

Prototipo de wearable para el monitoreo cardiaco y alerta de taquicardias

Trabajo Terminal No. _ _ _ _ - _ _ _

Alumnos: *Martínez Bohórquez Ricardo Esaú¹, Sicardo Contreras Juan Antonio²

Directores: Martínez Díaz Juan Carlos¹

*e-mail: jsicardoc1300@alumno.ipn.mx

Resumen – En México, los infartos de miocardio son la primera causa de muerte. Cerca de dos tercios de las personas que sufren un ataque cardiaco mueren antes de poder recibir tratamiento médico. Actualmente existen dispositivos inteligentes pequeños llamados *wearables* que pueden ser usados como accesorios personales y que cuentan con sensores, los cuales incluso pueden determinar la salud cardiaca de quien los usa, sin embargo, no son accesibles para la población mexicana. Se pretende desarrollar un prototipo de *wearable* que monitoree la salud cardiaca del usuario y que además pueda alertar a sus contactos de emergencia en caso de una taquicardia a fin de ser atendido a tiempo.

Palabras clave – Academia de Fundamentos de Sistemas Electrónicos, Wearables, Sensores, Aplicaciones Móviles

1. Introducción

Los infartos al miocardio (IM) normalmente conocidos como ataques al corazón suceden cuando alguna de las arterias coronarias que alimentan de sangre al corazón son bloqueadas de forma repentina. La sangre provee al corazón de oxígeno y de nutrientes, cuando se le impide el paso de forma total o parcial, se puede generar un daño permanente a este órgano [1].

Los principales síntomas de un IM son:

- Dolor en el pecho que se puede extender a los brazos, espalda y mandíbula.
- Dificultad para respirar o falta de aliento.
- Náuseas y vómito.
- Mareo o desmayos.
- Sudor frío.
- Palidez.

Un factor de riesgo de IM que queremos destacar es la hipertensión. La presión arterial elevada está relacionada estrechamente con enfermedades cardiovasculares. Entre mayor sea la presión arterial de una persona mayor es su riesgo de sufrir un IM y hasta un paro cardiaco [2].

Para diagnosticar un paro cardiaco se requieren de diversos estudios médicos, sin embargo, determinar los factores de riesgo de una persona para su prevención se puede hacer de manera sencilla. Algunos de los parámetros que se toman en cuenta para hacer este análisis son:

- Frecuencia cardiaca.
- Presión arterial.
- Oxigenación en sangre.

Especialmente la frecuencia cardiaca es de suma importancia ya que nos ayuda a determinar si existe una fibrilación auricular (frecuencia cardiaca irregular) que es un factor de riesgo importante o si se está produciendo una taquicardia (aumento de la frecuencia cardiaca que puede terminar en un paro) que es una de las complicaciones más graves de un IM.

Hoy en día existen dispositivos inteligentes de tamaño pequeño que “pueden ser usados como accesorios externos, embebidos en ropa, implantados en el cuerpo o incluso adheridos o tatuados a la piel” [3]. Estos dispositivos llamados *wearables* cada vez cobran más importancia y son más comunes en la vida de las

personas. Algunas capacidades básicas de los wearables son establecer conexiones con otros dispositivos inteligentes para el intercambio de información, ya sea para su visualización o su análisis.

Una de las categorías más importantes y comunes de wearables son los de la salud. Estos pueden servir para la rehabilitación de pacientes, pero también para el seguimiento de su salud. Los wearables hacen uso de distintos sensores que detectan los signos vitales del usuario y analiza la información generada para darle una visión general de su salud [3].

En lo particular, hay sensores dedicados a medir los parámetros relacionados a la salud cardíaca que se mencionaron anteriormente, a continuación, presentamos algunos de los más comunes:

PRODUCTO	TIPO	¿QUÉ MIDE?	SERVICIOS ADICIONALES	PRECIO EN EL MERCADO
Apple Watch Series 6	Reloj inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Oxigenación en sangre. • Frecuencia cardíaca. • Presión arterial. • Actividad física. • Patrones de sueño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Botón de emergencia. • Visualización de estadísticas de salud. 	A partir de \$10,999 MXN y requiere de un dispositivo inteligente externo de marca Apple.
iBeat	Reloj inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Oxigenación en sangre. • Frecuencia cardíaca. • Presión arterial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Botón de emergencia. • No requiere de dispositivos externos. 	\$249 USD con una suscripción mensual de \$17 USD.
Fitbit Sense	Reloj inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia cardíaca. • Actividad física. • Patrones de sueño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alertas de frecuencia cardíaca anormal. • Visualización de estadísticas, solo con suscripción adicional. 	€329,95 con suscripción opcional de €8.99 mensuales.
Motiv Ring	Anillo inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia cardíaca. • Actividad física. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización y estadísticas de salud. 	\$199.99 USD

Tabla 1: Comparación de sistemas de monitoreo cardíaco portátiles.

Sistemas similares que se han desarrollado:

- Los wearables antes mencionados.
- Trabajo Terminal 2014-B034: “Prototipo de sistema embebido para el monitoreo de ritmo cardíaco” [4].
- Tesis: “Monitor de ritmo cardíaco para dispositivos Android mediante un enlace bluetooth” [5].

2. Objetivo

Desarrollar un prototipo de wearable de bajo costo y una aplicación móvil que en conjunto monitoreen la salud cardíaca en tiempo real de un usuario, generen un histórico y puedan notificar, por medio de un mensaje de texto, a los contactos de emergencia definidos por el usuario en caso de una taquicardia.

2.1 Objetivos específicos

- Desarrollar un prototipo de wearable que monitoree constantemente de manera específica la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la oxigenación en sangre.
- Implementar la comunicación entre el wearable y un teléfono inteligente por medio de bluetooth.
- Desarrollar una aplicación móvil que reciba la información generada por el wearable y genere un histórico de la información recibida.

- Implementar un servicio en la aplicación móvil que identifique factores de riesgo y detecte cuando alguno de los parámetros medidos se encuentra fuera del rango saludable.
- Implementar un servicio en la aplicación móvil que pueda detectar taquicardias a través de la frecuencia cardiaca para informar por medio de un mensaje de texto a los contactos de emergencia definidos por el usuario.

3. Justificación

En México, los IM se posicionan como la primera causa de muerte [6], tan solo en 2016 estas representaron el 19.9% de las defunciones totales en el país según el artículo “*Nuestro corazón se puede detener si no lo cuidamos*” publicado por la Secretaría de Salud [7].

Según datos del Hospital Ángeles y de la Secretaría de Salud arrojan que, la probabilidad de presentar un IM va en función de la edad. Es decir que se tiene una mayor posibilidad de sufrir un IM dentro del rango de edad de 50 y 70 años. En la actualidad, este rango se ha expandido y ahora también incluye a persona de 30 a 40 años. Por otra parte, el género más afectado es el masculino. Esto no quiere decir que el género femenino este exento, ya que después del periodo de menopausia, se presenta una mayor probabilidad de sufrir un IM[8].

Aunado a esto, la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) estima que “cerca de dos tercios de las personas que sufren un ataque cardiaco mueren antes de que puedan recibir tratamiento médico” [1]. En esta situación de emergencia lo más importante es actuar rápido ya que eso puede prevenir la muerte y limitar el daño permanente que el IM pueda causar.

Los problemas cardiacos pueden afectar a cualquiera, sin embargo, son pocas las personas en México que pueden acceder a los wearables ya que según datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política y Desarrollo Social (CONEVAL), 41.9% de los mexicanos viven en situación de pobreza [9]. Como observamos en la tabla 1, los precios en el mercado de estos wearables son poco asequibles para este sector de la población.

Sin embargo, un dato importante es que según la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el 66% de la población de 6 años o más cuentan con un teléfono inteligente [10]. Es decir que una buena parte de la población incluso algunos en situación de pobreza, pueden acceder a estos dispositivos inteligentes y monitorear su estado de salud a través de un wearable de bajo costo.

La población que se podría ver beneficiada son hombres y mujeres, de 30 años en adelante cuyas condiciones económicas le impidan adquirir un wearable con función de monitorización cardiaca por sus altos costos.

Monitorear su salud podría tener los siguientes beneficios:

- Crear conciencia en el usuario sobre su salud cardiaca y que esto sirva como motivación para que tome las acciones necesarias para prevenir posibles problemas cardiacos.
- Permitirle al usuario conocer si presenta un factor de riesgo detectable por el wearable, de manera que este tome la decisión de acudir al médico a chequearse.
- Reconocer situaciones de emergencia respecto a la salud cardiaca del usuario que puedan ser detectadas por el wearable y avisar a sus familiares y a los servicios de emergencia para que reciba atención médica a tiempo.

Para este proyecto se utilizarán conocimientos del campo de los sistemas electrónicos como técnicas de acondicionamiento de señales y conversión analógica digital para recaudar la información, y se utilizará la programación orientada objetos, bases de datos, diseño de interfaces de usuario, programación de dispositivos móviles y protocolos de comunicación para la aplicación móvil.

En comparación con el Trabajo Terminal **2014-B034** y la Tesis: “**Monitor de ritmo cardiaco para dispositivos Android mediante un enlace bluetooth**” que plantean la medición de la frecuencia cardiaca y el diseño de un prototipo (placa de elementos PCB y software) a bajo costo, este sistema pretende medir no sólo la frecuencia

cardiaca si no también el nivel de oxigenación en la sangre y la presión arterial. Esto con el objetivo de poder informar al usuario de una manera más completa que existe el riesgo que este padezca de un IM mediante una interfaz amigable con el usuario y a un bajo costo.

4. Productos o Resultados esperados

El producto pretendido a desarrollar es un prototipo de un monitor cardiaco el cual sea capaz de medir la frecuencia cardiaca, la oxigenación de la sangre y la presión arterial. De acuerdo con los valores normales de cada signo vital y características de cada sensor se establecerán rangos para poder determinar si el prototipo registra mediciones normales o anormales.

Para la comunicación entre el prototipo y la aplicación se usará la tecnología bluetooth. La aplicación se encargará de almacenar y analizar la información con los propósitos de generar un histórico y monitorear en tiempo real señales de emergencia con respecto a la salud cardiaca del usuario.

El histórico se pretende como una herramienta que le permita conocer al usuario si existe alguna señal de alarma, factores de riesgo o si simplemente puede tomar acciones para tener un corazón más saludable. Este histórico será un punto de partida para que el usuario hable con un médico profesional si es que se notó algún signo de riesgo.

Por otro lado, el monitoreo en tiempo real se busca funcione como un mecanismo de seguridad para el usuario. Si existen mediciones que se consideren como críticas, como una frecuencia cardiaca demasiado elevada (taquicardia) se pueda alertar a los familiares del usuario y a los servicios de emergencia con el fin de que estas alertas conozcan a una atención médica más inmediata en el caso de emergencia.

A continuación, presentamos un diagrama a bloques del sistema esperado:

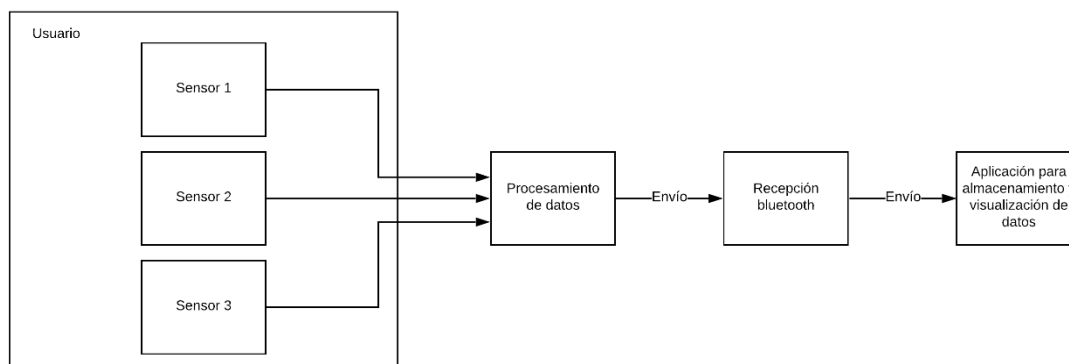


Ilustración 1. Diagrama a bloques del prototipo del sistema

De acuerdo con la figura anterior, se espera obtener lo siguiente:

- Prototipo de monitor cardiaco.
- Documentación técnica del sistema.
- Manual de usuario.
- Aplicación móvil.

5. Metodología

La metodología por seguir será el modelo de prototipos o modelo de desarrollo evolutivo que permite desarrollar versiones cada vez más completas de un software. Este modelo comienza con la comunicación, es decir, se inicia con la definición de objetivos globales para el software. Este modelo se basa en la prueba y error ya que,

en cada iteración, se le otorga una vista previa al usuario y, mediante retroalimentación se corrige algún aspecto que al cliente no le haya parecido adecuado, por esta razón se le llama modelo de desarrollo evolutivo pues se mantiene en mejora constante hasta que se obtenga el producto esperado [11].

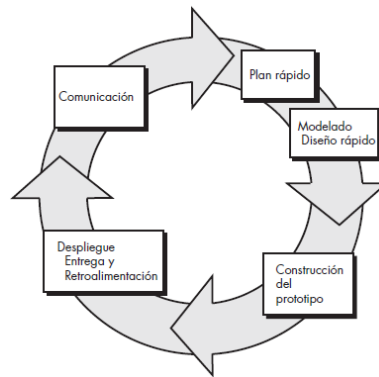


Ilustración 2. Modelo de prototipos

Este modelo se compone de las etapas

- Comunicación
- Plan rápido
- Modelo de diseño rápido
- Construcción del prototipo
- Despliegue, entrega y retroalimentación

Seguir este modelo resulta eficaz, pues al estar todos los participantes en un acuerdo común respecto al funcionamiento del prototipo como mecanismo para definir los requerimientos, se desarrollará un modelo de calidad. [11]

6. Cronograma

Cronograma Martínez Bohórquez Ricardo Esaú:

Actividad	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Investigación sobre sensores de frecuencia cardiaca, presión arterial y oxígeno en sangre.										
Elección de los sensores a utilizar.										
Diseño y construcción del circuito de acondicionamiento.										
Pruebas del prototipo del circuito de acondicionamiento.										
Diseño y construcción del prototipo de convertidor analógico digital.										
Pruebas del prototipo de convertidor analógico digital.										
Evaluación de TT-I.										
Diseño y construcción del prototipo del módulo de comunicación bluetooth.										
Enlace de los prototipos y pruebas.										
Implementación del protocolo de comunicación entre el wearable y la aplicación.										
Pruebas de comunicación entre wearable y la aplicación.										
Evaluación de TT-II.										
Elaboración de la documentación técnica.										

Cronograma Sicardo Contreras Juan Antonio:

Actividad	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Diseño y codificación de la interfaz de usuario.										
Pruebas de la interfaz de usuario										
Diseño e implementación de la base de datos.										
Pruebas de las bases de datos.										
Evaluación de TT-I.										
Diseño e implementación del modelo de análisis de los datos.										
Pruebas de análisis de los datos.										
Diseño y codificación del sistema de alertas a contactos de emergencia.										
Pruebas del sistema de alertas a contactos de emergencia.										
Implementación del protocolo de comunicación entre el wearable y la aplicación.										
Pruebas de comunicación entre wearable y la aplicación.										
Evaluación de TT-II.										
Elaboración de la documentación técnica.										

7. Referencias

- [1] Avoiding heart attacks and strokes: don't be a victim - protect yourself, World Health Organization, Ginebra. Suiza, 2005, pp. 7-15.
- [2] National Heart, Lung, and Blood Institute, "The Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure", National Institute of Health, MD, USA, Rep. 03-5233, 2003.
- [3] F. John Dian, R. Vahidnia and A. Rahmati, "Wearables and the Internet of Things (IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 69200-69211, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2986329.
- [4] M. A. Solano, J. S. Torres, "Prototipo de sistema embebido para el monitoreo de ritmo cardiaco" Trabajo Terminal, Ing. en Sistemas Computacionales, ESCOM, Ciudad de México, México, 2017.
- [5] P. E. Velázquez, L. J. Villagrán, "Monitor de ritmo cardiaco para dispositivos Android mediante un enlace bluetooth", Tesis, Ing. En Comunicaciones Electrónicas, ESIME, Ciudad de México, México, 2017.
- [6] *IAM MX Infarto Agudo al Miocardio*, Grupo de reperfusión en el infarto agudo al miocardio AC, Ciudad de México. México, 2017, pp. 3-4.
- [7] Secretaría de salud, "Nuestro corazón se puede detener si no lo cuidamos", Secretaría de salud, Ciudad de México, México, 2018.
- [8] J. Otero, "Infarto de miocardio", Depto. Cardiología, Hospital Ángeles del Carmen, Guadalajara, Jalisco, Rep. Salud.
- [9] *Medición de la Pobreza : Anexo Estadístico 2018*, Consejo Nacional de la Política y Desarrollo Social, 2018. [En línea]. Disponible en:
https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/Pobreza_18/AE_nacional_estatal_2008_2018.zip
- [10] *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y uso de Tecnologías de la Información en los Hogares*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019. [En línea]. Disponible en:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/dutih/2019/datosabiertos/conjunto_de_datos_endutih_2019_csv.zip
- [11] R. Pressman, "Modelos del proceso" in *Ingeniería del software: Un enfoque práctico*, 7th ed, NY, EU, McGraw-Hill, ch. 2, sec. 2.3.3, pp. 36-38.

8. Alumnos y Directores

Ricardo Esaú Martínez Bohórquez. - Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014090405, Tel. 55 8013 9009, email: rmartinezb1301@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Juan Antonio Sicardo Contreras. - Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014090691, Tel. 55 5454 7343, email: jsicardoc1300@alumno.ipn.mx

Firma: _____

Juan Carlos Martínez Díaz. - Prof. Titular C de ESCOM, de 1998 a la fecha. Prof. De ESIME Zacatenco, 1999 – 2000. Ing. En Comunicaciones y Electrónica con especialidad en Acústica por la ESIME Zacatenco, 1990-1995. Maestría en Ingeniería de Sistemas por SEPI de ESIME Zacatenco, 2001 – 2003. Áreas de interés, Instrumentación Electrónica, Instrumentación Acústica, Instrumentación Industrial, Electrónica, Acústica, Electroacústica, Electrónica de Potencia. Contacto: Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Edificio de Laboratorios de ESCOM, 1er. Piso. Tel. 57296000 ext. 52022 email: ingmardi@hotmail.com

Firma: _____

CARÁCTER: Confidencial
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos 108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.

Juan Antonio Sicardo Contreras

De: selfless chill ♥ 뭣 <ingmardi@hotmail.com>
Enviado el: domingo, 14 de febrero de 2021 07:39 p. m.
Para: Juan Antonio Sicardo Contreras
Asunto: Re: Revisión de portocolo segunda vuelta.

Saludos Juan Antonio, mis mejores deseos para tí y tu familia.

Recibido, gracias.

Atte. Prof. Juan Carlos Martínez Díaz

Obtener [Outlook para Android](#)

From: Juan Antonio Sicardo Contreras <jsicardoc1300@alumno.ipn.mx>
Sent: Sunday, February 14, 2021 3:20:01 PM
To: ingmardi@hotmail.com <ingmardi@hotmail.com>
Subject: Revisión de portocolo segunda vuelta.

Estimado profesor Juan Carlos Martínez:

Le envío la segunda versión de nuestro protocolo de TT para su revisión y en caso de no tener observaciones, nos proporcione el acuse de recibido

Atte.

Juan Antonio Sicardo Contreras

Juan Antonio Sicardo Contreras

De: Ricardo Esau Martinez Bohorquez
Enviado el: domingo, 14 de febrero de 2021 06:12 p. m.
Para: Juan Antonio Sicardo Contreras
Asunto: Re: Revisión de protocolo segunda vuelta

Confirmo recepción. Lo he revisado y considero que está todo en orde

Get [Outlook for iOS](#)

From: Juan Antonio Sicardo Contreras <jsicardoc1300@alumno.ipn.mx>
Sent: Sunday, February 14, 2021 3:18:13 PM
To: Ricardo Esau Martinez Bohorquez <rmartinezb1301@alumno.ipn.mx>
Subject: Revisión de protocolo segunda vuelta

Querido Ricardo Martínez:

Te envío la segunda versión del protocolo de nuestro TT para que lo revises y si todo está correcto me envíes tu acuse de recibido.

Juan Antonio Sicardo Contreras