

# Diseño conceptual de un sistema embebido portátil medidor de frecuencia cardiaca.

## Conceptual design of a portable embedded heart rate monitor.

Jocelyn Alondra Alfaro Fuentes (1).  
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec  
[fuentes.joce15@gmail.com](mailto:fuentes.joce15@gmail.com).

Iván González Ponciano (2). Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,  
[ivan\\_ponciano911@hotmail.com](mailto:ivan_ponciano911@hotmail.com).

Mauricio Luna Calva\* (3). Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,  
[mauricio.lun4@hotmail.com](mailto:mauricio.lun4@hotmail.com).

Donovan Jirov Maldonado Villaseñor (4). Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, [donovan11.maldonado@gmail.com](mailto:donovan11.maldonado@gmail.com).

Derlis Hernández Lara (5). Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,  
[dderlis-lara@tese.edu.mx](mailto:dderlis-lara@tese.edu.mx).

---

\*corresponding author.

**Artículo recibido en enero 12, 2021; aceptado en febrero 26, 2021.**

### Resumen.

*La enfermedad cardiovascular (ECV) es un grupo de trastornos del corazón y los vasos sanguíneos, son la principal causa de muerte en todo el mundo. Las enfermedades cardiovasculares afectan a los países de ingresos bajos y medianos en mucha mayor medida: más del 80% de las muertes por esta causa ocurren en estos países. El 80% de los infartos de miocardio y los accidentes cerebrovasculares prematuros (ACV) se pueden prevenir. El 75% de las muertes causadas por enfermedades cardiovasculares ocurren en países de ingresos bajos y medianos (OMS, 2020). Este artículo presenta el uso de un sistema portátil para medir y tener un registro conciso del pulso cardíaco de las personas que tienen una afección cardíaca o necesitan realizar un seguimiento rápido y constante. Se diseñó e implementó un sistema inalámbrico portátil que medirá la frecuencia cardíaca, el dispositivo es portátil para poder llevarlo a todas partes fácilmente.*

**Palabras clave:** Enfermedades cardiovasculares, Sistema portátil, Despliegue de la función de calidad.

### Abstract.

*Cardiovascular disease (CVD) is a group of disorders of the heart and blood vessels. They are the leading cause of death worldwide. Cardiovascular disease affects low and middle-income countries to a much greater extent: more than 80% of deaths from this cause occur in these countries. 80% of myocardial infarctions and premature stroke (Stroke) are preventable. 75% of deaths caused by CVD occur in low- and middle-income countries. This article presents the use of a Portable System to Measure and have a concise record of the heart pulse of people who have a*

*heart condition or need to keep track of it quickly and constantly. It is proposed to designed and implemented a portable wireless system that will measure the heart rate, the device will be portable to be able to take it everywhere easily.*

**Keywords:** Cardiovascular diseases, Portable system, Quality function deployment.

## 1. Introducción.

Del presente año 2021 al año 2030, casi 23,6 millones de personas morirán por alguna enfermedad cardiovascular, principalmente por cardiopatías y accidentes cerebro vasculares. Se prevé que estas enfermedades sigan siendo la principal causa de muerte (OMS, 2020). Las enfermedades cardiovasculares son un conjunto de trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos son la principal causa de defunción en todo el mundo. Las enfermedades cardiovasculares afectan en mucha mayor medida a los países de ingresos bajos y medianos: pues el mayor número de las defunciones por esta causa se producen en esos países. La mayoría de los infartos de miocardio y de los Accidentes Cerebrovasculares prematuros son prevenibles. Algunos de los dispositivos o sistemas para medición de frecuencia cardíaca suelen tener aspectos muy complicados a la hora de utilizarse, es por ello por lo que este trabajo tiene como objetivo principal diseñar un Sistema Embebido Portátil Medidor de Frecuencia Cardíaca, hecho a medida de los consumidores y resolviendo todas las problemáticas antes planteada con lo que se pretende plantear un diseño fácil de utilizar, fácil de transportar, resistente a caídas y golpes, así como de larga durabilidad.

La frecuencia cardíaca en reposo es la que bombea la menor cantidad de sangre necesaria, porque no está haciendo ejercicio. Si el paciente se encuentra sentado o tumbado y está tranquila, relajada y no está enferma, su frecuencia cardíaca suele estar entre 60 y 100 latidos por minuto (Asociation A.H., 2015). Medir y tener un registro conciso del pulso cardíaco de las personas que presenten algún padecimiento del corazón o requieran llevar un control de este de forma rápida y constante, planteando un diseño fácil de utilizar, cómodo de transportar, resistente a caídas y golpes, así como de larga durabilidad. Llevar a cabo el cuidado correcto de la frecuencia cardíaca que envía el corazón, es una tarea difícil, es por ello por lo que el sistema embebido que se pretende implementar ayudará a tener un control total de la enfermedad cardiovascular y así prevenir a tiempo infartos provocados por la misma. El dispositivo que se implementará busca fomentar la cultura del cuidado de la salud, además de tener un control e informar a la persona sobre frecuencia cardíaca. Lo anterior mejora la calidad de vida de las personas que sufren enfermedades cardiovasculares.

## 2. Metodología.

El presente trabajo se basa en la metodología QFD (del inglés, *Quality Function Deployment*), para el desarrollo del diseño del dispositivo, con la cual se obtendría un producto de calidad adaptándose a las necesidades de los usuarios. (Piqueras, 2016). Identificar los requerimientos deseables, es fundamental para saber que otros factores pueden ser incluidos en el dispositivo, para adaptarlos al sistema deberán estar en orden de importancia, sin embargo, no se tomarán en cuenta todos aquellos puntos que puedan dañar o modificar por completo al sistema. Los requerimientos/requisitos de un sistema describen los servicios que ha de ofrecer el sistema y las restricciones asociadas a su funcionamiento (Granada, 2019). Para obtener el cálculo se utilizan dos valores de comparación.

Una vez identificados los requerimientos deseables ubicados en la TABLA I se consideran para saber su orden de importancia en el sistema y establecer cuáles son más prioritarios para ser incluidos en el diseño como se presenta en la TABLA II.

- (+). El requerimiento de comparación es más importante.
- (-). El requerimiento de comparación no es más importante.

Considerando los valores de comparación, se calculan los pesos relativos de cada requerimiento deseable, mediante la ecuación (1), donde  $\sum (+)$ , es el número de veces que el requerimiento fue más importante respecto a los demás, concluyendo en la ecuación (1).

$$Ir(\%) = \frac{\Sigma+}{Total} * 100; \text{ Valor relativo del requerimiento} \tag{1}$$

**A. Determinación y clasificación de los requerimientos del cliente.**

Establecer las necesidades del cliente, es fundamental para la optimización, el proceso de diseño del proyecto y su satisfacción. Algunos pacientes que son detectados con enfermedades cardiovasculares no son orientados correctamente sobre el proceso de su enfermedad, no están bien informados sobre los riesgos que el mal control de la enfermedad puede llegar a ocasionar.

Existen algunas medidas que el usuario puede tomar para evitar que la enfermedad se desarrolle o bien, poder prevenirla con tiempo (Rodríguez, 2019). Los requerimientos presentados en la TABLA I, se obtuvieron de encuestas en línea hacia las personas que padecen enfermedades cardiovasculares a partir de 15 años, a los cuales se les preguntó: ¿Qué características debería tener un dispositivo que mida la frecuencia cardiaca? Esto especialmente en adultos mayores que vivan solos, personas que no reciban la atención de cuidado por otras personas o en cualquier otra circunstancia. De los resultados obtenidos en la encuesta, se registró la clasificación de requerimientos tanto obligatorios como deseables, los cuales tienen una clasificación por letras (A, B, C, D) siendo A los requerimientos más importantes y D menos relevantes, sin embargo, considerados para el proyecto.

**Tabla 1.** Clasificación de Requerimientos.

Obligatorios	Deseables
<b>A1.-</b> El sistema deberá poder ser manipulado por cualquier usuario.	<b>A5.-</b> El sistema deberá conectarse a cualquier red de internet.
<b>A2.-</b> El sistema deberá medir la frecuencia cardiaca.	<b>A6.-</b> El dispositivo deberá tener un costo de producción menor a los \$800.
<b>A3.-</b> El sistema deberá manejarse mediante un dispositivo móvil	<b>D1.-</b> El dispositivo deberá tener una comunicación con dispositivos vinculados a él, para contactar en cualquier emergencia.
<b>A4.-</b> El sistema deberá ser portátil.	<b>D2.-</b> El dispositivo deberá ser resistente al agua.
<b>B1.-</b> El dispositivo deberá ser ligero y fácil de transportar.	<b>D3.-</b> El dispositivo deberá funcionar con energía solar.
<b>B2.-</b> El dispositivo deberá emitir una señal cuando la frecuencia cardiaca este elevada.	<b>D4.-</b> El dispositivo deberá tener la tecnología GPS
<b>B3.-</b> El dispositivo deberá funcionar sin estar conectado a una red de internet.	<b>D5.-</b> El dispositivo deberá ser resistente a cualquier caída de 2 metros.
<b>B4.-</b> El dispositivo deberá tener materiales de calidad, duraderos, que afecten lo menos posible al medio ambiente.	<b>D6.-</b> El dispositivo deberá ser ligero y no pesado para el cómodo transporte del usuario.
<b>B5.-</b> El dispositivo deberá contactar a un hospital en caso de que la frecuencia cardíaca se eleva.	<b>D7.-</b> El dispositivo deberá contar con una alarma como despertador.
<b>C1.-</b> El dispositivo deberá detectar diferentes padecimientos.	<b>D8.-</b> El dispositivo deberá tener un asistente de voz, para recibir la información sobre su estado actual.

**Tabla 2.** Ponderación de los requerimientos deseables en orden de importancia.

Orden de importancia	Requerimientos Deseables	Σ(+)	Ir (%)
1	<b>A3.-</b> El sistema deberá manejarse mediante un dispositivo móvil.	5	33.3
2	<b>A5.-</b> El sistema deberá conectarse a cualquier red de internet.	4	26.6
3	<b>A7.-</b> El dispositivo deberá tener un costo de producción menor a los \$800.	3	20
4	<b>B5.-</b> El dispositivo deberá contactar a un hospital en caso de que la frecuencia cardiaca se eleve.	2	13.6
5	<b>C1.-</b> El dispositivo deberá detectar diferentes padecimientos.	1	6.6
6	<b>D1.-</b> El dispositivo deberá tener una comunicación con dispositivos vinculados a él, para contactar en cualquier emergencia.	0	0
	<b>Total =</b>	15	100

**B. Traducción de los requerimientos a términos mensurables de ingeniería.**

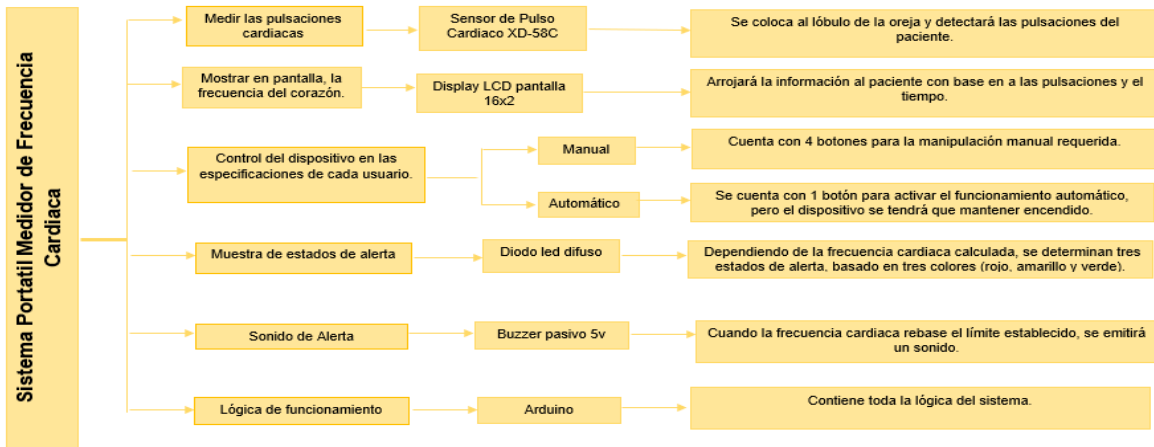
Integrar los requerimientos del cliente con el proceso de diseño, tratando de convertir las preguntas, opiniones y deseos en un lenguaje que sea concreto y pueda medirse.

**Metas de diseño.**

- Hacer que el dispositivo sea totalmente portátil.
- Medir la frecuencia cardiaca.
- Alertar a la persona cuando la frecuencia cardiaca este elevada.
- Observar le frecuencia que envía el corazón.
- Optimizar el funcionamiento del dispositivo, con una batería de 2000 mAh.

**C. Análisis funcional del sistema.**

En el análisis funcional se detallan todas aquellas funciones que el sistema debe cumplir, para esto se delimita la función global o principal del sistema y las subfunciones que se tienen que realizar para que ésta se pueda llevar a cabo. La función global de servicio del sistema en el proceso de diseño describe el papel a desempeñar del mismo, para lo cual se apoya de funciones de servicio (Robers, 2018) son todas aquellas acciones que serán realizadas por la máquina o sistema que se va a diseñar para dar solución a la necesidad planteada, y que pueden ser globales o de uso, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Árbol de funciones del diseño conceptual propuesto.

**D. Generación y evaluación de conceptos.**

En la TABLA III se representa una evaluación basada en matrices de decisión, en la cual se extraen los requerimientos que se desean basándonos en el concepto A como punto principal y como punto de comparación para verificar si un concepto cumple de mejor manera el requerimiento se colocará un signo (+) y si lo cumple de igual o menor forma se colocará un signo (-), lo cual se puede observar en los conceptos B y CD. Una vez realizados los filtros el concepto ganador es B, este concepto se parte en dos partes, *Software* y Hardware. En el *software* desarrollamos una aplicación que en el momento que se dé una emergencia por síntomas elevados de la frecuencia cardiaca se notificará al cliente su estado actual, de igual forma si la situación pasa a una situación más grave se programó el sistema para que pueda notificar a un hospital que está en situación de riesgo y de igual manera se notifica a los dispositivos móviles vinculados al sistema. Por otro lado, se puede programar un cronómetro en caso de que el cliente salga a ejercitarse y medir su frecuencia cardiaca en determinado tiempo y como ya mencionado, checar su estado actual. Del lado del *hardware*, se implementó un Arduino Uno R3, como principal conexión al sistema, seguido de una LCD 16x2 para verificar los diferentes estados que se pueden presentar, se tenga factibilidad y buen manejo del sistema para el cliente.

**Tabla 3.** Evaluación basada en matrices de decisión.

FUNCIONES	Conceptos			
	Calificación relativa	A	B	CD
A3.- El sistema deberá manejarse mediante un dispositivo móvil.	33.3	*	+	+
A7.- El dispositivo deberá tener un costo de producción menor a los \$800.	20	*	+	-
A5.- El sistema deberá conectarse a cualquier red de internet.	26.6	*	+	+
D1.- El dispositivo deberá tener una comunicación con dispositivos vinculados a él, para contactar en cualquier emergencia.	0	*	+	+
C1.- El dispositivo deberá detectar diferentes padecimientos.	6.6	*	+	+
B5.- El dispositivo deberá contactar a un hospital en caso de que la frecuencia cardiaca se eleve.	13.6	*	+	-
$\Sigma+$		*	6	4
Mejor concepto (Ranking)		2	1	3

**3. Desarrollo y resultados.**

En el siguiente Pseudocódigo 1 se muestra la lógica implementada, cabe mencionar que este programa se ejecuta cada vez que el usuario desee medir la frecuencia cardiaca.

Para la simulación del sistema propuesto, se tomará en cuenta un diseño amigable y cómodo para el usuario. Conforme al estudio realizado este dispositivo cuenta con los siguientes materiales:

- Cuatro botones para funciones principales del mismo.
- Tres LED's de estado de pulso cardiaco.
- Una bocina para alertar un nivel de riesgo alto.
- Una pantalla LCD modelo LM044L que mostrara las funciones y diferentes alertas del medidor al paciente.
- Un botón de paro de alarma en caso de que el paciente ya esté siendo atendido después de una situación de emergencia.
- Un sensor de pulso cardiaco para Arduino
- Arduino Simulino Uno ATMEGA328p para llevar el control de los procesos del sistema.
- Power Bank de 5V para la alimentación del dispositivo.

---

**Pseudocódigo 1. Proceso de funcionamiento del sistema medidor de frecuencia cardiaca.**


---

1. Declarar y configurar pines de entrada y salida /\*Inicio del programa\*/
  2. Espera de Acción inicial (pulsaciones).
  3. El cronometro comienza a contar.
  4. Durante el conteo se calcula la frecuencia en base a las pulsaciones
  5. Fin del conteo.
  6. Análisis de información.
  7. Arroja fecha y hora de la prueba.
  8. Muestra los latidos por minuto.
  9. Recibir información.
  10. Ejecutar proceso.
  11. Mostrar los resultados en pantalla.
  12. Nivel de frecuencia cardiaca máximo.
  13. Nivel de frecuencia promedio.
  14. Fecha y hora actual de la prueba.
  15. Edad del paciente.
  16. Pulsaciones por minuto.
  17. Proceso de Estados
  18. Fin y reinicio del sistema.
- 

Después de haber simulado el sistema, se visualiza la información en la (LCD del inglés, *Liquid Cristal Display*), aquí se muestran los diferentes estados posibles de la salud del usuario, el cual lo hacen amigable con el usuario. Este proyecto tiene como ventajas la facilidad de movilidad, es ligero, tiene una mayor ergonomía, es más intuitivo, mayor autonomía gracias a su batería, el dispositivo saldría en el mercado con un costo de \$850.00 MXN.



**Figura. 2.** Sensor de FC para Arduino.

El sensor que se muestra en la Figura 2 deberá combinar un simple sensor de frecuencia cardíaca óptica con amplificación, y un circuito de cancelación de ruido haciendo que las lecturas de pulso sean fiables, fáciles y rápidas de obtener. Además, necesita solo 4 mA de corriente a 5 V, lo que lo hace ideal para aplicaciones móviles. Se tiene que sujetar el sensor de pulso en el lóbulo de la oreja y conectarse con el Arduino de 3 V o 5 V y ya está listo para leer la frecuencia cardíaca. El cable del sensor de pulso, de 61 cm (24"), está terminado con conectores macho estándar así que no se necesita soldadura.

A continuación, se muestran las fórmulas más comunes para el cálculo de frecuencia cardiaca o pulsaciones por minuto, pues estas varían desde los inicios de la evaluación de estas, siendo el primero en calcular la FCM el Dr. Robson en 1938, que estableció la fórmula (2), aunque la fórmula más utilizada, al menos a nivel usuario, suele ser la mostrada en la fórmula (3), siendo está bastante simple, como puedes ver, por lo que faltan variables que nos lleven a un resultado más acertado, en 2001, Tanaka propuso una nueva fórmula para calcular la FCM en adultos fórmula (4). Además de estas fórmulas hay muchas más que quizás difieren en algún dígito de las anteriores, pero estas son las tres que más se utilizan (Vitónica, 2014).

$$FCM = 212 - (0.775 * edad); \text{ Frecuencia cardiaca por minuto (Robson)} \quad (2)$$

$$FCM = 220 - edad; \text{ Frecuencia cardiaca por minuto (Más común)} \quad (3)$$

$$FCM = 208.75 - (0.73 * edad); \text{ Frecuencia cardiaca por minuto (Tanaka)} \quad (4)$$

En las siguientes figuras se muestra la simulación del prototipo virtual para el proyecto propuesto, en la Fig. 3 se observa cuando el pulso del usuario esta estable, en la Figura 4 cuando la frecuencia es media y en la Figura 5 en estado de alerta. Mientras que en la Figura 6 se presenta una prueba física del circuito y su conexión.

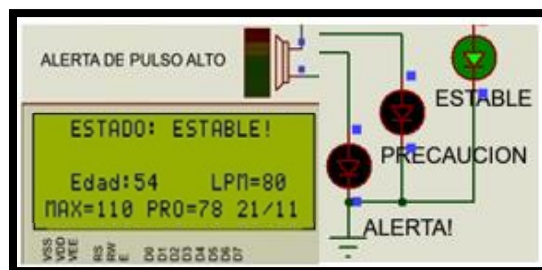


Figura 3. Simulación en LCD, ejemplo de frecuencia estable.

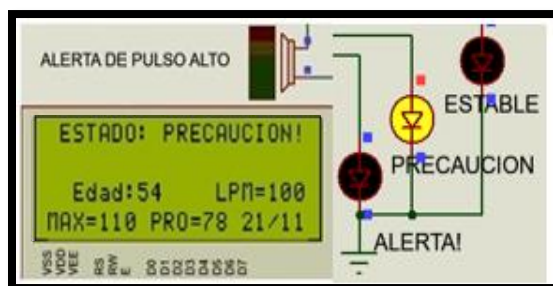


Figura 4. Ejemplo de frecuencia media.

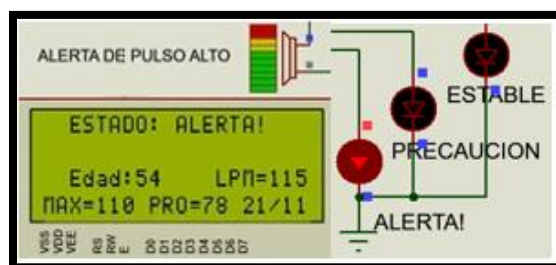
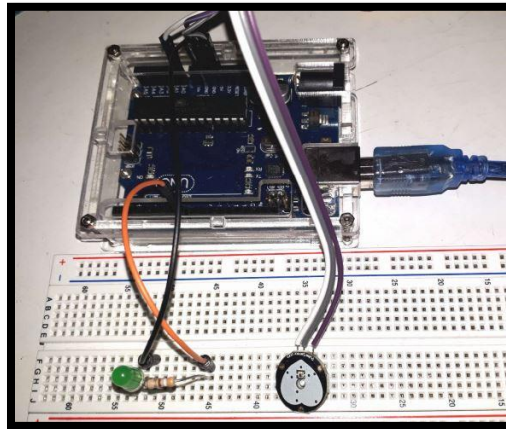


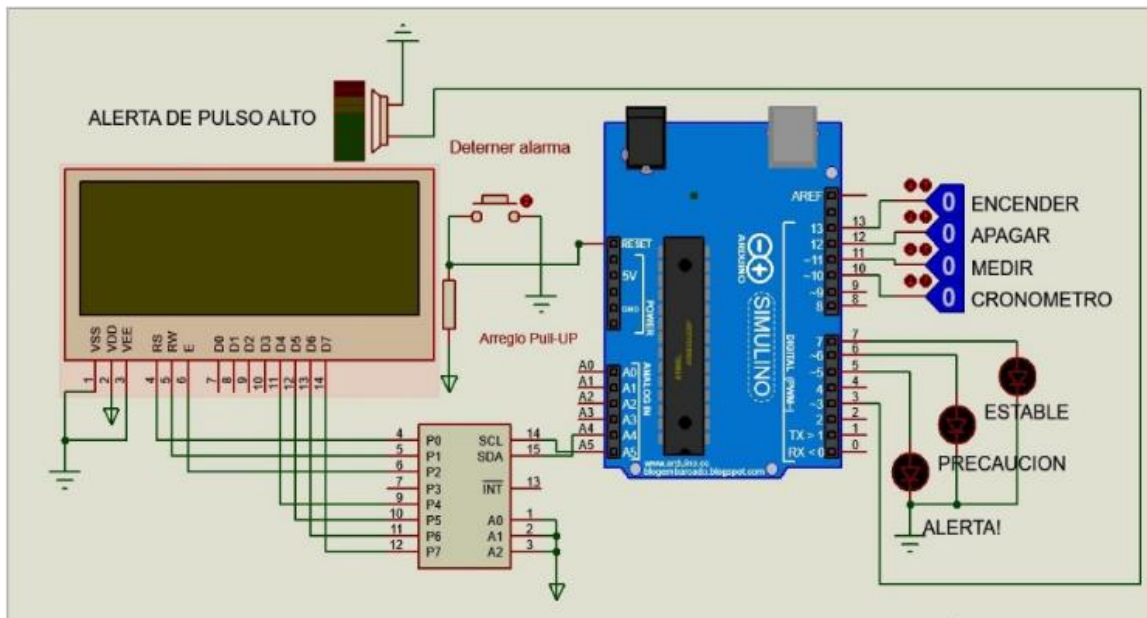
Figura 5. Ejemplo de alerta de frecuencia.



**Figura 6.** Diseño en físico del prototipo.

Después de la simulación y de analizar los datos se pueden interpretar los diferentes niveles de riesgo en el pulso cardíaco del usuario y los valores de referencia a pulsaciones por minuto, esto sucede estando en reposo y varían dependiendo la edad divididos entre hombres y mujeres, de igual forma el número de pulsaciones por minuto al ser representadas sobre el tiempo nos dan la frecuencia cardíaca.

La frecuencia cardíaca es un parámetro que mide el número de veces que late el corazón en un minuto y se expresa en pulsaciones por minuto (ppm). Y la FCR corresponde al número de latidos que se tiene idealmente tomados a primera hora de la mañana en reposo. Se considera «normal» una frecuencia cardíaca en reposo entre las 50 y las 100 pulsaciones por minuto para cualquier persona, pero existen algunos factores importantes que hay que tener en cuenta para analizar este dato que es muy relevante para medir el nivel de condición física. En la Figura 7 se presenta un diagrama esquemático de conexión del sistema propuesto para medir la frecuencia cardíaca. Los niveles de frecuencia cardíaca pueden depender de la edad y del sexo, entre otras variables, para determinar entre inadecuado, normal, bueno y excelente (Trainer, 2019).



**Figura 7.** Ejemplo de diagrama esquemático del Sistema Medidor de Frecuencia Cardíaca.



## Conclusiones.

Se creó el diseño conceptual de un Sistema Embebido medidor de frecuencia cardiaca, el cual pretende ser pequeño y práctico para la comodidad del usuario, además contará con algunos estados que facilitarán la detección de una situación de emergencia, de esta manera anticipar con tiempo una emergencia. Además, el presente trabajo se desarrolló utilizando la metodología QFD, con el objetivo de obtener un diseño conceptual que cumpla con los requerimientos obligatorios del cliente y a la vez algunos de los deseables. De igual forma, el modo alerta, contará con una bocina que avisará en caso de que la persona se encuentre en mal estado al no poder avisar por su cuenta propia debido a la situación, este sistema lo hará por él. Llegando así al objetivo deseado. En este proyecto se observa la manera en la que se puede juntar la tecnología con la vida diaria de una persona y así mismo darle un beneficio a la calidad de vida de alguien que lo necesite en su vida cotidiana.

## Agradecimientos.

Los autores agradecen al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, en específico a la división de Ingeniería Informática por el apoyo brindado.

## Referencias bibliográficas.

- OMS. (2020).** *Prevención y control de las enfermedades cardiovasculares.* Ciudad de México: Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2020).** *Análisis de Resultados para Cardiopatías.* Ciudad de México: OMS.
- Asociación A.H. (2015).** *Acerca de la frecuencia cardiaca (pulso).* Dallas, Texas: AAH.
- Piqueras, V. Y. (2016).** *QFD: Despliegue de la Función de Calidad.* Valencia, España: Universidad Politécnica de València.
- Granada, U. d. (2019).** *Especificación de Requerimientos de Bases de Datos.* Granada, España: DECSAI.
- Rodríguez, K. V. (2019).** *Acciones para Prevenir y Atender Enfermedades Cardiovasculares.* Jalisco, México: TZMG.
- Roberts, R. J. (2018).** *Funciones de Relación para la Vida Diaria.* GlobalespVidadiaria.
- Vitónica. (2014).** *Fórmula para medir FCM.* Madrid, España.
- Trainer. (2019).** *Frecuencia Cardiaca un Aspecto a Tener muy en Cuenta.* RBTrainer.

### Información de los autores.



**Jocelyn Alondra Alfaro Fuentes**, Egresada de Colegio de Bachilleres plantel 1 "El Rosario". Actualmente es estudiante de Ing. informática en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Sus principales intereses son las bases de datos, desarrollo de páginas web y el desarrollo de aplicaciones web.



**Iván González Ponciano**, Estudiante de la carrera de Ing. Informática en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, cuenta con título técnico en Informática por parte del IPN Cecyt 12, participe en diversos eventos de innovación y tecnología, así como reconocimiento en eventos tecnológicos. Sus principales áreas de interés son la implementación de sistemas embebidos, sistemas computacionales, bases de datos y desarrollo de aplicaciones.



**Mauricio Luna Calva**, Egresado de la Escuela Preparatoria Oficial No. 12 del Estado de México (EPOEM 12) en el año 2017. Actualmente es estudiante de Ing. Informática del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Cuenta con diversas participaciones en concursos de tecnología, ciencia e innovación. Las áreas de estudio por las que se interesa son la inteligencia artificial y la aplicación de la ingeniería en la industria aeroespacial e industria automotriz.



**Donovan Jirov Maldonado Villaseñor**, Estudiante del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, carrera Ing. Informática. egresado del DGETI No. 54 Guadalupe Victoria cuenta con título técnico en Técnico en Programación. Sus principales intereses de la Ing. Informática son la seguridad informática y la interconectividad de redes.



**Derlis Hernández Lara**, Ing. en robótica industrial egresado de la ESIME UA (2011) y M. en C. en ingeniería de cómputo con opción en sistemas digitales por parte del CIC (2014) en el Instituto Politécnico Nacional, México. Actualmente es profesor del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec y de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Sus áreas de interés son la aplicación de metaheurísticas para el diseño y optimización en ingeniería, la implementación de sistemas embebidos para garantizar la seguridad alimentaria, inteligencia artificial y la robótica.