

Monitor Cardíaco Digital

Juan David Ramirez Salazar, Ana María Rodríguez Reyes

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

Email: judramirezsa@unal.edu.co, anmrodriguezre@unal.edu.co

Resumen—Un motor cardíaco digital es una herramienta alternativa y más sencilla de usar a comparación de un electrocardiograma, esto trae consigo ventajas de acceso, costo, entre otros. En este proyecto mostramos la implementación y funcionamiento de un prototipo de este, con lo que se puede hacer una idea de cómo realizar a gran escala este instrumento funcional y práctico.

I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad es cada vez más fácil monitorear el ritmo cardíaco (pulsaciones por minuto del corazón), existen dispositivos que por diferentes métodos pueden medirlo con suficiente precisión a bajo costo, por ejemplo las pulseras tal como relojes y otros accesorios deportivos cuentan con esta función, la cual realizan utilizando la técnica de Fotopletiografía (utilizar un haz de luz para determinar el volumen de un órgano) en este caso por medio de un sensor ubicado en la parte inferior de la muñeca, este produce un haz de luz infrarroja y debido a su cercano contacto con la piel, el haz alcanza a llegar a las venas y reflejarse devuelta al sensor, cambiando su medición acorde a los cambios de volumen de sangre causados por las pulsaciones; aunque esta tecnología no es única de los dispositivos deportivos, ciertamente es en los que más se utiliza. Se puede observar que algunos celulares ya incorporan esta tecnología con ayuda de la cámara (Samsung Galaxy S5, Google Nexus 6); o incluso aunque con menor precisión, están disponibles una gran cantidad de aplicaciones móviles que miden el ritmo cardíaco usando la cámara y el flash LED como receptor y emisor del sensor respectivamente [1]. En este proyecto buscamos precisamente por medio de implementos sencillos y relativamente baratos (con respecto al precio de un electrocardiograma) generar un dispositivo que con ayuda de una FPGA pueda monitorear el ritmo cardíaco del usuario y de acuerdo a datos ingresados por este, informarle de posibles disfuncionamientos en el sistema cardiovascular.

II. ANTECEDENTES

Siendo los monitores cardíacos una herramienta útil y bastante económica de fabricar, es de esperarse que muchas universidades y centros de investigación trabajen alrededor de estas, algunos ejemplos son:

- Monitoreo cardíaco remoto para la clasificación automática de señales de electrocardiograma en adultos mayores: El cual busca con diseños muy similares al planteado en nuestro diseño dar una atención temprana a pacientes con alto riesgo de sufrir infartos en asilos, utilizando tecnología bluetooth para transmitir las mediciones del dispositivo a un celular, y a través de técnicas

de clasificación alertar a el centro médico de posibles anomalías. [2].

- Control de estrés en animales de producción [3]: Un Sistema de monitoreo electrónico para medir el ritmo cardíaco y la temperatura en la piel de pequeños rumiantes, con las cuales se determina el estado de salud de los animales.
- Iniciativa Global Hearts de la OMS [4]: La iniciativa constaba de 3 frentes: MPOWER para controlar la epidemia de tabaco, SHAKE para reducir el consumo de la sal y HEARTS para fortalecer el manejo de enfermedades cardiovasculares en primeros auxilios.
- Estudio realizado por la European Heart Rhythm Association en hospitales en Europa sobre el uso de monitoreo cardíaco remoto [5]: Con resultados como: Menos de un 80 % de hospitales implementan el uso de monitores cardíacos para sus labores diarias, el otro 20 % usa monitores cardíacos remotos lo que según el estudio reduce el número de pacientes que requieren exámenes rutinarios presenciales en un 50 % además de mejorar la calidad de vida de los pacientes en un estimado del 91.1 % por medio de detección mucho más temprana de posibles anomalías cardiovasculares.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un electrocardiograma es un proceso por el cual se graba la actividad eléctrica del corazón en un periodo de tiempo usando electrodos, el buen uso de un electrocardiógrafo permite obtener información para detectar arritmias, ataques al corazón, convulsiones, cardiomiopatía, entre otras condiciones relacionadas al corazón. Es común encontrar este elemento en hospitales, clínicas y demás centros de atención médica; sin embargo en lugares del mundo con pocos recursos o con una menor accesibilidad a un sistema de salud de calidad es una herramienta con la que no siempre se cuenta, esto se debe principalmente a que el costo en el mercado de un electrocardiógrafo está en promedio en dos millones de pesos (COP) [6]. Teniendo en cuenta esto nos preguntamos ¿existe alguna manera de poder brindar este servicio a personas que no cuentan con el acceso a un sistema de salud de calidad?, ¿existe alguna manera de reducir el costo de fabricación de electrocardiógrafos?, ¿es posible diseñar un dispositivo que pueda realizar análisis con la misma función que un electrocardiograma?

IV. MOTIVACIÓN

La era digital actual cada vez cierra más la brecha entre las comunidades de bajos recursos y el acceso a tecnologías, esto a permitido que estas comunidades tomen decisiones informadas sobre aspectos como: empleo, vivienda y transporte, pero en aspectos tan básicos como conocer el estado propio de salud, las herramientas disponibles solo tocan la parte teórica, dejando a la persona sin certeza sobre su estado actual. La gran disponibilidad y accesibilidad de hardware que poseen por ejemplo los celulares, Raspberry PI, etc., abren una gran ventana de posibilidades para generar dispositivos que puedan brindar información esencial en tiempo real siendo guías del estado actual de salud, esto sin tener que contar con un gran presupuesto o de movilizarse grandes distancias lo cuál es útil para tomar decisiones oportunas sobre la salud, como acercarse a un especialista.

V. JUSTIFICACIÓN

Actualmente según la organización mundial de la salud (OMS) mueren alrededor de 17.7 millones de personas anualmente debido a enfermedades cardiovasculares [4], de las cuales aproximadamente 3 de cada 4 ocurren en países con ingresos bajos y medios, es de suma importancia que nosotros como ingenieros generemos soluciones practicas a este tipo de problemáticas de la sociedad, ya que según la OMS el ochenta por ciento de infartos de miocardio pueden ser prevenidos si se detectan anomalías oportunamente, pero en países de bajo y mediano ingreso como lo es Colombia la frecuencia con la que una persona se realiza exámenes cardiovasculares es baja. Aunque un electrocardiograma es un instrumento médico complejo con muchas opciones, las detecciones tempranas de problemáticas a una gran cantidad de aflicciones (y en general exámenes cardiovasculares) pueden ser realizadas con un sencillo y económico monitor cardíaco [7], de aquí la importancia de tener diseños de estos elementos.

V-A. Propuesta

Este proyecto se concentrará en la detección temprana de posibles problemas, para esto se va a monitorear el ritmo cardíaco (pulsaciones por minuto del corazón), existen dispositivos que por diferentes métodos pueden medirlo con suficiente precisión a bajo costo, por ejemplo las pulseras, relojes y otros accesorios deportivos cuentan con esta función, la cual realizan a través de la técnica de Fotopletismografía (utilizar un haz de luz para determinar el volumen de un órgano) en este caso por medio de un sensor ubicado en la parte inferior de la muñeca, el cual produce un haz de luz infrarroja y debido a su cercano contacto con la piel, el haz alcanza a llegar a las venas y reflejarse devuelta al sensor, cambiando su medición acorde a los cambios de volumen de sangre causados por las pulsaciones. En este proyecto se utilizaran los dedos como zonas objetivos para realizar las mediciones por medio de un sensor IR, estas señales se trataran en una FPGA para monitorear el ritmo cardíaco del usuario y de acuerdo a datos ingresados como: edad, altura y peso, informarle de posibles anomalías en el sistema cardiovascular. En la Fig.1 se muestra el esquema de bloques de la propuesta.

VI. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar un sistema digital con el que se pueda interpretar mediciones de datos cardiacos para obtener diagnósticos tentativos a problemas cardiovasculares.

Objetivos específicos:

1. Implementar un sistema de sensores basado en diodos para medir las fluctuaciones del flujo sanguíneo de una persona.
2. Crear una interfaz gráfica amigable con el usuario que permita ver las mediciones e información del usuario.
3. Emplear un sistema de entrada de información para llevar registro del paciente/usuario como: nombre, edad, peso y altura.
4. Guardar un registro de las últimas 3 mediciones del usuario.
5. Permitir al usuario escuchar sus pulsaciones mientras se realiza la medición.
6. Construir y presentar una herramienta mucho más accesible económicamente con la que se pueden realizar estudios cardiovasculares.

VII. DIAGRAMA DE BLOQUES

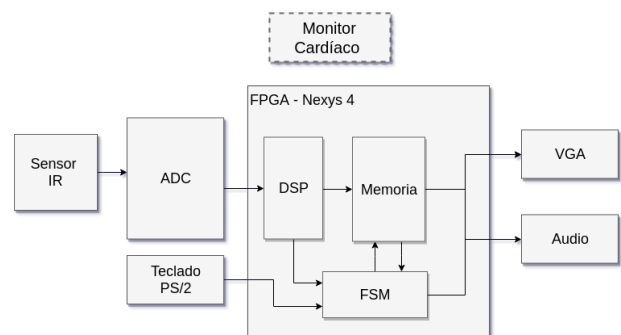


Figura 1. Diagrama de bloques Monitor Cardíaco

VIII. DESARROLLO

VIII-A. VGA

Para la implementación del proyecto uno de los factores importantes que consideramos es la interfaz con el usuario, ya que estamos implementando un dispositivo con una gran componente gráfica, para lograr está conexión con el usuario vamos a usar una pantalla VGA, cuya función es mostrar los pulsos del corazón en tiempo real, así como los valores importantes con los que se hace el tratamiento de la señal; Así, la pantalla VGA se encargará de comunicar al usuario los datos pertinentes, de manera gráfica y fácil de entender

VIII-B. ADC

Para poder realizar diagnósticos tentativos de acuerdo al pulso cardíaco de una persona es completamente necesario poder hacerle un tratamiento a la señal, es decir, necesitamos la señal en un formato digital; Aquí es donde entra la necesidad

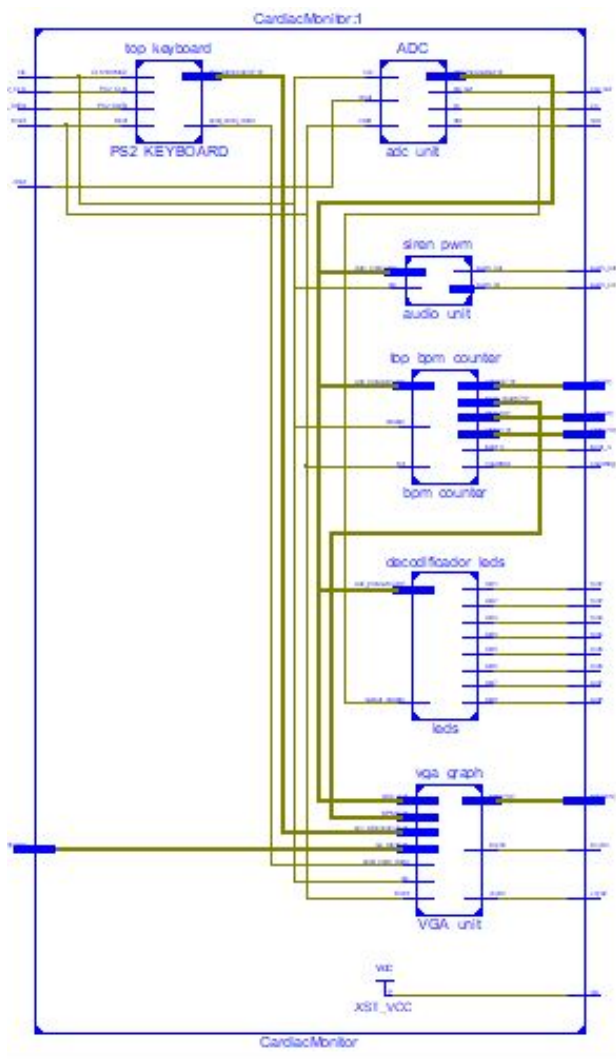


Figura 2. Diagrama del Monitor Cardiaco.

y la función del ADC, el pulso está siendo obtenido por medio de un sensor infrarrojo el cual dependiendo de la refracción en las venas marca una tensión, esta tensión es la que necesitamos convertir a valores binarios, siendo esta la tarea del ADC.

VIII-C. Teclado PS2

VIII-D. Audio

IX. METODOLOGÍA

- **Objetivo 1:** Implementar un sistema de sensores basado en diodos para medir las fluctuaciones del flujo sanguíneo de una persona.
 - **Tarea 1:** Investigar los sensores y el circuito necesario para medir las pulsaciones cardíacas.
 - Fecha: 15/09/2018
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: Propuesta de circuito de medición.
 - **Tarea 2:** Comprar los elementos necesarios para la elaboración del circuito, construir y probar el circuito de medición.

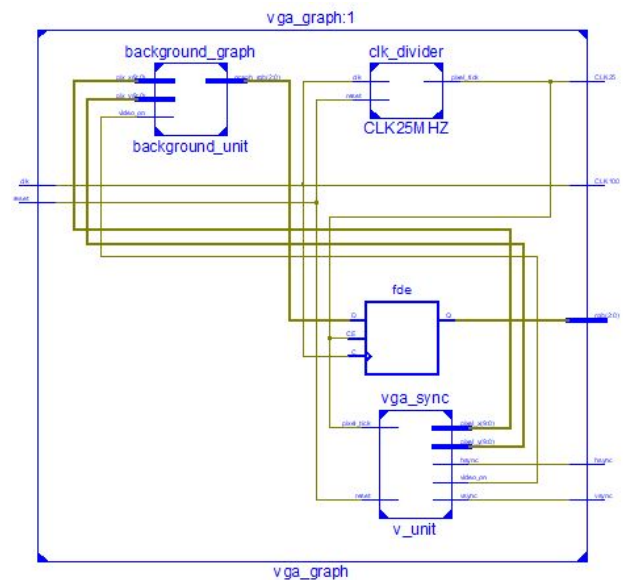


Figura 3. Diagrama de Circuito RTL del módulo VGA.



Figura 4. Simulación del módulo VGA.

- Fecha: 21/09/2018
- Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
- Entregable / Verificación: Imagen del pulso cardíaco observada en el osciloscopio, tomada del circuito de medición.
- Objetivo 2: Crear una interfaz gráfica amigable con el usuario que permita ver las mediciones e información del usuario.
 - Tarea 1: Implementar el protocolo de sincronización para una pantalla VGA.
 - Fecha: 06/02/2019
 - Responsables: Juan David Ramirez Salazar, Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: La pantalla VGA reconoce la sincronización que proviene de la FPGA y muestra los colores correctamente.
 - Tarea 2: Dibujar en la pantalla las letras y los números enviados por el teclado PS/2.
 - Fecha: 12/02/2019
 - Responsable: Juan David Ramirez Salazar.
 - Entregable / Verificación: La pantalla VGA muestra las letras y los números correctamente.
 - Tarea 3: Mostrar un gráfico que representa los pulsos cardíacos que se registran en la medición.
 - Fecha: 16/02/2019
 - Responsable: Juan David Ramirez Salazar.
 - Entregable / Verificación: El gráfico de la pantalla VGA se actualiza con las mediciones del sensor.

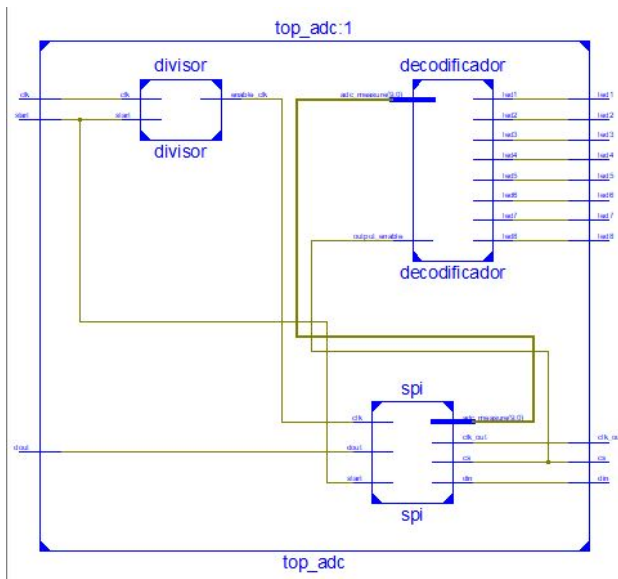


Figura 5. Diagrama de Circuito RTL del módulo ADC.

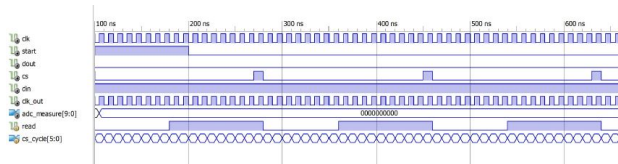


Figura 6. Simulación del módulo ADC.

- Tarea 4: Mostrar los bloques de información del usuario: nombre, edad, altura y peso.
 - Fecha: 17/02/2019
 - Responsable: Juan David Ramirez Salazar.
 - Entregable / Verificación: La pantalla VGA muestra correctamente la información.
- Tarea 5: Mostrar el diagnostico preventivo obtenido de las pulsaciones.
 - Fecha: 18/02/2019
 - Responsable: Juan David Ramirez Salazar.
 - Entregable / Verificación: La pantalla VGA muestra correctamente el diagnostico preventivo obtenido.
- Objetivo 3: Emplear un sistema de entrada de información para llevar registro del paciente/usuario como: nombre, edad, peso y altura.
 - Tarea 1: Comprar los elementos necesarios, construir y probar el pmod PS/2.
 - Fecha: 11/02/2019
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: Imagen del reloj y datos PS/2 observada en el osciloscopio.
 - Tarea 2: Enviar los códigos traducidos del teclado PS/2 en su correspondiente código ASCII al módulo VGA.
 - Fecha: 13/02/2019
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.

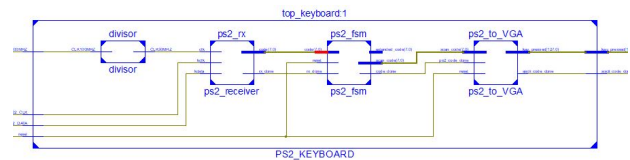


Figura 7. Diagrama de Circuito RTL del módulo PS2.

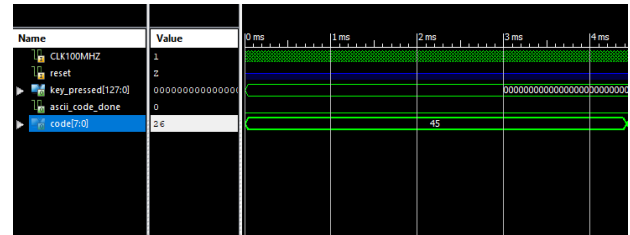


Figura 8. Simulación del módulo PS2.

- Entregable / Verificación: El módulo VGA reconoce correctamente los códigos ASCII.
- Objetivo 4: Guardar un registro de los mapas de bits de letras, números y graficos.
 - Tarea 1: Guardar un registro de los mapas de bits de letras, números y graficos.
 - Fecha: 19/02/2019
 - Responsable: Juan David Ramirez.
 - Entregable / Verificación: Vga muestra los mapas de bits.
- Objetivo 5: Permitir al usuario escuchar sus pulsaciones mientras se realiza la medición.
 - Tarea 1: Codificar los valores obtenidos del ADC en ciclos de vida útil PWM, para poder escuchar un sonido con cada pulso cardiaco.
 - Fecha: 14/02/2019
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: El sonido obtenido concuerda con las pulsaciones medidas.
- Objetivo 6: Construir y presentar una herramienta mucho más accesible económicamente con la que se pueden realizar estudios cardiovasculares.
 - Tarea 1: Diseñar un pmod para comunicar el módulo ADC a la FPGA.
 - Fecha: 8/10/2018
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: Esquemático del circuito y diseño de la pcb.
 - Tarea 2: Comprar los elementos necesarios para la elaboración del pmod ADC.
 - Fecha: 21/10/2018
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: Elementos del pmod ADC.
 - Tarea 3: Construir y probar el pmod ADC.
 - Fecha: 24/10/2018
 - Responsables: Juan David Ramirez Salazar, Ana María Rodríguez Reyes.

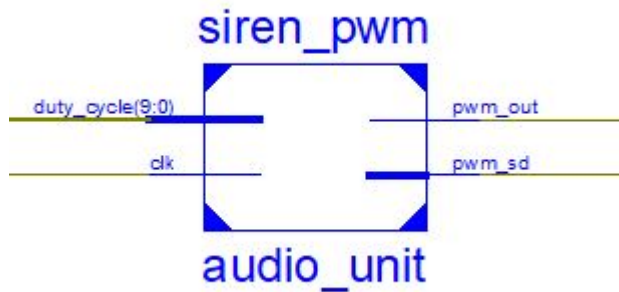


Figura 9. Diagrama de Circuito RTL del módulo Audio PWM.

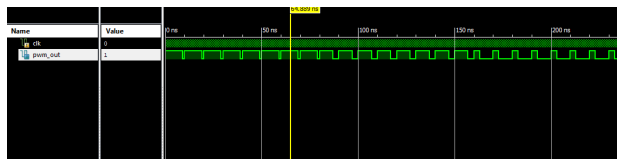


Figura 10. Simulación del módulo PWM.

- Entregable / Verificación: El ADC opera correctamente conectado a la FPGA.
- Tarea 4: Implementar el módulo ADC para obtener las mediciones en forma digital.
 - Fecha: 15/11/2018
 - Responsables: Juan David Ramirez Salazar, Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: Leds de la FPGA prenden de acuerdo al código que retorna el ADC.
- Tarea 5: Extraer de la señal digital del ADC el número de pulsaciones cardiacas por minuto.
 - Fecha: 25/01/2019
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: El número obtenido coincide con las pulsaciones por minuto.
- Tarea 6: Con el número de pulsaciones por minuto determinar un diagnostico preventivo: normal, bradicardia o taquicardia.
 - Fecha: 16/02/2019
 - Responsable: Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: El diagnostico resultante es un medida de prevención aproximada.
- Tarea 7: Unir todos los módulos del sistema.
 - Fecha: 19/02/2019
 - Responsable: Juan David Ramirez Salazar, Ana María Rodríguez Reyes.
 - Entregable / Verificación: El prototipo debe quedar funcional.

X. CRONOGRAMA

XI. DISCUSIÓN

En la practica, la realización de proyectos resulta ser una metodología extremadamente útil para el aprendizaje de algún

área, en este caso lo vemos aplicado a la electrónica digital, en dónde la realización de este proyecto nos llevo a los limites dónde tuvimos que investigar y aplicar conocimientos con fin de lograr este proyecto, tuvimos que darle un especial cuidado a la verificación de cada uno de los protocolos, ya que por el cómo está organizada la clase, en más de una ocasión tuvimos que avanzar en temas que no habíamos visto, sin embargo esto nos llevo a entender mucho mejor el funcionamiento de dispositivos aplicados en la electrónica digital.

XII. CONCLUSIONES

- La implementación de un monitor cardiaco digital, muestra gráficas cercanas a las que se podrían ver en un electrocardiograma, verificando el funcionamiento correcto de nuestro proyecto.
- En el proceso de realización del proyecto, antes de la implementación, las simulaciones juegan un papel sumamente importante, que puede simplificar enormemente la implementación.
- La correcta sincronización de los relojes a través de dispositivos (ADC y VGA) tiene un gran efecto en la precisión y en la resolución de las mediciones hechas.

REFERENCIAS

- [1] El Androide Libre S.L., "Cómo funciona el sensor de ritmo cardíaco de una pulsera o reloj." [Online]. Available: <https://elandroidelibre.espanol.com/2016/06/como-miden-pulseras-deportivas-ritmo-cardiaco.html>
- [2] L. J. Mena, V. G. Félix, A. Ochoa, R. Ostos, E. González, J. Aspuru, P. Velarde, and G. E. Maestre, "Mobile Personal Health Monitoring for Automated Classification of Electrocardiogram Signals in Elderly," *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2018, pp. 1–9, may 2018. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/cmmm/2018/9128054/>
- [3] D. d. S. Costa, S. H. N. Turco, R. P. Ramos, F. M. F. M. Silva, M. S. Freire, D. d. S. Costa, S. H. N. Turco, R. P. Ramos, F. M. F. M. Silva, and M. S. Freire, "ELECTRONIC MONITORING SYSTEM FOR MEASURING HEART RATE AND SKIN TEMPERATURE IN SMALL RUMINANTS," *Engenharia Agrícola*, vol. 38, no. 2, pp. 166–172, apr 2018. [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162018000200166&lng=en&tlng=en
- [4] World Health Organization, "WHO — Cardiovascular diseases (CVDs)," 2018. [Online]. Available: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/en/
- [5] A. Hernandez-Madrid, T. Lewalter, A. Proclemer, L. Pison, G. Y. H. Lip, and C. Blomstrom-Lundqvist, "Remote monitoring of cardiac implantable electronic devices in Europe: results of the European Heart Rhythm Association survey," *Europace*, vol. 16, no. 1, pp. 129–132, jan 2014. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/europace/article-lookup/doi/10.1093/europace/eut414>
- [6] Innovar Tecnología Biomédica S.A.S., "Electrocardiografo 3 Canales Edan SE-3." [Online]. Available: <https://www.biomedicos.co/electrocardiografo/913-electrocardiografo-3-canales-edan-se-3.html>
- [7] S. P. Bhavnani, J. Narula, and P. P. Sengupta, "Mobile technology and the digitization of healthcare," *European Heart Journal*, vol. 37, no. 18, pp. 1428–1438, may 2016. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/eurheartj/article-lookup/doi/10.1093/eurheartj/ehv770>

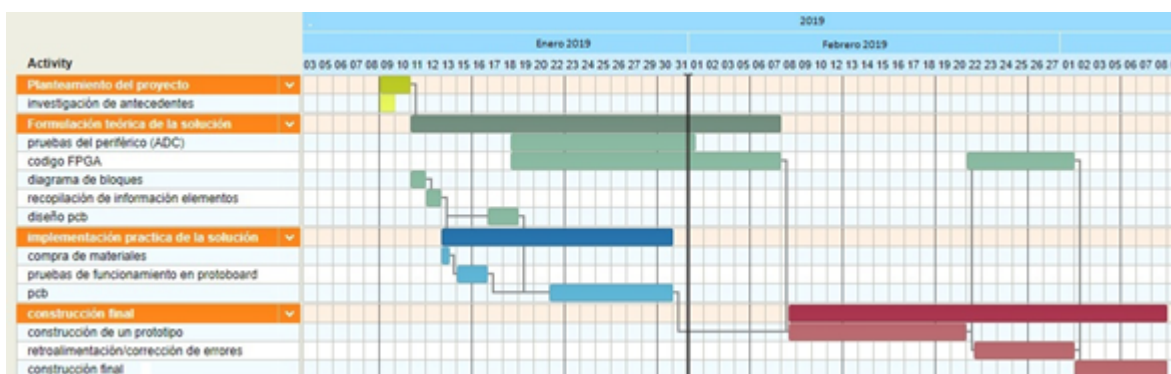


Figura 11. Cronograma