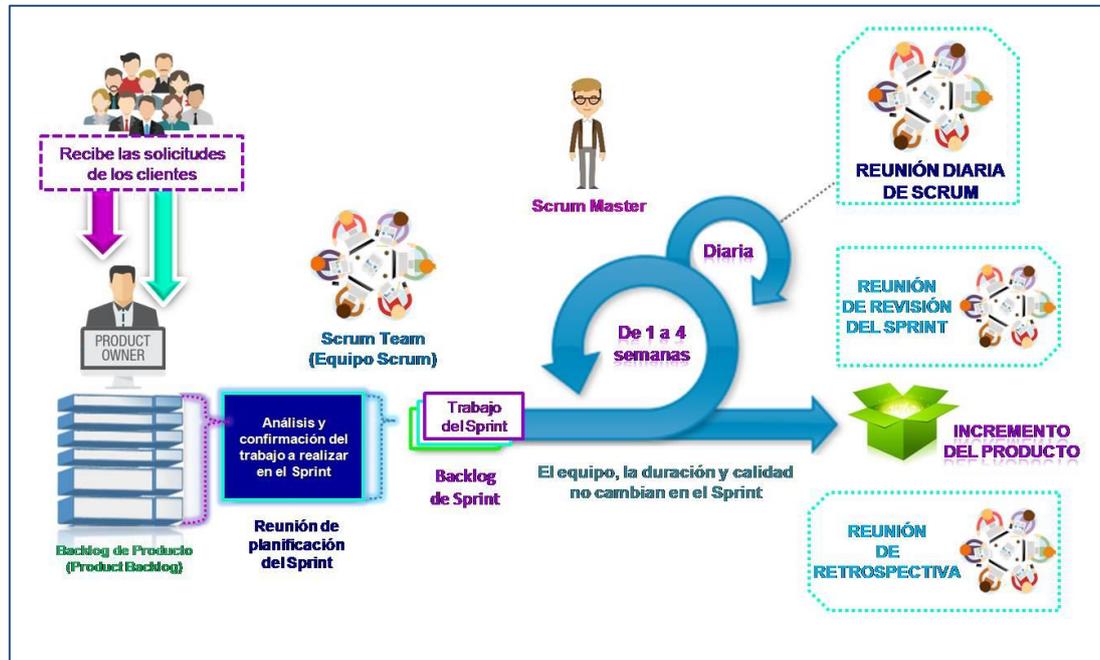


Figura N° 13. Ciclo de vida de Scrum.

Fuente: (Muradas, 2018). Ciclo de vida de Scrum.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la Hipótesis

Con la implementación de un sistema experto se permitirá la detección temprana de un paro cardíaco en pacientes reincidentes con problemas cardíacos.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<i>(Independiente)</i> Sistema experto basado en lógica difusa	Es un sistema que actúa como un experto humano, utilizando reglas de inferencia basándose en el conocimiento proporcionado por el experto, para dar respuestas confiables a los usuarios finales.	Es un sistema que obtiene los datos de entrada captados por los sensores y usa la lógica difusa para evaluar los síntomas enviando una alerta en caso de que detecte un paro cardíaco.	Usabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de aprendizaje
			Adecuación Funcional	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de completitud de implementación funcional
			Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de casos de prueba exitosos

Tabla N° 6. Operacionalización de variable independiente

Fuente: Elaboración propia.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p><i>(Dependiente)</i></p> <p>Detección temprana de un paro cardíaco</p>	<p>Identificación de un paro cardíaco con los síntomas principales como sudoración, ritmo cardíaco y presión arterial.</p>	<p>Es la captación de los síntomas de un paro cardíaco a través de sensores, los cuales se usarán para la detección temprana del paro cardíaco.</p>	<p>Fiabilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

Tabla N° 7. Operacionalización de variable dependiente

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO

4.1. Información general del proyecto

4.1.1. Nombre del proyecto

“Implementación de un sistema experto basado en lógica difusa para la detección temprana de un paro cardíaco”.

4.1.2. Descripción del proyecto

El proyecto de investigación surge como necesidad para apoyar a la detección temprana de un paro cardíaco a pacientes reincidentes con problemas cardiológicos.

El sistema experto está conformado de una pulsera electrónica y una aplicación móvil que es capaz de detectar un paro cardíaco a través de sus síntomas: el ritmo cardíaco y la sudoración fría. Al presentarse los síntomas en la persona, avisará que está por sufrir un paro cardíaco enviando una alerta de estado de salud al celular de la persona elegida para que pueda auxiliarla.

4.1.3. Alcance del proyecto

Al finalizar el proyecto, se espera que el sistema sea capaz de la detección temprana de un paro cardíaco en pacientes reincidentes con problemas cardíacos.

4.1.4. Riesgos principales

- Dificultad para adquirir sensores.
- El costo de sensores.

4.1.5. Restricciones

El sistema experto sólo será aplicado a los pacientes reincidentes con problemas cardíacos de un hospital en Trujillo.

4.1.6. Criterios de aceptación

La pulsera electrónica pasó por varias pruebas como la calibración de cada uno de los sensores y la comparación con equipos médicos que miden la presión y los latidos del corazón. Se realizó la comparación con los equipos tecnológicos llamadas pulseras smartwatch (relojes digitales) que miden los latidos del corazón.

Se consideró en cada prueba realizada la efectividad del 95% de los casos en pacientes reincidentes, obteniéndose cada dato en cuadros de test realizados especialmente para la recopilación de efectividad de la pulsera.

4.2. Planificación del proyecto

4.2.1. Participantes y Roles

Rol	Encargado
Product Owner	Paciente reincidente de paro cardíaco
Scrum Master	Rodriguez Johnson, Stefany Grace
Scrum Team	Rodriguez Johnson, Stefany Grace Vera Ulloa, Diana Carolina

Tabla N° 8. Equipo Scrum

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Establecimiento de requerimientos (Product Backlog)

Rol	Enunciado	Esfuerzo	Prioridad
Product Owner	Quiero identificar los síntomas del paro cardíaco.	2	Alta
Product Owner	Quiero que la pulsera capte los datos de los síntomas de la persona que la usa.	3	Alta
Product Owner	Quiero que la aplicación reciba los datos obtenidos de los sensores.	5	Alta
Product Owner	Quiero que la aplicación muestre los datos obtenidos de los sensores.	4	Media
Product Owner	Quiero que la aplicación notifique cuando detecte un posible paro cardíaco.	5	Alta

Tabla N° 9. Product Backlog

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el siguiente rango de valores para la valoración del esfuerzo de cada enunciado del Product Backlog:

Esfuerzo	Valor (Rango)
Mucho	< 3 – 5]
Moderado	< 2 – 3]
Bajo	[0 – 2]

Tabla N° 10. Rango de valoración de esfuerzo

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Establecimiento de Sprints (Sprint Backlog)

Sprint	Rol	Enunciado	Duración	Prioridad
Sprint 1	Scrum Team	Entrevistar al médico de cardiología para la identificación de síntomas del paro cardíaco.	2 días	Alta
	Scrum Team	Determinar los sensores que se utilizarán en la pulsera electrónica.	2 días	Alta
	Scrum Team	Determinar el conjunto de datos y reglas que se necesita para la detección del paro cardíaco.	7 días	Alta
Sprint 2	Scrum Team	Programar los sensores que se utilizarán en la pulsera electrónica.	4 días	Alta
	Scrum Team	Realizar el circuito de los sensores que se utilizarán conjuntamente en la pulsera electrónica.	2 días	Media
	Scrum Team	Programar el envío de datos obtenidos de los sensores.	4 días	Alta
Sprint 3	Scrum Team	Desarrollar la aplicación móvil que mostrará los datos obtenidos de los sensores	5 días	Alta
	Scrum Team	Integrar los sensores y la aplicación móvil	4 días	Alta
	Scrum Team	Implementar el algoritmo de lógica difusa para la detección del paro cardíaco.	7 días	Alta

Tabla N° 11. Sprint Backlog

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Establecimiento de Releases (Release Backlog)

Release	Sprint	#	Tareas	Hecho	Entregables
Release 1	Sprint 1	1	Entrevistar al médico de cardiología	SI	<ul style="list-style-type: none"> Guía de entrevista (cuestionario no estructurado).
		2	Definir los sensores a partir de la entrevista al médico de cardiología.	SI	
		3	Definir los conjuntos difusos de los datos de los sensores.	SI	<ul style="list-style-type: none"> Documentación de definición de la lógica difusa.
		4	Definir las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.	SI	
		5	Construir la base de reglas para la inferencia de la lógica difusa.	SI	
	Sprint 2	6	Programar los sensores por separado.	SI	<ul style="list-style-type: none"> Lista de cotejo del estado de los sensores.
		7	Probar los sensores por separado.	SI	
		8	Realizar el circuito lógico de los sensores	SI	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama de circuito lógico.
		9	Probar los sensores en el circuito.	SI	
		10	Programar la transmisión de datos de los sensores.	SI	<ul style="list-style-type: none"> Lista de cotejo del envío por Bluetooth.
Release 2	Sprint 3	11	Diseñar las pantallas de la aplicación móvil	SI	<ul style="list-style-type: none"> Diseño de interfaz gráfica.
		12	Implementar el diseño de las pantallas de la aplicación móvil	SI	<ul style="list-style-type: none"> Capturas de pantalla de la app.
		13	Programar la recepción de datos de los sensores en la aplicación móvil.	SI	<ul style="list-style-type: none"> Lista de cotejo de la recepción de datos de sensores.
		14	Probar la recepción de datos de los sensores.	SI	
		15	Implementar la lógica difusa a partir de las reglas.	SI	<ul style="list-style-type: none"> Documentación de fusificación, inferencia lógica y defusificación.
		16	Probar la lógica difusa con los datos de entrada de los sensores.	SI	

Tabla N° 12. Release Backlog

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Burndown Chart

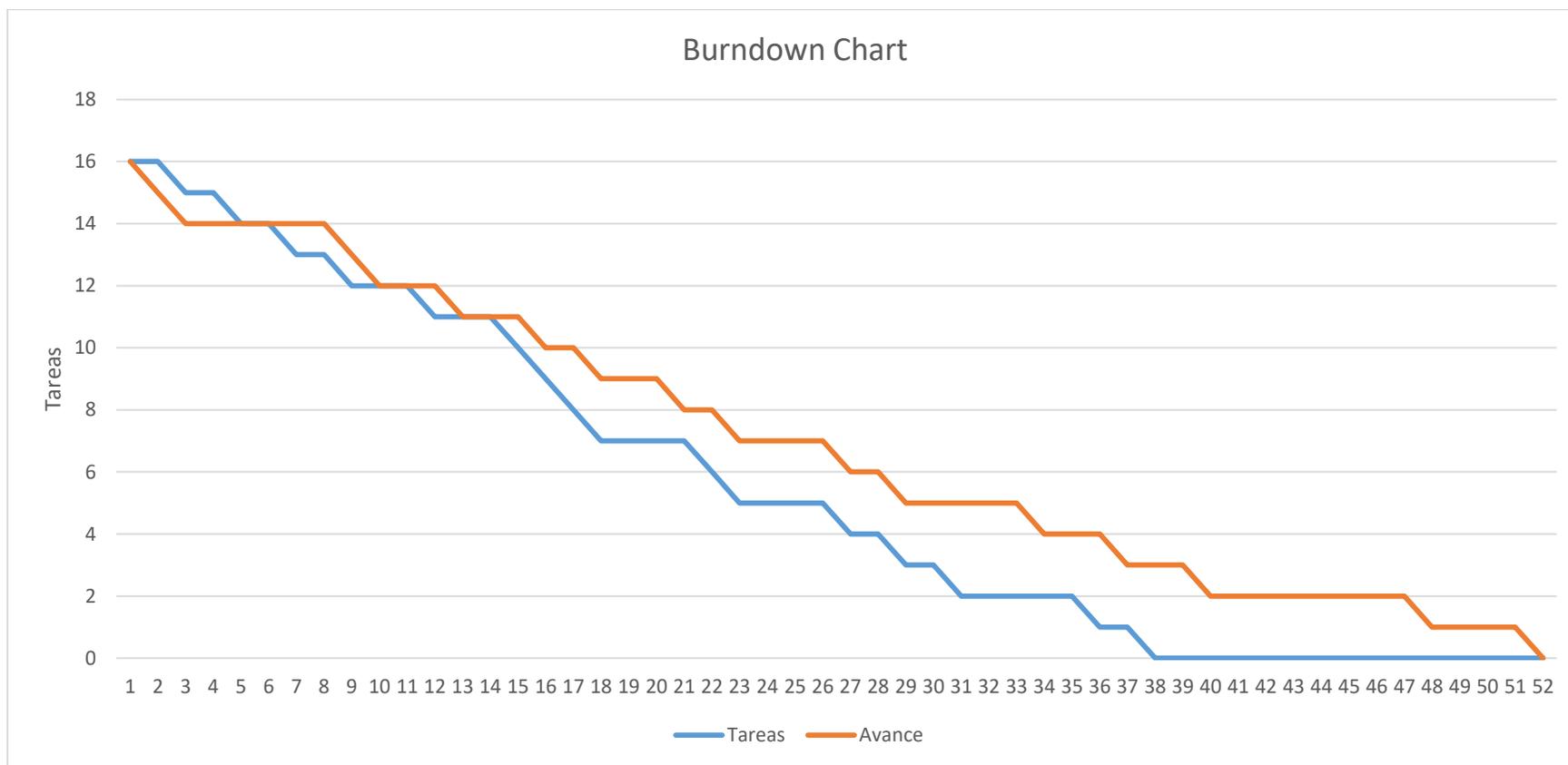


Figura N° 14. Burndown Chart

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Desarrollo del proyecto

4.3.1. Release 1

En la elaboración del primer Release se plantearon 10 tareas repartidas en 2 Sprints de 5 tareas cada uno.

En el primer Sprint se realizó la entrevista a un médico de cardiología, previa investigación sobre el tema a tratar para seleccionar las preguntas precisas así obtener respuestas puntuales y de mayor utilidad. La Guía de entrevista (cuestionario no estructurado) se encuentra en el Anexo N° 1.

Como resultado de la entrevista al médico de cardiología, se obtuvo el siguiente cuadro:

Síntoma del paro cardíaco	Sensor
Pulso cardíaco	Sensor de pulso: Sen 0386
Sudoración fría	Sensor de humedad: LM393 Sensor de temperatura: LM35

Tabla N° 13. Definición de sensores

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se definió los sensores que permitieron la calidad y aseguramiento de la detección de los síntomas del paro cardíaco, se procedió a comprarlos. El detalle de gastos se encuentra en el Anexo N° 3.

Continuando con el primer Sprint, se documentó la definición de los conjuntos difusos, funciones de pertenencia y construcción de la base de reglas para la lógica difusa del sistema experto. La definición de los sensores permitió especificar los conjuntos difusos de cada variable de entrada, los cuales se exponen en el siguiente cuadro.

Variables de entrada	Conjuntos Difusos	Rango en el universo
Pulso cardíaco (BPM)	Lento	$< 40 ; 60]$
	Normal	$[50 ; 60 ; 90 ; 100]$
	Acelerado	$[90 ; 140 >$
Humedad (% de resistencia)	Mojado	$< 35 ; 37]$
	Húmedo	$[35 ; 47 ; 60]$
	Seco	$[55 ; 60 >$
Temperatura (°C)	Frío	$< 20 ; 32]$
	Normal	$[27 ; 37 ; 38]$
	Caliente	$[37 ; 40 >$

Tabla N° 14. Conjuntos difusos: Variables de entrada

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, se especificaron los conjuntos difusos de la variable de salida:

Variables de entrada	Conjuntos Difusos	Rango en el universo
Nivel de peligro (%)	Alto	$[60 ; 100]$
	Medio	$[40 ; 60 ; 70]$
	Bajo	$[4 ; 30 ; 50]$
	Ninguno	$[0 ; 10]$

Tabla N° 15. Conjuntos difusos: Variable de salida

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se definió los conjuntos difusos, se definió las funciones de pertenencia de cada variable de entrada y salida.

A. Variables de entrada

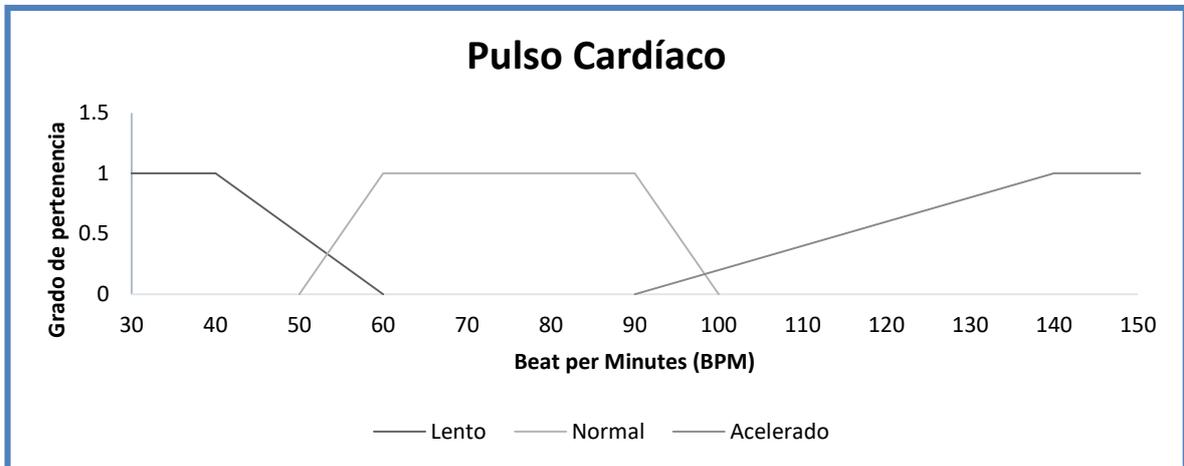


Figura N° 15. Función de pertenencia: Pulso Cardíaco

Fuente: Elaboración propia.

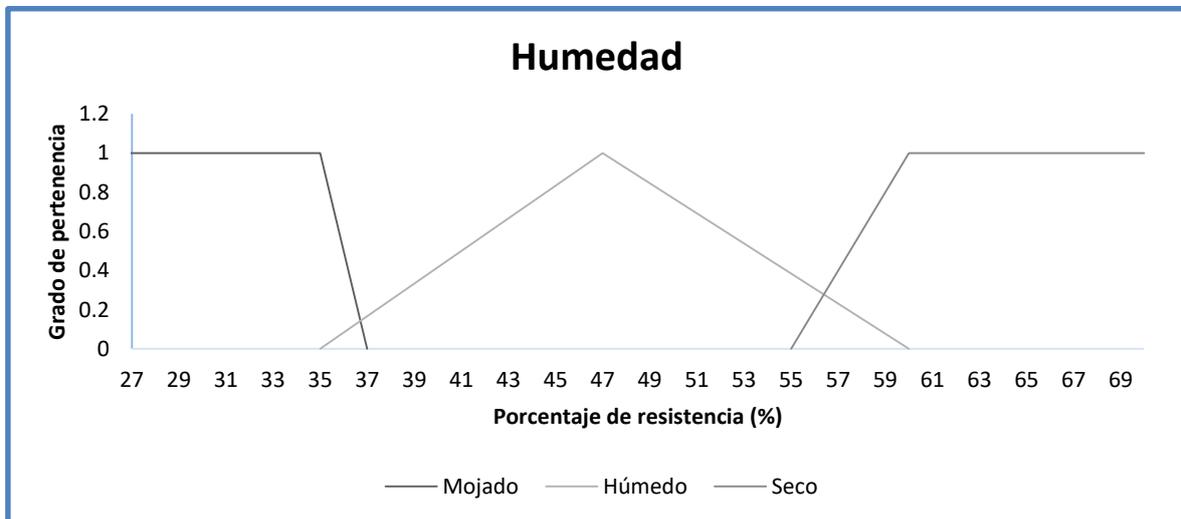


Figura N° 16. Función de pertenencia: Humedad de la muñeca

Fuente: Elaboración propia.

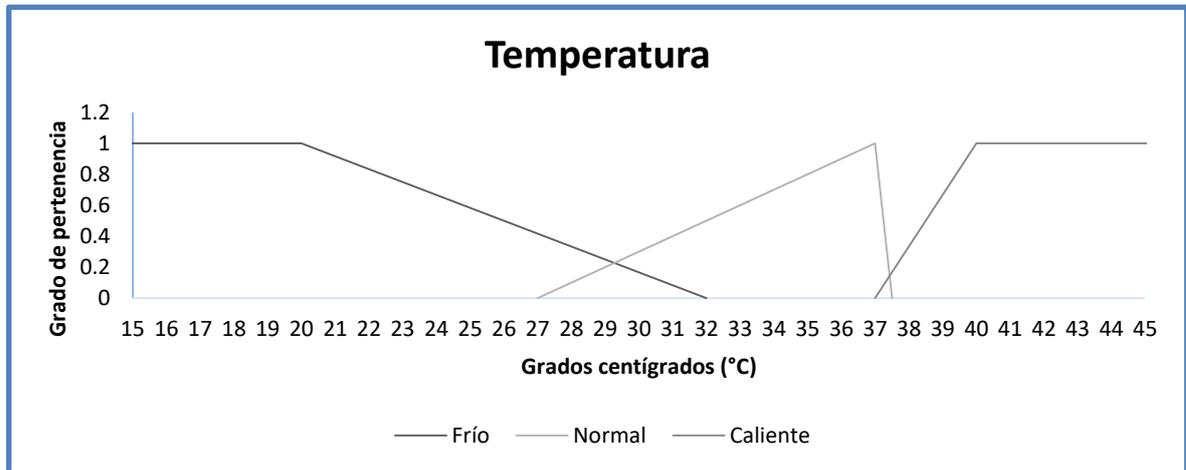


Figura N° 17. Función de pertenencia: Temperatura de la muñeca

Fuente: Elaboración propia

B. Variable de salida

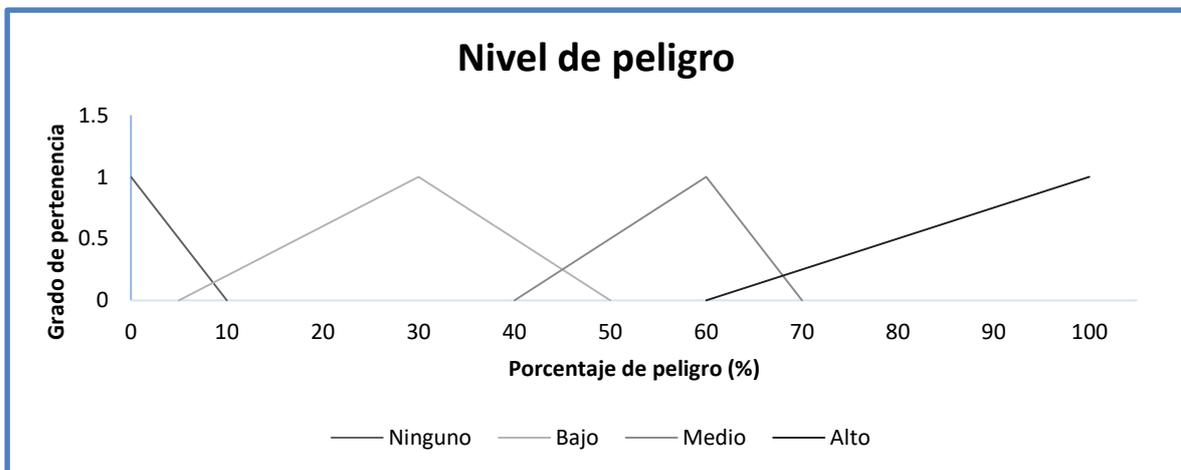


Figura N° 18. Función de pertenencia: Nivel de peligro

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se concluyó con el primer Sprint la construcción de la base de reglas para la inferencia de la lógica difusa, abstrayendo la información adquirida por el experto: médico de cardiología.

	Pulso Cardíaco	-	Humedad	-	Temperatura	-	Nivel de peligro
IF	Acelerado	AND	Seco	AND	Frío	THEN	Bajo
IF	Acelerado	AND	Seco	AND	Normal	THEN	Bajo
IF	Acelerado	AND	Seco	AND	Caliente	THEN	Bajo
IF	Acelerado	AND	Húmedo	AND	Frío	THEN	Alto
IF	Acelerado	AND	Húmedo	AND	Normal	THEN	Medio
IF	Acelerado	AND	Húmedo	AND	Caliente	THEN	Bajo
IF	Acelerado	AND	Mojado	AND	Frío	THEN	Alto
IF	Acelerado	AND	Mojado	AND	Normal	THEN	Medio
IF	Acelerado	AND	Mojado	AND	Caliente	THEN	Bajo
IF	Normal	AND	Seco	AND	Frío	THEN	Bajo
IF	Normal	AND	Seco	AND	Normal	THEN	Ninguno
IF	Normal	AND	Seco	AND	Caliente	THEN	Bajo
IF	Normal	AND	Húmedo	AND	Frío	THEN	Bajo
IF	Normal	AND	Húmedo	AND	Normal	THEN	Ninguno
IF	Normal	AND	Húmedo	AND	Caliente	THEN	Ninguno
IF	Normal	AND	Mojado	AND	Frío	THEN	Bajo
IF	Normal	AND	Mojado	AND	Normal	THEN	Ninguno
IF	Normal	AND	Mojado	AND	Caliente	THEN	Ninguno
IF	Lento	AND	Seco	AND	Frío	THEN	Bajo
IF	Lento	AND	Seco	AND	Normal	THEN	Bajo
IF	Lento	AND	Seco	AND	Caliente	THEN	Bajo
IF	Lento	AND	Húmedo	AND	Frío	THEN	Alto
IF	Lento	AND	Húmedo	AND	Normal	THEN	Medio
IF	Lento	AND	Húmedo	AND	Caliente	THEN	Bajo

IF	Lento	AND	Mojado	AND	Frío	THEN	Alto
IF	Lento	AND	Mojado	AND	Normal	THEN	Medio
IF	Lento	AND	Mojado	AND	Caliente	THEN	Medio

Tabla N° 16. Base de reglas para la inferencia

Fuente: Elaboración propia

En el segundo Sprint, con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de los sensores adquiridos, se programó y se probó por separado.

Tareas	Sensores	HECHO
Comprar el sensor de pulso (Sen 0386)		SI
Comprar el sensor de humedad (LM393)		SI
Comprar el sensor de temperatura (LM35)		SI
Programar la lógica de captación de datos por el sensor de pulso		SI
Programar la lógica de captación de datos por el sensor de humedad		SI
Programar la lógica de captación de datos por el sensor de temperatura		SI
Verificar que el sensor de pulso esté calibrado		SI
Verificar que el sensor de humedad esté calibrado		SI
Verificar que el sensor de temperatura esté calibrado		SI

Tabla N° 17. Lista de cotejo: Estado de los sensores.

Fuente: Elaboración propia

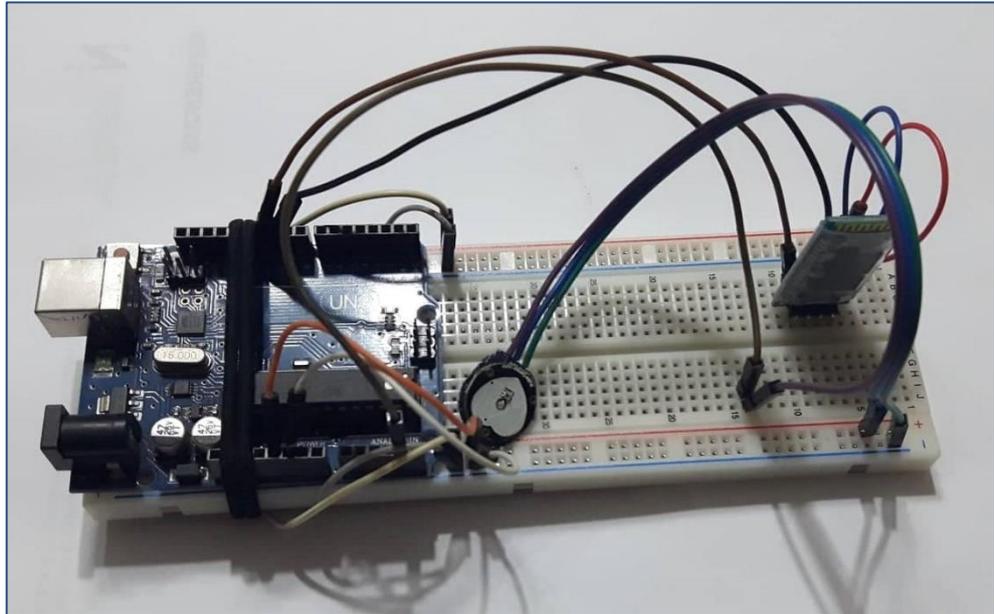


Figura N° 19. Sensor de pulso conectado a arduino

Fuente: Elaboración propia

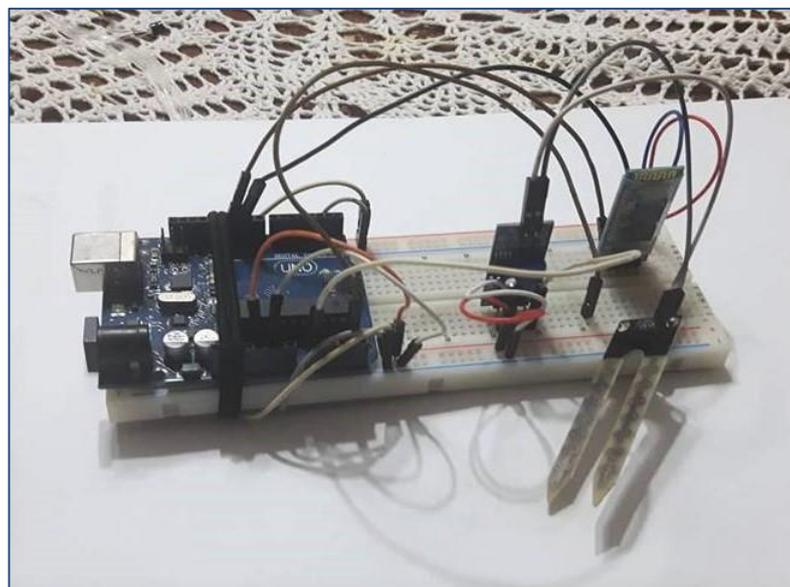


Figura N° 20. Sensor de humedad conectado a arduino

Fuente: Elaboración propia

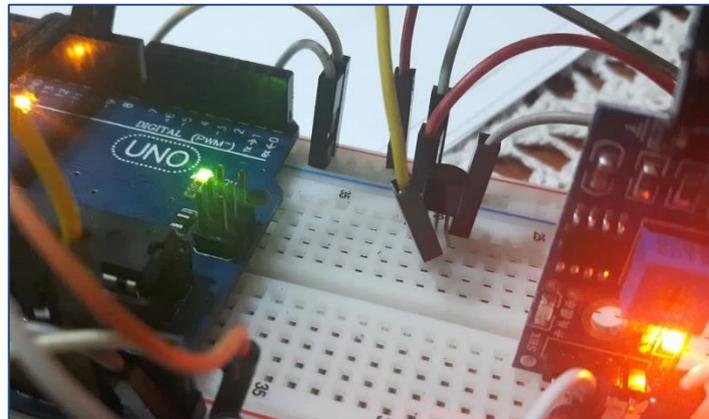


Figura N° 21. Sensor de temperatura conectado a arduino

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realizó el diagrama de circuito lógico para la implementación de los sensores en forma grupal.

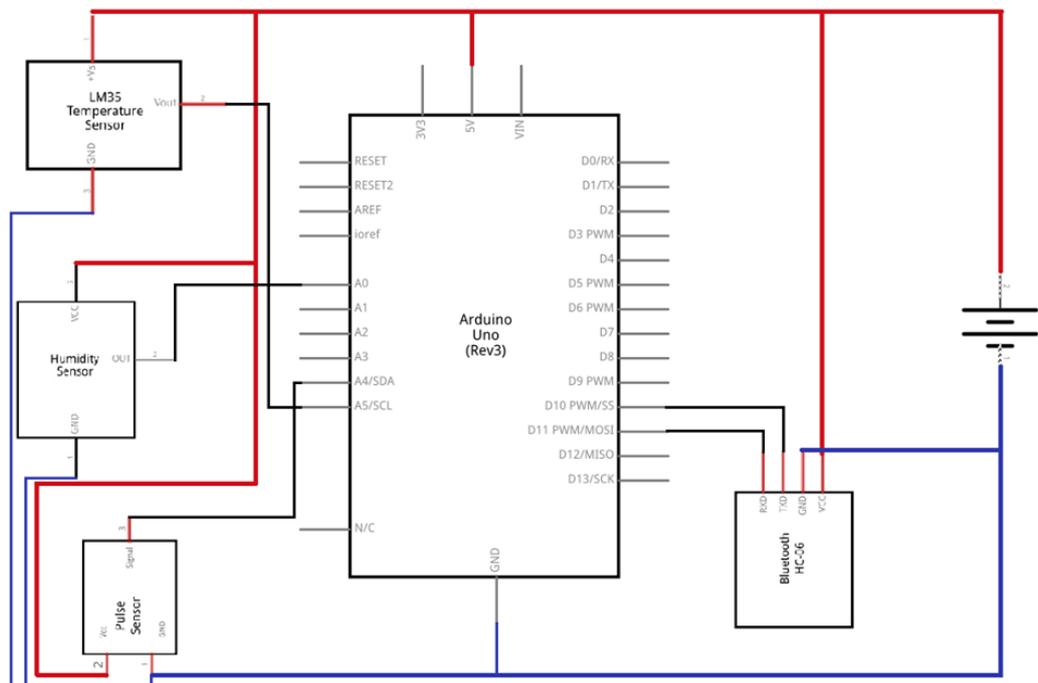


Figura N° 22. Diagrama de circuito lógico

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el segundo Sprint, se definió el método de transmisión de datos inalámbricamente por el canal Bluetooth, debido a que la señal es más directa y evita el tráfico que existe en una red WIFI. Además, el costo y adquisición del módulo Bluetooth no es tan complejo como del módulo WIFI.

Se conectó el módulo Bluetooth al Arduino mediante la siguiente conexión:

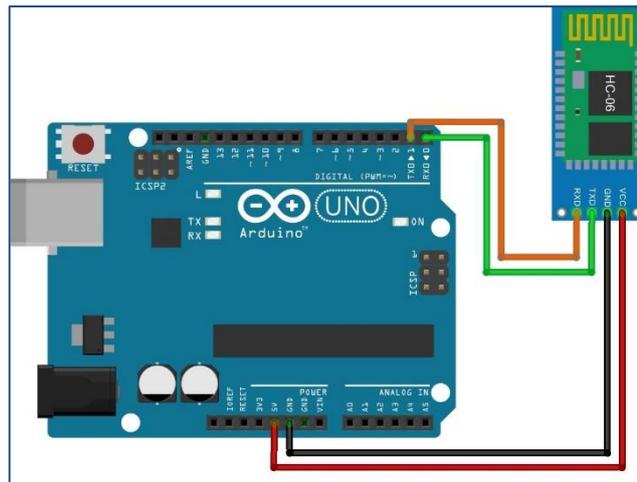


Figura N° 23. Conexiones entre módulo Bluetooth y Arduino.

Fuente: (Naylamp Mechatronics, s.f.). Tutorial Básico de Uso del Módulo Bluetooth HC-06 y HC-05.

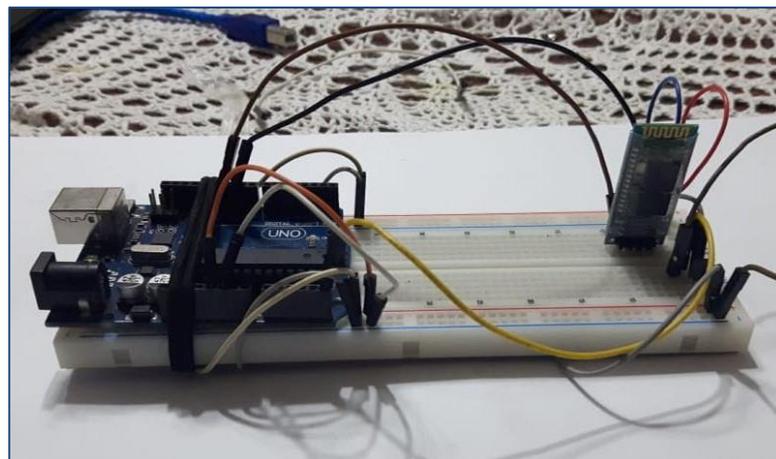


Figura N° 24. Implementación de la conexión del módulo Bluetooth

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se programó el código del método de envío de datos de la pulsera hacia otro dispositivo para posteriormente utilizar la aplicación móvil como receptor de datos.

Tareas	Sensores	HECHO
Método de envío de datos por Bluetooth del sensor de pulso (Sen 0386)		SI
Método de envío de datos por Bluetooth del sensor de humedad (LM393)		SI
Método de envío de datos por Bluetooth del sensor de temperatura (LM35)		SI
Método de envío de datos por Bluetooth de todos los sensores en conjunto en una cadena de caracteres.		SI
Probar el envío de datos hacia la laptop como texto.		SI
Verificar el correcto envío de datos del sensor de pulso (Sen 0386)		SI
Verificar el correcto envío de datos del sensor de humedad (LM393)		SI
Verificar el correcto envío de datos del sensor de temperatura (LM35)		SI

Tabla N° 18. Lista de cotejo: Envío por Bluetooth

Fuente: Elaboración propia

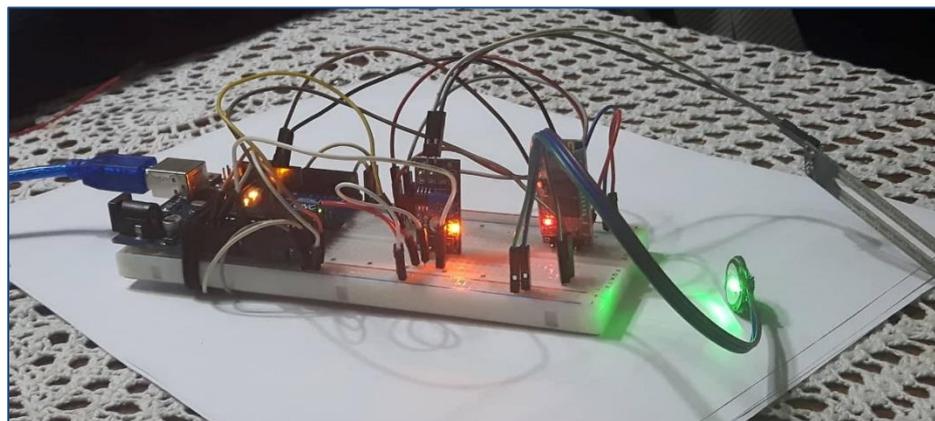


Figura N° 25. Implementación de los sensores en conjunto con el arduino

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Release 2

En la elaboración del segundo y último Release se planteó 6 tareas que a su vez conformaron el tercer y último Sprint.

Se diseñaron las pantallas de la aplicación móvil, así como también el flujo entre ellas. Posteriormente, se procedió a implementar las pantallas y sus funcionalidades en el Entorno de Desarrollo Android Studio, con el lenguaje de programación Java. Ver Anexo N°4 y Anexo N°5.

De igual forma, se implementó el método de recepción de datos por el canal Bluetooth para la transmisión de datos captados por los sensores con el Arduino, el cual, posteriormente, se hizo las pruebas de caja negra para verificar el correcto funcionamiento de la transmisión de datos.

Tareas	Sensores	HECHO
Implementar el método de recepción de datos de los sensores por Bluetooth en cadena de texto.		SI
Probar la recepción de datos en la aplicación móvil		SI
Verificar la correcta recepción de datos del sensor de pulso (Sen 0386)		SI
Verificar el correcto recepción de datos del sensor de humedad (LM393)		SI
Verificar el correcto recepción de datos del sensor de temperatura (LM35)		SI

Tabla N° 19. Lista de cotejo: Recepción de datos de sensores

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se implementó la lógica difusa siguiente el modelo de Mamdani. Se realizó la fusificación de los valores de entrada y la inferencia de la lógica difusa a partir de la base de reglas definidas en el primer Sprint. En la defusificación se utilizó el método del centroide de gravedad, para obtener el valor que se mostrará a la persona, dependiendo de que esté por sufrir o no un paro cardíaco. Si la persona no está en peligro, solo se muestran los valores de modo informativo en la aplicación; de lo contrario, se envía un mensaje de texto (SMS) a la persona de contacto especificada por el usuario de la pulsera electrónica.

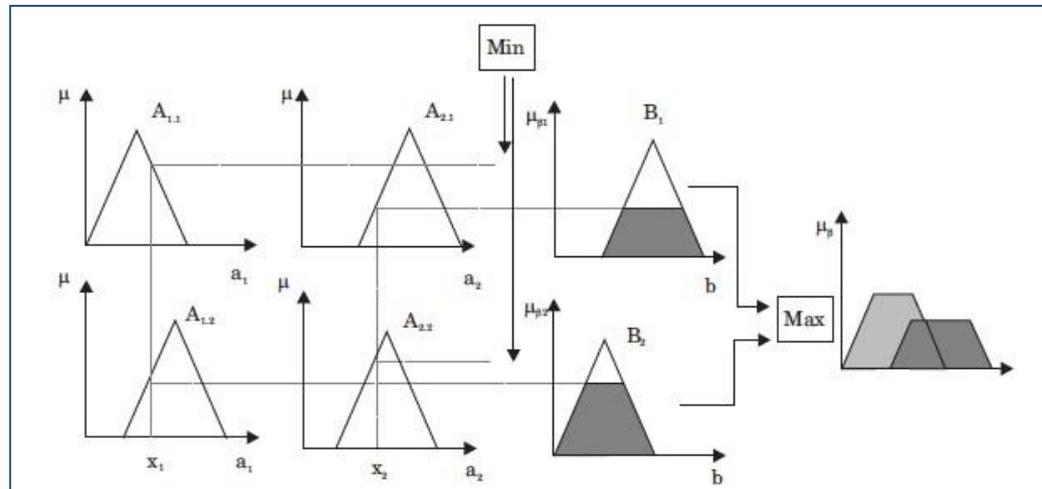


Figura N° 26. Modelo Mamdani

Fuente: (Marques Afonso, Maciel Netto, & Estáquio de Vasconcelos, 2014, pág. 458).
Maximun-minimun inference for the Mamdani model.

La metodología utilizada para la inferencia de los resultados a partir del procesamiento de datos en el desarrollo de lógica difusa siguiendo el modelo de Mamdani, se representa a continuación.



Figura N° 27. Inferencia según Mamdani

Fuente: Elaboración propia

A continuación se describirán los pasos que se siguió en el desarrollo de la lógica difusa para la detección de un paro cardíaco. Se pondrá como ejemplo los siguientes valores de entrada. (Cabe recalcar que se realizó el mismo procedimiento por cada vez que los sensores captaban valores y se envían los datos hacia la aplicación móvil, la cual realiza la lógica difusa).

Variable de Entrada	Valor (x)
Pulso cardíaco (BPM)	113
Humedad (% resist.)	41
Temperatura (°C)	19

Tabla N° 20. Ejemplo de valores de variables de entrada

Fuente: Elaboración propia

A. Fusificación:

Para cada uno de los valores de entrada, se calculó los grados de pertenencia a su conjunto difuso, aplicando las fórmulas correspondientes a su tipo.

- Pulso cardíaco

Para el conjunto difuso **Lento (PL)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_3 = 40$ y $P_4 = 60$. Tal que $x = 113$ y cumple la condición $x \geq P_4$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{PL} = 0$$

Para el conjunto difuso **Normal (PN)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_1 = 50$, $P_2 = 60$, $P_3 = 90$ y $P_4 = 100$. Tal que $x = 113$ y cumple la condición $x \geq P_4$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{PN} = 0$$

Para el conjunto difuso **Acelerado (PA)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_1 = 90$ y $P_2 = 140$ Tal que $x = 113$ y cumple la condición $P_1 < x < P_2$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{PA} = \frac{113 - 90}{140 - 90}$$

$$\mu_{PA} = \frac{23}{50}$$

$$\mu_{PA} = 0.46$$

- Humedad

Para el conjunto difuso **Mojado (HM)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_3 = 35$ y $P_4 = 37$. Tal que $x = 41$ y cumple la condición $x \geq P_4$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{HM} = 0$$

Para el conjunto difuso **Húmedo (HH)**, se aplicó la fórmula de la función triangular.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_1 = 35$, $P_2 = 47$ y $P_3 = 60$. Tal que $x = 41$ y cumple la condición $P_1 < x < P_2$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{HH} = \frac{41 - 35}{47 - 35}$$

$$\mu_{HH} = \frac{6}{12}$$

$$\mu_{HH} = 0.5$$

Para el conjunto difuso **Seco (HS)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_1 = 55$ y $P_2 = 60$. Tal que $x = 41$ y cumple la condición $x \leq P_1$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{HS} = 0$$

- Temperatura

Para el conjunto difuso **Frío (TF)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_3 = 20$ y $P_4 = 32$. Tal que $x = 19$ y cumple la condición $x \leq P_3$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{TF} = 1$$

Para el conjunto difuso **Normal (TN)**, se aplicó la fórmula de la función triangular.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_1 = 27$, $P_2 = 37$ y $P_3 = 38$. Tal que $x = 19$ y cumple la condición $x \leq P_1$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{TN} = 0$$

Para el conjunto difuso **Caliente (TC)**, se aplicó la fórmula de la función trapezoidal.

Siendo los puntos de la función de pertenencia: $P_1 = 37$ y $P_2 = 40$. Tal que $x = 19$ y cumple la condición $x \leq P_1$, se obtuvo como resultado que el grado de pertenencia a ese conjunto es:

$$\mu_{TC} = 0$$

El resultado de la fusificación de cada una de las variables de entrada es el siguiente:

Pulso Cardíaco	Humedad	Temperatura
$\mu_{PL} = 0$	$\mu_{HM} = 0$	$\mu_{TF} = 1$
$\mu_{PN} = 0$	$\mu_{HH} = 0.5$	$\mu_{TN} = 0$
$\mu_{PA} = 0.46$	$\mu_{HS} = 0$	$\mu_{TC} = 0$

Tabla N° 21. Resultado de fusificación

Fuente: Elaboración propia

B. Evaluación de las reglas (inferencia):

Una vez que se obtuvo los grados de pertenencia de cada uno de los conjuntos difusos de las variables de entrada, se procedió a evaluar cada una de las reglas definidas en el primer release. Por ejemplo, para la primera regla definida de la siguiente manera:

IF	Acelerado	AND	Seco	AND	Frío	THEN	Bajo
-----------	-----------	------------	------	------------	------	-------------	------

Tabla N° 22. Implementación de lógica difusa: primera regla

Fuente: Elaboración propia

Se ubica el grado de pertenencia de los conjuntos difusos de las condiciones dadas:

IF	Acelerado (0.46)	AND	Seco (0)	AND	Frío (1)	THEN	Bajo (0)
----	---------------------	-----	-------------	-----	-------------	------	-------------

Tabla N° 23. Implementación de lógica difusa: Ubicar grado de pertenencia

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de la variable de salida, siguiendo el método Mamdani, se utilizó la regla de los mínimos (el menor valor) de cada una de las condiciones, debido a que en las reglas se utilizó la conjunción *AND*. Así, el valor mínimo entre 0.46, 0 y 1 es 0.

De la misma forma, se evaluaron todas las reglas definidas y en el caso del ejemplo, solo se cumple la siguiente regla:

	Pulso Cardíaco	-	Humedad	-	Temperatura	-	Nivel de peligro
IF	Acelerado (0.46)	AND	Húmedo (0.5)	AND	Frío (1)	THEN	Alto (0.46)

Tabla N° 24. Implementación de lógica difusa: evaluar reglas

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se exponen valores de cada conjunto difuso de la variable de salida **Nivel de peligro** en la siguiente tabla. De haber más de un valor por cada conjunto difuso de la variable de salida, se utiliza la regla de los máximos (el mayor valor).

Nivel de peligro	
Conjunto difuso	Valor (y)
Alto (μ_{NPA})	0.46
Medio (μ_{NPM})	0
Bajo (μ_{NPB})	0
Ninguno (μ_{NPN})	0

Tabla N° 25. Resultado de evaluación de reglas

Fuente: Elaboración propia

C. Agregación de las salidas de la inferencia:

Después de la evaluación de las reglas, se unieron las áreas bajo los valores que se obtuvieron por cada conjunto difuso en el gráfico de las funciones de pertenencia de la variable de salida. En el caso del ejemplo, el área está debajo de valor 0.46 dentro del conjunto difuso **Alto**.

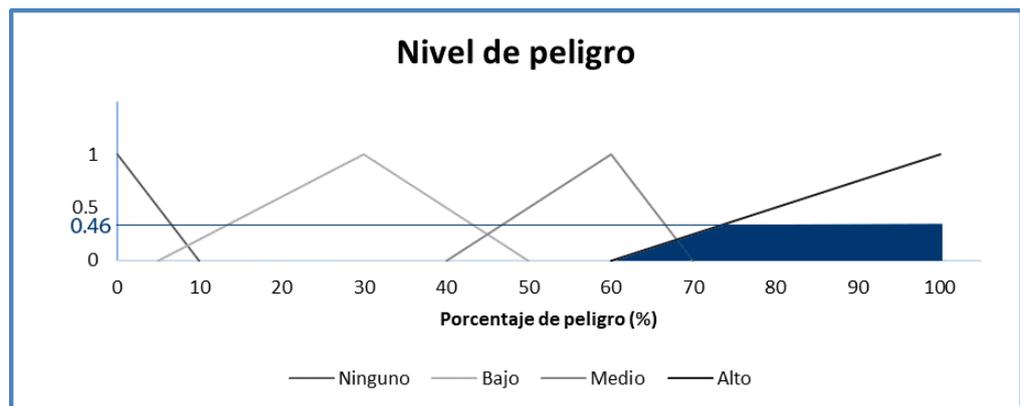


Figura N° 28. Resultado de la agregación de las salidas

Fuente: Elaboración propia

D. Defusificación:

Finalmente, para obtener un valor concreto de la salida de las reglas difusas, se utilizó el método del **centroide** del área seleccionada anteriormente.

$$salida = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \times \mu_{NP}(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{NP}(y_i)}$$

Siendo,

n → número de conjuntos difusos de la variable de salida

$\mu_{NP}(y_i)$ → el valor de cada conjunto difuso

y_i → suma se todos los puntos límites que definen a la función de pertenencia de cada c. d.

Teniendo en cuenta que la variable de salida tiene cuatro conjuntos difusos ($n = 4$), se desarrolló la fórmula del centroide.

$$salida = \frac{(0 + 10) \times 0 + (4 + 30 + 50) \times 0 + (40 + 60 + 70) \times 0 + (60 + 100) \times 0.46}{(0 + 0) + (0 + 0 + 0) + (0 + 0 + 0) + (0.46 + 0.46)}$$

$$salida = \frac{160 \times 0.46}{(0.92)}$$

$$salida = \frac{73.6}{0.92}$$

$$salida = 80\%$$

Concluyendo así, de acuerdo a los valores de entrada $pulso = 113$, $humedad = 41$ y $temperatura = 19$. Se obtuvo como salida un 80% de nivel de peligro.

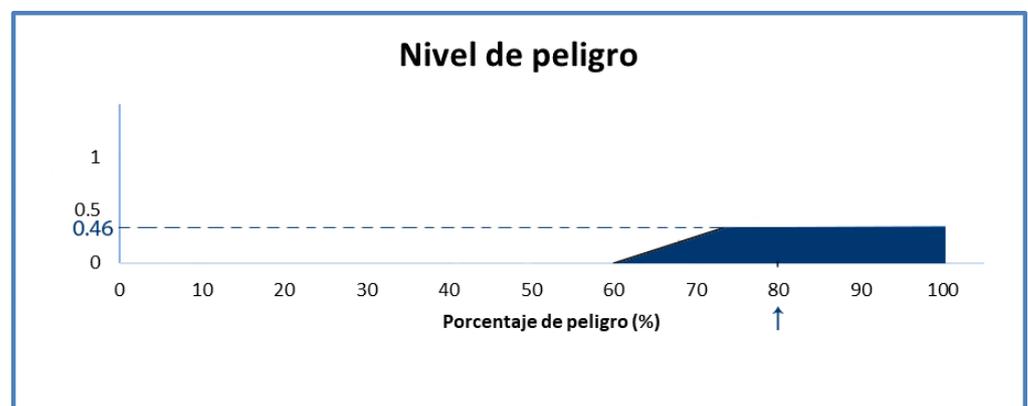


Figura N° 29. Resultado de la defusificación

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

5.1. Diseño de investigación

Investigación pre-experimental

5.2. Unidad de estudio

Un paciente reincidente con problemas cardíacos registrado en un mes de un hospital en Trujillo.

5.3. Población

Todos los pacientes reincidentes con problemas cardíacos registrados en el mes de marzo de un hospital en Trujillo.

5.4. Muestra (muestreo o selección)

La muestra la conforman 8 pacientes reincidentes con problemas cardíacos.

$$n = \frac{(Z)^2 \times p \times q \times N}{(e^2 + (N - 1)) + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población = 8

Z = nivel de confianza = 1.96

p = probabilidad a favor = 0.05

q = probabilidad en contra = 0.95

e = error muestral = 5

$$n = \frac{(1.96)^2 \times 0.5 \times 8}{(5^2 + (8 - 1)) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5} = 8$$

5.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

- **Entrevista:** Se usó para la recolección de datos de la variable dependiente.
- **Observación:** Se usó en la evaluación de la variable dependiente e independiente.
- **Encuesta:** Se usó por medio de técnicas de interrogación a los pacientes reincidentes para evaluar la variable independiente.

Variable Dependiente	Indicador	Técnicas	Instrumentos	Fuente
Detección temprana de un paro cardíaco	Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco.	Entrevista	Cuestionario	Médico especialista.
		Observación	Lista de cotejo	Médico especialista.

Tabla N° 26. Técnicas e instrumentos de la variable dependiente.

Fuente: Elaboración propia

Variable Independiente	Indicador	Técnicas	Instrumentos	Fuente
Sistema experto basado en lógica difusa	Nivel de aprendizaje	Encuesta	Cuestionario	Paciente.
	Porcentaje de completitud de implementación funcional	Observación	Lista de cotejo	Sistema propuesto.
	Porcentaje de casos de prueba exitosos.	Observación	Lista de cotejo	Sistema propuesto.

Tabla N° 27. Técnicas e instrumentos de la variable independiente.

Fuente: Elaboración propia

5.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

- Se realizó la investigación de los factores que provocan un paro cardíaco (sus síntomas) mediante la entrevista al médico de cardiología, para luego determinar las variables necesarias para el desarrollo del presente proyecto.
- Luego se procedió a desarrollar el sistema experto y la pulsera electrónica.
- Una vez concluido el desarrollo, se realizó la medición de las variables mediante las fórmulas definidas de los indicadores, en dos fases.
- En la primera fase: **pre-prueba**, el médico realizó sus procedimientos para identificar un posible paro cardíaco en los 8 pacientes reincidentes, y así obtener el porcentaje de alertas correctas de paro cardíaco antes de la aplicación del proyecto.
- En la segunda fase: **post-prueba**, se procedió a probar la pulsera electrónica en los 8 pacientes reincidentes de paro cardíaco, y así obtener el porcentaje de alertas correctas de paro cardíaco después de la aplicación del proyecto.
- Finalmente, se hizo una comparación de los resultados de las dos fases para verificar la hipótesis de la presente investigación.

Variable	Objetivo Específico	Técnicas	Instrumentos
Dependiente	Determinar el porcentaje de alertas correctas del sistema experto para la detección temprana de un paro cardíaco.	T de Student	Microsoft Excel
Independiente	Identificar el nivel de aprendizaje del sistema experto para los pacientes con problemas cardíacos.	T de Student	Microsoft Excel
Independiente	Calcular la completitud de implementación funcional del sistema experto respecto a los requerimientos proporcionados por el experto.	T de Student	Microsoft Excel

Tabla N° 28. Cuadro de técnicas para procesar la información.

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Método	Procedimiento
Detección temprana de un paro cardíaco	Fiabilidad	Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco.	$\left(\frac{\sum_{j=1}^n m}{n} \right) \times 100$	<p>Se prueba el sistema experto con la pulsera electrónica en un paciente reincidente.</p> <p>Se verifica si la alerta generada es correcta.</p> <p>Se divide del número de alertas correctas entre el número total de alertas generadas.</p> <p>Finalmente, el resultado de la división se multiplica por 100 para obtener el porcentaje.</p>
			<p>m = Número de alertas correctas</p> <p>n = Número total alertas generadas</p>	

Tabla N° 29. Métodos y procedimientos de la variable dependiente.

Fuente: Elaboración propia

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Método	Procedimiento
Sistema experto basado en lógica difusa	Usabilidad	Nivel de aprendizaje	$\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^5 F_{ij} \times P_j}{m} \right)_i}{n}$	<p>Se establecen los enunciados que se necesitan para medir el nivel de aprendizaje.</p> <p>Se realiza la encuesta a los pacientes que utilizan la aplicación móvil junto con la pulsera.</p> <p>Luego de realizada la encuesta a todos, por cada pregunta, se contabiliza la frecuencia de ocurrencia para cada posible respuesta por cada encuestado.</p> <p>Después, se multiplica la frecuencia de ocurrencia por la ponderación de cada posible respuesta, y así sumar los productos para obtener el puntaje por cada enunciado.</p> <p>Posteriormente, cada suma por cada enunciado se divide entre el total de encuestados, para obtener el puntaje promedio total de cada enunciado.</p> <p>Finalmente, para sacar el nivel de aprendizaje, se realiza la sumatoria del resultado obtenido por cada enunciado, dividiéndola entre el número total de enunciados de la encuesta.</p>
			<p>j = Cada posible respuesta de cada enunciado (total de j es 5 porque se toma como referencia la escala de Likert)</p> <p>F_{ij} = Frecuencia de ocurrencia de marcación</p> <p>P_j = Puntaje por cada posible respuesta</p> <p>m = Número total de encuestados</p> <p>n = Número total de enunciados</p>	

Sistema experto basado en lógica difusa	Adecuación Funcional	Porcentaje de completitud de implementación funcional	$\left(1 - \frac{m}{n}\right) \times 100$	<p>Se establecen los requerimientos descritos en el Product Backlog a analizar.</p> <p>Se calcula la completitud de cada requerimiento.</p> <p>Se obtiene el número de requerimientos que no tienen completitud.</p> <p>Se resta de la unidad la división entre el número de funciones que no tienen completitud y el número total de funciones analizadas.</p> <p>Finalmente, el resultado de la resta se multiplica por 100 para obtener el porcentaje.</p>
			<p>m = Número de funciones faltantes</p> <p>n = Número total de funciones descritas en el Product Backlog</p>	

Sistema experto basado en lógica difusa	Confiabilidad	Porcentaje de casos de prueba exitosos	$\left(\frac{m}{n}\right) \times 100$	<p>Se establecen los casos de prueba a evaluar.</p> <p>Se realizan las pruebas al sistema experto conjuntamente con la pulsera electrónica.</p> <p>Se obtiene el número de casos exitosos.</p> <p>Se divide del número de casos de prueba exitosos entre el número total de casos de prueba analizados.</p> <p>Finalmente, el resultado de la división se multiplica por 100 para obtener el porcentaje.</p>
			<p>m = Número de pruebas exitosas</p> <p>n = Número total de pruebas</p>	

Tabla N° 30. Métodos y procedimientos de la variable independiente.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Prueba de la hipótesis

6.1.1. Dimensión de Fiabilidad de la variable Dependiente

- **Indicador**

Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

- **Definición de variables**

P_a = Porcentaje de alertas correctas del método actual para la detección temprana de un paro cardíaco.

P_p = Porcentaje de alertas correctas del método propuesto para la detección temprana de un paro cardíaco que sería el sistema experto con la pulsera electrónica.

- **Hipótesis estadística**

H_0 = El porcentaje de alertas correctas del método actual **es mayor o igual que** el porcentaje de alertas correctas del método propuesto.

H_a = El porcentaje de alertas correctas del método actual **es menor que** el porcentaje de alertas correctas del método propuesto.

$$H_0 = P_a \geq P_p$$

$$H_a = P_a < P_p$$

- **Nivel de significancia**

Se define el margen de error, confiabilidad 95%.

Usando un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) del 5%. Por lo tanto, el nivel de confianza ($1 - \alpha = 0.95$) será del 95%.

- **Estadística de prueba**

Como la población es menor a 30, se utiliza la estadística T de Student, que tiene una distribución t.

- **Región de rechazo**

Como $n = 8$, el grado de libertad ($n - 1$) es 7, siendo su valor crítico, según la tabla de distribución T de Student, 1.8946.

La región de rechazo consiste en aquellos valores de t menores que 1.8946.

- **Resultados**

Para la toma de resultados se acordó con el médico de cardiología los horarios de las citas de los pacientes seleccionados para hacer las pruebas pre test (método del médico) y post test (la pulsera electrónica con la aplicación móvil).

N° Paciente	N° Prueba	S. Anterior	S. Propuesto
1	1	1	1
	2	0	1
	3	1	0
	4	1	1
	5	1	1
	Suma	4	4
	Promedio	0,8	0,8
2	1	0	1
	2	0	1
	3	1	0
	4	0	0
	5	1	1
	Suma	2	1
	Promedio	0,67	0,3
3	1	1	1
	2	0	1
	3	1	1
	4	0	0
	5	0	1
	Suma	2	4
	Promedio	0,4	0,8
4	1	1	1
	2	0	1
	3	1	0
	4	1	1
	5	0	1
	Suma	3	4
	Promedio	0,6	0,8

5	1	1	1
	2	0	1
	3	1	0
	4	1	1
	5	0	1
	Suma	3	4
	Promedio	0,60	0,8
6	1	1	1
	2	0	1
	3	1	1
	4	1	0
	5	0	1
	Suma	3	4
	Promedio	0,60	0,8
7	1	1	1
	2	1	1
	3	0	1
	4	1	0
	5	0	1
	Suma	3	4
	Promedio	0,60	0,8
8	1	1	1
	2	0	1
	3	1	0
	4	1	1
	5	0	1
	Suma	3	4
	Promedio	0,60	0,8

Tabla N° 31. Resultado indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

Fuente: Elaboración propia

N	P_a	P_p	D_i	$D_i - \bar{D}_i$	$(D_i - \bar{D}_i)^2$
1	0,8	0,8	0	0,13	0,0178
2	0,67	0,33	0,33	0,47	0,22
3	0,40	0,80	-0,40	-0,27	0,07
4	0,60	0,80	-0,20	-0,07	0,00
5	0,60	0,80	-0,20	-0,07	0,00
6	0,60	0,80	-0,20	-0,07	0,00
7	0,60	0,80	-0,20	-0,07	0,00
8	0,60	0,80	-0,20	-0,07	0,00
Suma	4,87	5,93	-1,07	0,00	0,33
Promedio	0,61	0,74	-0,13	0,00	0,041
Porcentaje	61%	74%	-13%		

Tabla N° 32. Cálculo de hipótesis del Indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

Fuente: Elaboración propia

- Promedio

$$\bar{D}_i = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{n}$$

$$\bar{D}_i = \frac{-1.07}{8} = -0.13$$

- Desviación estándar total

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (D_i - \bar{D}_i)^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{0.33}{7}} = 0.217$$

- Cálculo de t

$$t_c = \frac{\overline{D}_i}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$t_c = \frac{-0.13}{\frac{0.217}{\sqrt{8}}}$$

$$t_c = -1.7398$$

- **Región crítica**

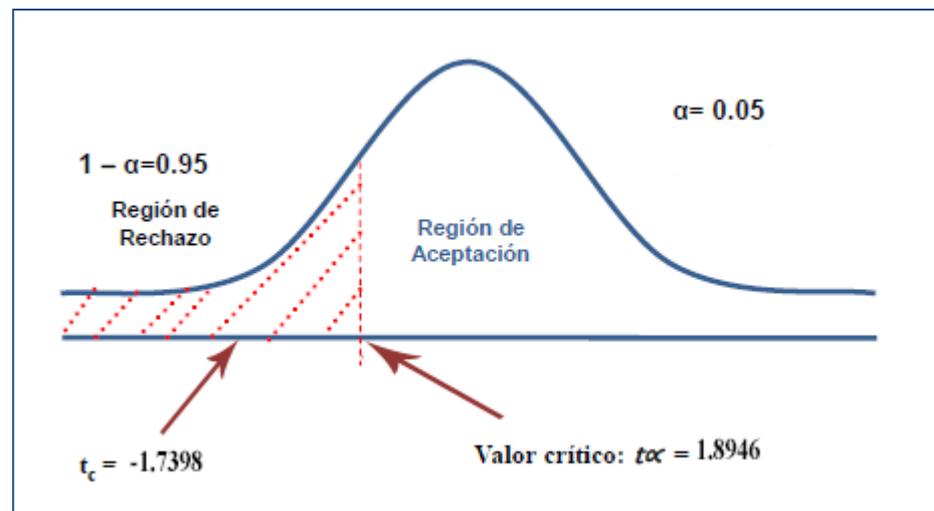


Figura N° 30. Región crítica del Indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

Fuente: Elaboración propia

- **Conclusión**

Puesto que el valor calculado de t es -1.7398 , y es menor que el valor de la tabla en un nivel de significancia de 0.05 . ($-1.7398 < 1.8946$). Se da por aceptada la hipótesis alternativa o de investigación (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Luego de haber realizado el análisis de resultados del indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco. Se concluyó que el porcentaje de alertas correctas obtenidos con el método actual es de 61%. Y con el método propuesto es de 74%. Para realizar la comparación, se toma como referencia del 100% al resultado obtenido de la medición con el método actual. Al realizar la comparación se demuestra que, el porcentaje de alertas correctas obtenidas con el método propuesto para la detección temprana de un paro cardíaco ha aumentado en un 13%, con respecto al método actual del médico de cardiología. Es decir, es 13% más fiable que el método actual para realizar la detección temprana del paro cardíaco.

Método	P	%
Actual	61%	100%
Propuesto	74%	121.31%
Aumento	13%	21.31%

Tabla N° 33. Comparativo Indicador: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

Fuente: Elaboración propia

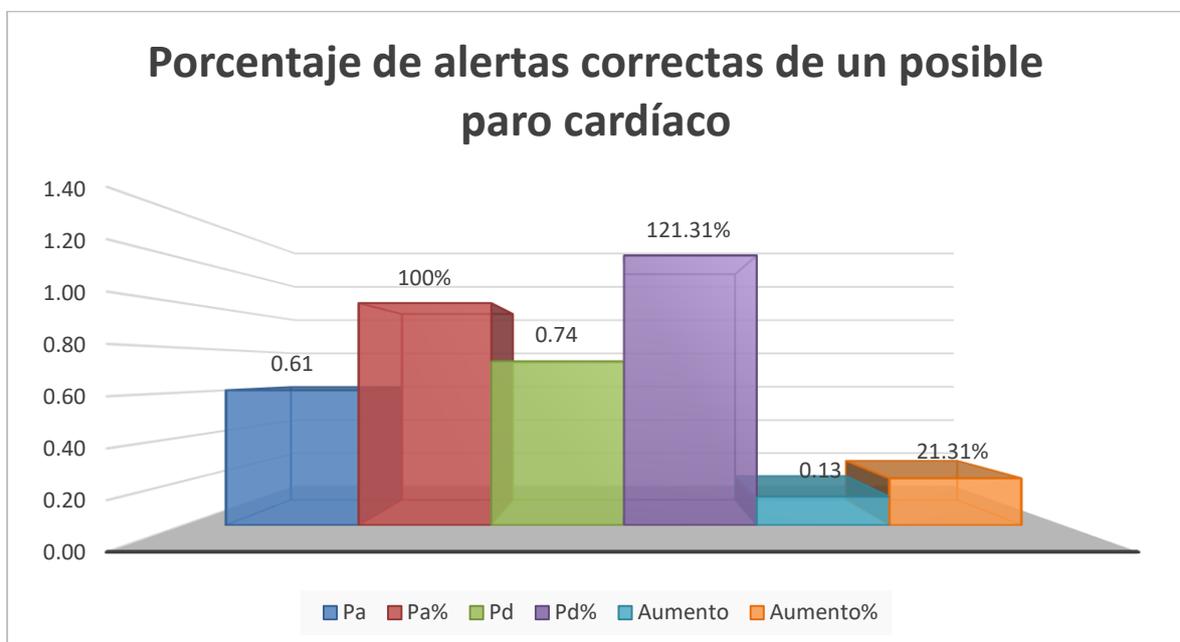


Figura N° 31. Gráfico comparativo: Porcentaje de alertas correctas de un posible paro cardíaco

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se determinó que con el sistema experto basado en lógica difusa junto con la pulsera electrónica se tiene un porcentaje mayor de alertas correctas de detección temprana de un paro cardíaco, con respecto al método anterior que utiliza el médico de cardiología de un hospital en Trujillo. Cumpliendo los siguientes objetivos específicos:

- El porcentaje de alertas correctas del sistema experto para la detección temprana de un paro cardíaco aumentó en un 13%.
- El nivel de aprendizaje del sistema experto para los pacientes con problemas cardíacos tiene un 9% más alto de lo esperado.
- El porcentaje de completitud de implementación funcional del sistema experto con respecto a los requerimientos proporcionados por el experto es del 100%.

Consideramos que la elección de la metodología de desarrollo fue acertada porque nos ayudó a organizarnos para desarrollar el sistema experto junto con la pulsera electrónica de manera eficaz. Al separar el procedimiento del desarrollo del producto, y generar tareas pequeñas, las cuales tienen una única responsabilidad, nos dio una mayor flexibilidad en el manejo de problemas que ocurrieron en el transcurso del desarrollo de la presente investigación.

RECOMENDACIONES

Con la finalización de esta investigación, se recomienda considerar los siguientes puntos:

- Para futuros desarrollos de sistemas expertos para la detección de un paro cardíaco, utilizar un sensor de presión arterial con la finalidad de tener una mayor precisión en la detección.
- Así como también, en la aplicación móvil, se puede agregar la funcionalidad de envío de correo electrónico para que no utilizar el saldo del celular del usuario para el envío de SMS.
- No sumergir la pulsera electrónica en agua y mantenerla con la batería cargada. Así como también, antes de utilizar la aplicación móvil, se recomienda tener el Bluetooth del celular apagado.
- La pulsera debe ser manipulada por personas mayores capaces del correcto razonamiento y entendimiento de datos que enviará a través de móvil.
- El dispositivo no deberá ser cargado más de 8 horas para evitar el recalentamiento y fallas de los sensores, el usuario de la pulsera electrónica deberá evitar golpes bruscos que puedan dañar el correcto funcionamiento de esta.

REFERENCIAS

- Alfa-Med Ucrania. (s.f.). *Equipo médico Sensitiv Imago - Imago Sensitiv*. Obtenido de <http://sensitive-imago.com/sp>
- Alsina, G. (2018). *Sensor de presión arterial*. Obtenido de <https://www.diarioelectronicohoy.com/sensor-de-presion-arterial/>
- AQCLab. (s.f.). *Evaluación y Certificación de la Funcionalidad - ISO/IEC 25000*. Obtenido de <http://www.aqclab.es/index.php/calidad-software/adecuacion-funcional>
- Arduino. (s.f.). *¿Qué es Arduino?* Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Austria Mikro Systeme. (s.f.). *AS7024 Vital Signs Module*. Obtenido de <https://ams.com/as7024>
- Badaró, S., Ibañez, L., & Agüero, M. (2013). Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. *Revista Ciencia y Tecnología*(13), 349-364. Obtenido de http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2014/13/CyT_13_24.pdf
- Blancas Núñez, M. (2016). *Sistemas Inteligentes: Lógica difusa*. Diapositivas UPN.
- Chirinos Ramírez, R. (2008). *Diseño de un prototipo de módulo RF aplicado a telemedicina para monitoreo de señales ECG en hospitales y domicilios*. Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino*. Colonia San Juan Tliluaca, Azcapotzalco, México D.C.: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sensores&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjvypnXr8rbAhWEyVMKHdH1BI4Q6AEINTAD#v=onepage&q=sensores&f=false>
- Cunado, E. (2016). *Pulseras running con pulsómetro para monitorizar la frecuencia cardíaca en carrera*. Obtenido de <http://galakia.com/pulseras-running-con-pulsometro-para-monitorizar-la-frecuencia-cardiaca-en-carrera/>
- DFRobot. (s.f.). *Sensor de humedad del suelo*. Obtenido de <http://tienda.bricogeek.com/sensores-humedad/651-sensor-de-humedad-del-suelo.html>
- ElectroniLAB. (s.f.). *Sensor ritmo o pulso cardíaco*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-ritmo-pulso-cardiaco/>
- Fácil Rubio, L. (2015). *Infarto*. Obtenido de <http://www.fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares/infarto.html>
- Fortuna Lindo, J. (1991). Una introducción a los sistemas expertos en la empresa. *Revista Anales de Estudios Económicos y Empresariales*(6), 49-66. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/786048.pdf>
- Fundación Cardiológica Argentina. (2018). *Paro cardíaco*. Obtenido de <http://www.fundacioncardiologica.org/fca/tu-corazon/senales-de-alerta/paro-cardiaco/>
- González Morcillo, C. (2011). *Lógica Difusa: Una Introducción práctica*. Obtenido de http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf
- Gutiérrez Cisternas, C. A. (2016). *Sistema de Monitoreo Continuo de Signos Vitales con Sensores No Invasivos y Transmisión Inalámbrica de Datos*. Tesis pregrado, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Guzmán, D., & Castaño, V. (2006). La lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro. *Revista Ciencia y Tecnología*, 24(2), 87-107. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/2640/2591>
- Instituto de Cardiología de Lima. (2013). *Nuevo laboratorio de hemodinamia*. Obtenido de <http://cardiomedic.com.pe/blog/2013/03/acerca-del-nuevo-equipo-de-hemodinamia/>
- Instituto Nacional de Estadística. (27 de febrero de 2015). *Definiciones según la Causa de Muerte. Notas de Prensa*. Perú.

- ISO 25000. (2014). *ISO/IEC 25010*. Obtenido de <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- ISO 25000. (2014). *Portal ISO 25000*. Obtenido de <http://iso25000.com>
- Jiménez, A. (2010). *Funciones de pertenencia*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Andres13ja/logica-difusa-funcionespertenencia>
- Marques Afonso, A., Maciel Netto, A., & Estáquio de Vasconcelos, W. (Abril de 2014). Fuzzy logic applied to the modeling of water dynamics in an Oxisol in northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(2), 454-463. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200010>
- MedlinePlus. (2018). *Paro cardíaco*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007640.htm>
- Ministerio de Salud. (28 de septiembre de 2014). Minsa: más del 28% de peruanos sufre una enfermedad cardiaca. *El Comercio*.
- Ministerio de Salud. (2015). Información de mortalidad. *La República del Perú*.
- Montagud Balaguer, V. (2015). *Muerte súbita*. Obtenido de <http://www.fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/enfermedades-cardiovasculares/muerte-subita.html>
- Moreno, L., González-Gross, M., Kersting, M., Molnár, D., de Henauw, S., Beghin, L., . . . Marcos, A. (2008). Assessing, understanding and modifying nutritional status, eating habits and physical activity in European adolescents: The HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study. *Public Health Nutrition*, 11(3), 288-299. doi:10.1017/S1368980007000535
- Muradas, Y. (2018). *Metodologías ágiles para la gestión de proyectos*. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/conoce-las-3-metodologias-agiles-mas-usadas/>
- Naylam Mechatronics. (s.f.). *Sensor de Humedad del Suelo*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-del-suelo.html>
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Sensor de Temperatura Analógico LM35*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/234-sensor-de-temperatura-analogico-lm35.html>
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Tutorial Básico de Uso del Módulo Bluetooth HC-06 y HC-05*. Obtenido de https://www.naylampmechatronics.com/blog/12_Tutorial-B%C3%A1sico-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-Bluetooth-H.html
- OBS Business School. (2015). *¿Cuáles son los métodos ágiles más utilizados?* Obtenido de <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/agile-project-management/cuales-son-los-metodos-agiles-mas-utilizados>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Las 10 principales causas de defunción*. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- Ortiz, I. (2016). *Cómo miden las pulseras deportivas nuestro ritmo cardíaco*. Obtenido de <https://elandroidelibre.es/2016/06/como-miden-pulseras-deportivas-ritmo-cardiaco.html>
- PCE Ibérica. (s.f.). *Sensores de temperatura*. Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-temperatura.htm>
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2010). *Definición de sensor*. Obtenido de <https://definicion.de/sensor/>
- Pinheiro, P. (2015). *Síntomas del infarto agudo de miocardio y angina*. Obtenido de <https://www.mdsaude.com/es/2015/11/sintomas-del-infarto.html>
- Pinheiro, P. (2016). *Infarto fulminante - causas y síntomas*. Obtenido de <https://www.mdsaude.com/es/2016/02/ataque-al-corazon.html>
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software: Un enfoque práctico* (Séptima ed.). Ciudad de México D. F., México: McGraw-Hill Companies.

- Programa de Integración de Tecnología. (2015). *Tipos de funciones de pertenencia*. (Vicerrectoría de Docencia, Universidad de Antioquia) Obtenido de <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/investigacion/mod/page/view.php?id=9134>
- Quisbert Espejo, M. (2013). *Sistema experto para el diagnostico de la enfermedad coronaria (isquemia)*. Universidad Mayor de San Andrés, La paz, Bolivia.
- Redacción EC. (20 de Febrero de 2018). Ataque cardíaco: ¿Qué es y cuáles son sus síntomas? Obtenido de <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/salud-ataque-cardiaco-son-sintomas-noticia-498460>
- Society of Interventional Radiology (SIR). (2017). *Angiografía de resonancia magnética (ARM)*. Obtenido de <https://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=angiomr#top>
- Soria Barreda, L., Almaguer Ochoa, M., Díaz Vera, J., & Arza Pérez, L. (2016). Generalización del Método de Puntos de Función utilizando lógica difusa. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(1), 110-123. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992016000100008
- Tdrobótica. (s.f.). *Sensor de pulso*. Obtenido de <http://tdrobotica.co/sensor-de-pulso/356.html>
- Tenemaza Hurtado, C. (2016). *Desarrollo de una aplicación móvil para publicidad de ofertas mediante geolocalización*. Tesis pregrado, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15078/1/CD-6889.pdf>

ANEXOS

ANEXO N° 1. Guía de entrevista (cuestionario no estructurado)

Tipo de instrumento: Entrevista

Nombre del instrumento: Entrevista para Médico Cardiólogo.

Objetivo del instrumento: Conocer los datos exactos de los síntomas del paro cardíaco.

Entrevista a médico de Cardiología

a. ¿Cómo detecta un paro cardíaco?

Ausencia de latidos cardiacos

b. ¿Cuáles son los síntomas del paro cardíaco?

- Asistolia
- Ausencia de latidos cardiacos

c. ¿Con qué frecuencia el paciente puede tener el paro cardíaco?

- 25%

d. ¿Cuáles son los instrumentos de medición con el cual se realiza la detección del paro cardíaco?

- Monitor cardiaco.
- Estetoscopio.

e. ¿Con qué frecuencia puede presentarse un paro cardíaco?

25%

REGION LA LIBERTAD
Gerencia Regional de Salud
Dr. Alfredo Hernández Bocanegra
Médico Departamental de Medicina
HOSPITAL REGIONAL DEPARTAMENTAL DE MEDICINA

ANEXO N° 2. Cuestionario sobre la usabilidad del sistema propuesto

Tipo de instrumento: Cuestionario

Nombre del instrumento: Escala de Observación para pacientes quienes se realizó la prueba con el sistema experto y la pulsera electrónica

Objetivo del instrumento: Obtener datos contundentes sobre el uso del sistema propuesto.

Totalmente de acuerdo	TA
De acuerdo	A
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	N
En desacuerdo	D
Totalmente en desacuerdo	TD

Enunciado	TA	A	N	D	TD
Me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.					
El sistema no me pareció complejo.					
Pienso que el sistema es fácil de usar.					
Voy a necesitar el apoyo de una persona técnica para poder utilizar este sistema.					
Encontré que las diversas funciones de este sistema fueron bien integradas.					
No encontré inconsistencia en este sistema.					
Pienso que la mayoría de las personas aprenderían a utilizar este sistema rápidamente					
Me pareció que el sistema es muy engorroso (complicado) de usar.					
Me sentí muy seguro al usar el sistema					
Necesité aprender muchas cosas antes de que pudiera ponerme en marcha con este sistema.					


Ricardo Sevilla Lopez

ANEXO N° 3. Detalle de gastos de desarrollo del sistema experto con la pulsera electrónica.

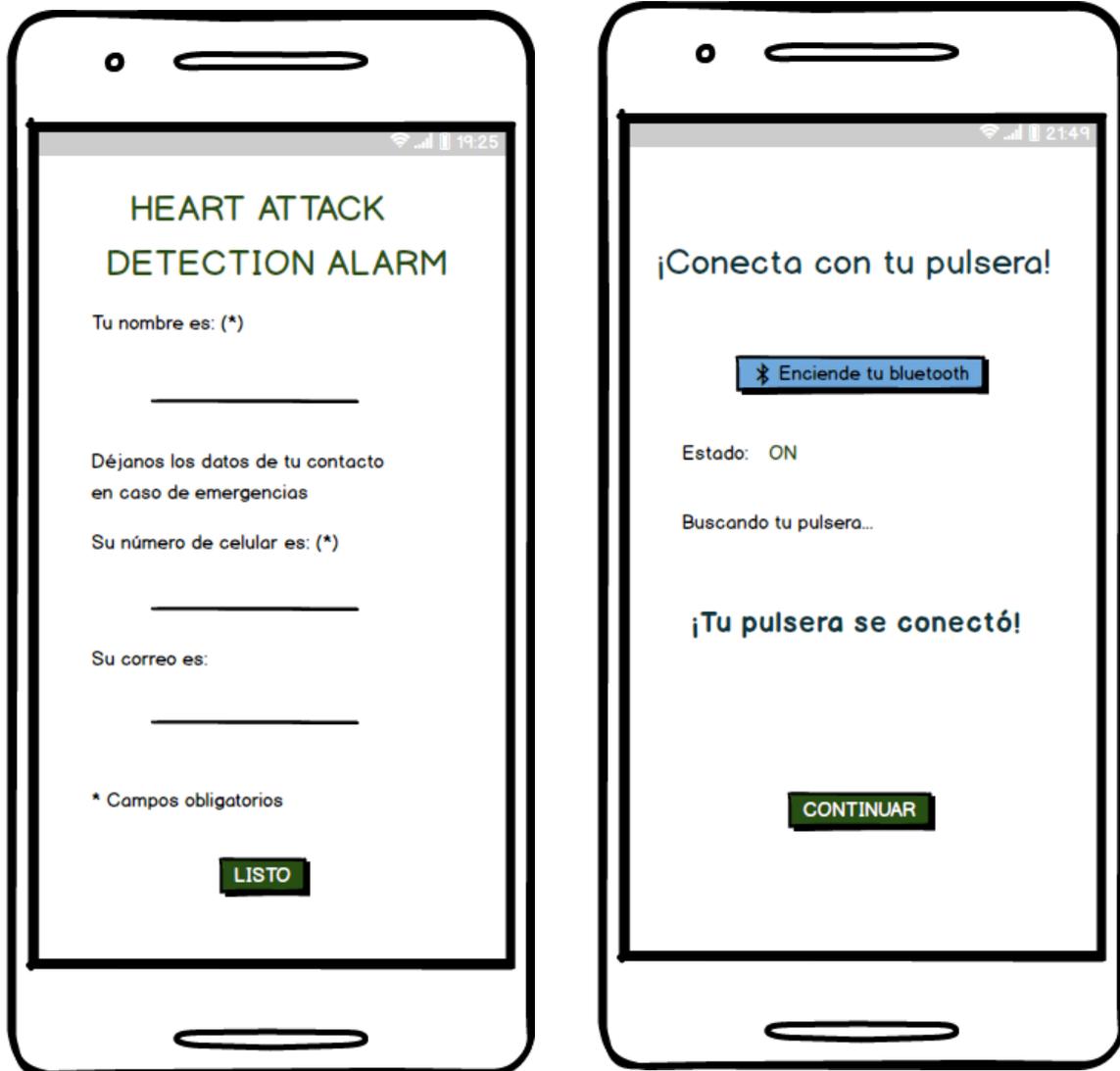
Recursos de Hardware			
Equipo	Cantidad	Precio	Total
Arduino Uno	1	95,00	95,00
S. Pulso (Sen 0386)	1	24,00	24,00
S. de Humedad (LM393)	1	8,00	8,00
S. Temperatura (Sen LM35)	1	5,00	5,00
Módulo Bluetooth HC-06	1	25,00	25,00
Baterias	1	15,00	15,00
Jumper	20	3,00	60,00
Baquelita Galleta	1	2,00	2,00
Tela	1	5,00	5,00
Estaño	1	1,00	1,00
Pistola para soldar	1	15,00	15,00
Silicona	1	3,00	3,00
Cinta Pegante	1	2,00	2,00
Protoboard	1	10,00	10,00
Total			213,00

Recursos de Software			
Programas	Cantidad	Precio	Total
Android Studio 3.1.3	1	0,00	0,00
Netbeans IDE 8.1	1	0,00	0,00
Arduino IDE 1.8.5	1	0,00	0,00
Ms. Office Professional 2016	1	0,00	0,00
Total			0,00

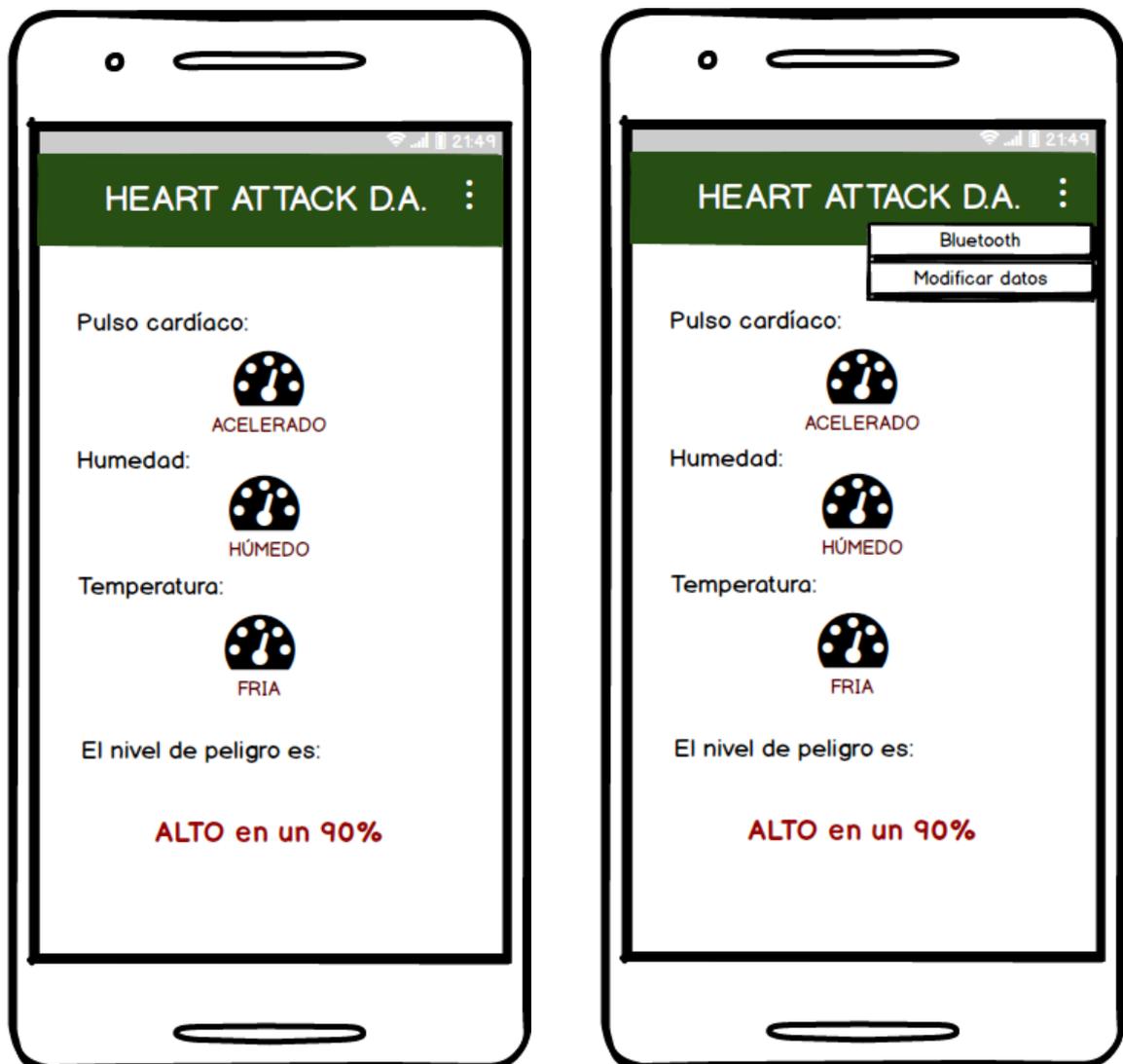
ANEXO N° 4. Diseño de interfaz gráfica

PANTALLA DE INGRESO DE DATOS DEL USUARIO Y SU CONTACTO.

PANTALLA DE CONEXIÓN A PULSERA ELECTRÓNICA



PANTALLA PRINCIPAL



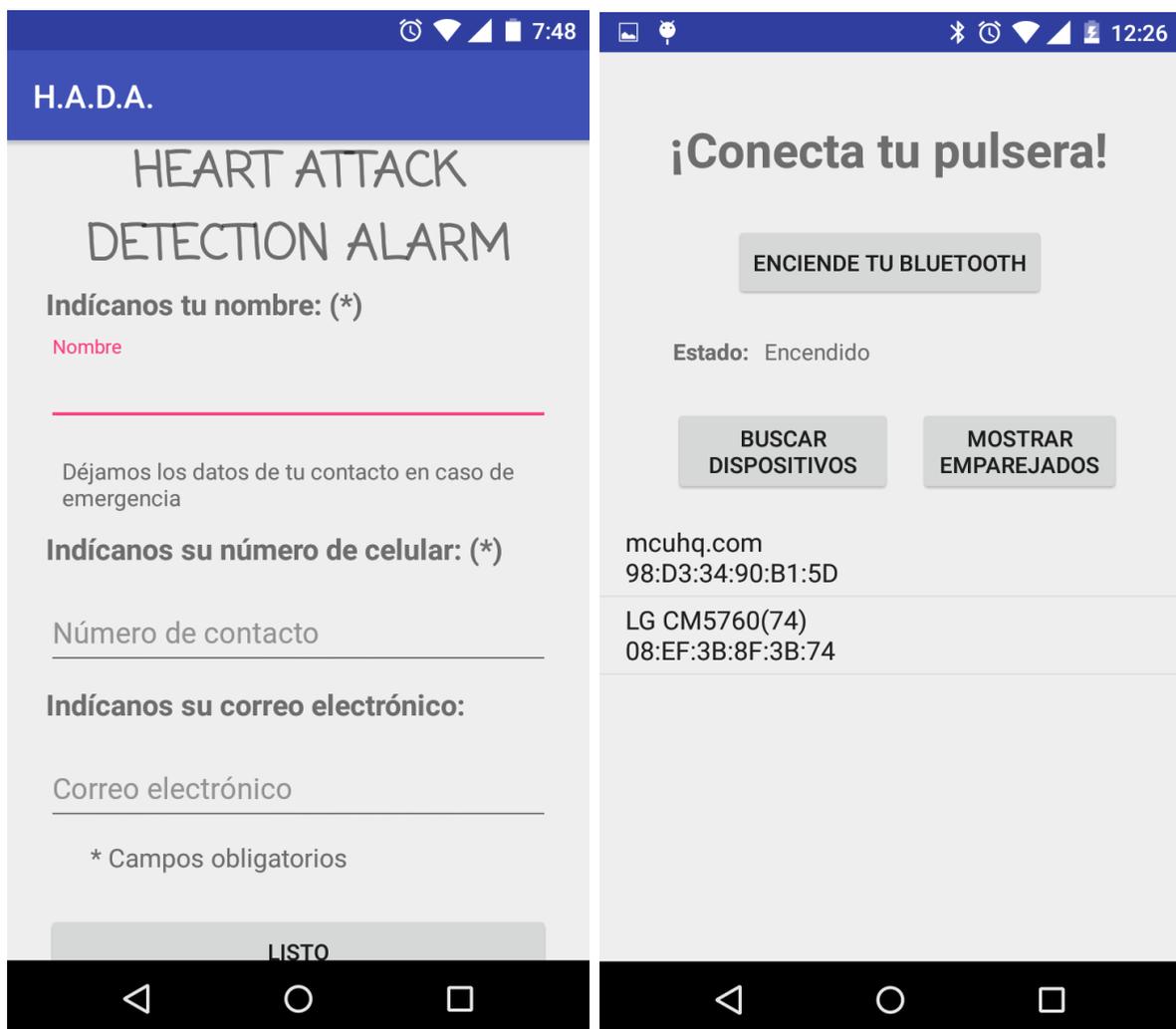
PANTALLAS DE CONFIGURACIONES



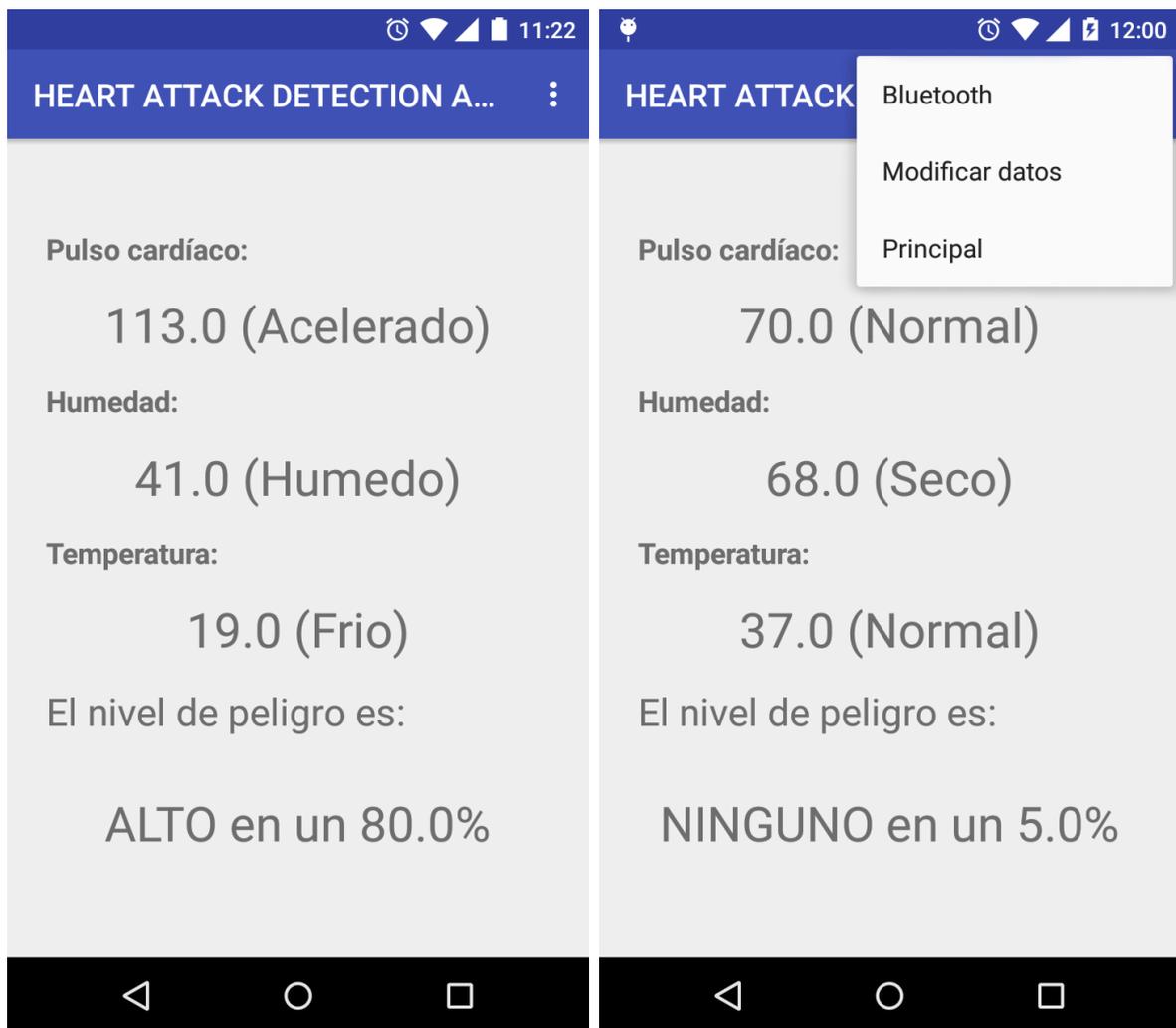
ANEXO N° 5. Capturas de pantallas de la aplicación móvil

PANTALLA DE INGRESO DE DATOS DEL USUARIO Y SU CONTACTO.

PANTALLA DE CONEXIÓN A PULSERA ELECTRÓNICA



PANTALLA PRINCIPAL



PANTALLAS DE CONFIGURACIONES

