

Informe final Proyecto: Monitoreo Inteligente de Signos Vitales

Universidad Nacional de Colombia

Curso: Electrónica Digital II

Docente: Diego Alexander Tibaduiza Burgos

Integrantes: Julián Camilo Casallas, Kevin Adrián Guerra, Juan Pablo Ruiz

1. Detalle de lo expuesto en la primera entrega

1.1 Problema identificado

Las enfermedades cardiovasculares y respiratorias representan una de las principales causas de muerte en el mundo y en Colombia. Muchos casos no son diagnosticados a tiempo debido a la falta de monitoreo continuo, especialmente en personas mayores o en zonas rurales con poco acceso a servicios médicos.

Solución propuesta: desarrollar un sistema embebido basado en FPGA que permita el monitoreo en tiempo real de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y medir la temperatura, emitiendo alertas visuales o sonoras cuando los valores estén fuera del rango normal.

1.2 Datos que soportan el problema

- La OMS reporta **17.9 millones de muertes al año** por enfermedades cardiovasculares.
- En Colombia, el INS indica que las enfermedades del sistema circulatorio son la **principal causa de muerte en mayores de 60 años**.

1.3 Objetivo general

Desarrollar un sistema basado en FPGA que permita el monitoreo en tiempo real de la frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y la temperatura corporal, generando alertas automáticas ante valores anormales.

1.4 Objetivos específicos

1. Implementar la lectura y procesamiento de señales del sensor óptico MAX 30102 y el sensor infrarrojo MLX90614 .
2. Diseñar la lógica de alertas en hardware para activar señales visuales o sonoras.
3. Establecer una interfaz de comunicación inalámbrica (Bluetooth HC-05) para transmitir datos a una aplicación o plataforma.

1.5 Análisis PESTAL

Político	Económico	Social	Tecnológico	Ambiental	Legal
Apoyo estatal a proyectos de salud preventiva y tecnologías biomédicas.	Reduce costos en atención al permitir detección temprana.	Mayor interés de la población en el monitoreo de salud.	Sensores modernos permiten mediciones rápidas y precisas.	Bajo consumo y materiales de bajo impacto ambiental.	Requiere cumplir normas de protección de datos y lineamientos biomédicos.

Tabla 1. Resumen análisis PESTAL

2. Estructura de desglose del trabajo



Fig. 1. EDT proyecto Monitoreo Inteligente

3. Resumen de los avances desarrollados en la segunda etapa

Hasta ese momento se había desarrollado:

- **Formulación del proyecto:** Definición del problema, análisis PESTAL, antecedentes y objetivos.
- **Selección y adquisición de componentes:** MAX30102, MLX90614, pantalla TFT ILI9225, HC-05 y una pantalla OLED adicional.
- **Pruebas preliminares con Arduino:**
 - MAX30102 entregó señal pulsátil estable.
 - MLX90614 midió correctamente temperatura ambiente.
- **Pruebas de comunicación Bluetooth:** Probar la conexión del HC-05 y recepción de datos en Serial Bluetooth Terminal.
- **Visualización inicial:** Integración de la pantalla OLED para mostrar datos en tiempo real.

Resumen de la Arquitectura del Proyecto

El proyecto utiliza un SoC basado en Zynq-7000, que combina un procesador ARM Cortex-A9 y lógica FPGA para crear un sistema integrado capaz de monitorear señales biomédicas en tiempo real.

El procesador ARM ejecuta el software de control y manejo del usuario, mientras que la lógica FPGA realiza tareas específicas de procesamiento rápido y manejo de dispositivos externos. La comunicación entre los bloques se realiza mediante el bus AXI, que conecta procesador, memoria y periféricos como GPIOs, LEDs y sensores.

La configuración del hardware se desarrolla en Vivado, donde se arma el diseño mediante bloques predefinidos del Zynq y se genera el *bitstream* que se carga en la FPGA. Posteriormente, en Vitis se programa el software en C encargado de leer el sensor, procesar los datos y controlar las salidas del sistema.

Una vez integrado el sensor cardiaco, se realiza la validación del sistema comprobando que las mediciones, las alertas y las salidas visuales funcionan correctamente. El uso del SoC permite una solución compacta, de bajo consumo y altamente personalizable, combinando procesamiento flexible en software con aceleración en hardware mediante la FPGA.

4. Lo logrado de las etapas que faltaban

Etapas	Estado	Descripción del avance
Procesamiento digital de señales	Sí	Se avanzó en el procesamiento inicial de las señales de frecuencia cardíaca y temperatura, logrando obtener valores para sincronizar con las etapas de alerta.
Integración del sistema de alertas	Si	Se pudo implementar completamente la lógica que detecta rangos anormales en el buzzer como mecanismos de alerta.
Visualización local (Pantalla OLED)	Sí	Se implementó la visualización de datos en tiempo real (BPM, temperatura, SpO ₂ y temperatura ambiente) en la pantalla OLED.
Comunicación inalámbrica Bluetooth	No	No se estableció la conexión y transmisión inicial de datos; faltó estructurar el envío final e integrar completamente el módulo al flujo completo del sistema.
Integración completa del sistema	Parcialmente	Se unieron varios módulos principales (sensores, procesamiento, pantalla, alerta) y se obtuvo una buena sincronización de todos los periféricos; únicamente hizo falta la integración total con Bluetooth operando simultáneamente.
Pruebas con usuario y validación	Sí	Se realizaron mediciones reales, verificando comportamiento básico del sistema y ajustando parámetros de lectura según los datos obtenidos.

5. Explicación del funcionamiento del procesador

El funcionamiento general del sistema se organiza mediante la interacción de varios bloques fundamentales del SoC. El bloque principal es el *Processing System* (PS), que contiene el procesador ARM. En este módulo se ejecuta el software encargado de adquirir los datos provenientes de los sensores biomédicos. Para ello, el procesador utiliza el protocolo de IIC_0, lo que permite gestionar directamente la comunicación con sensores como el MAX30102 y el MLX90614, así como con la pantalla OLED utilizada para la visualización local de las mediciones. A través de este puerto, el procesador recibe en tiempo real los valores de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura, permitiendo su procesamiento inicial mediante software.

El bloque `proc_sys_reset_0` tiene de función generar y sincronizar los resets para el procesador, el AXI Interconnect y los periféricos de la FPGA, asegurando que todos los módulos arranquen de manera coordinada y estable. Este bloque evita condiciones indeterminadas al iniciar el sistema y garantiza que las comunicaciones AXI funcionen correctamente desde el inicio.

La comunicación entre el procesador y el resto de los módulos del sistema se realiza mediante el AXI Interconnect, el cual actúa como un bus de datos que conecta el PS con los periféricos implementados en la lógica programable (PL). Este bloque no procesa datos directamente, sino que habilita el intercambio eficiente de información entre el software y la FPGA.

Para el almacenamiento temporal de información, el sistema utiliza el bloque AXI BRAM Controller, que funciona como el interpretador entre el procesador ARM (que usa AXI) y la memoria BRAM junto con un bloque de memoria interna generado mediante el Block Memory Generator. Esta última es la memoria RAM del sistema. Estos bloques permiten que tanto el procesador como la FPGA compartan datos de manera segura y organizada, facilitando el paso de parámetros, estados y resultados parciales.

En la sección programable del dispositivo (PL), se implementa la lógica específica del proyecto, incluyendo los módulos encargados de analizar los valores biomédicos y determinar si se encuentran dentro de los rangos fisiológicos normales. Cuando se detectan valores críticos, la lógica alojada en la FPGA activa las señales correspondientes para encender el LED de alerta o el buzzer, garantizando una respuesta rápida e independiente del software.

Finalmente, la combinación entre el procesador ARM, la memoria BRAM, el bus AXI y la lógica programable permite que el sistema complete el ciclo de adquisición, procesamiento, visualización y alerta de manera integrada y eficiente. Esta arquitectura híbrida facilita un monitoreo confiable en tiempo real, optimizando tanto la flexibilidad del software como el desempeño del hardware.

En la fase final de los bloques se añadió un buzzer como mecanismo de alerta sonora, conectado a la FPGA mediante un módulo AXI GPIO. Este bloque permite que el procesador controle directamente un pin digital: cuando el software detecta que el valor de frecuencia cardíaca supera el umbral establecido (105 BPM), se escribe sobre el registro del AXI GPIO y el buzzer se activa como alarma inmediata.

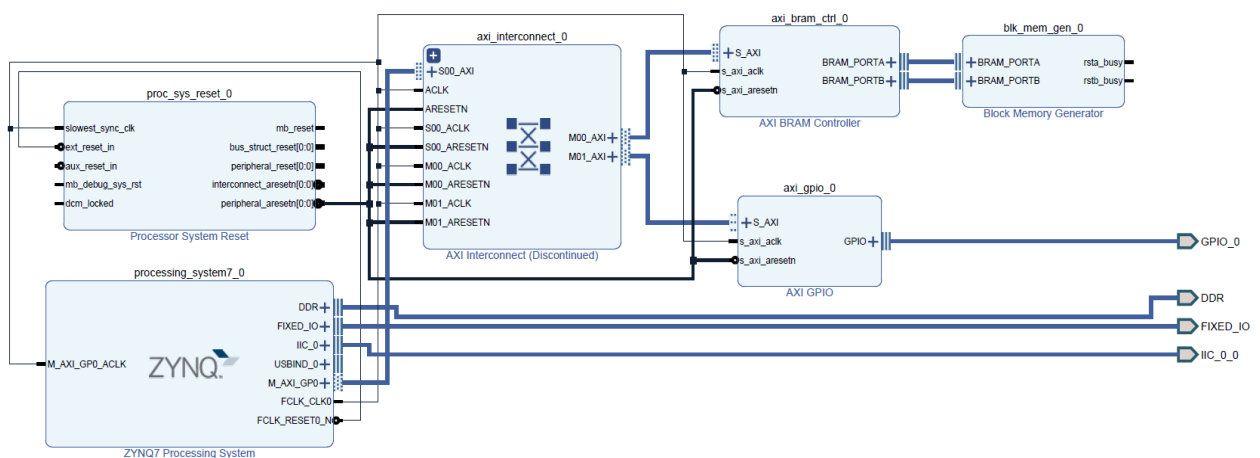


Fig. 2. Diagrama completo del sistema

6. Códigos fuente y conexión con el procesador

Todo el código basado en C se implementa en el archivo `main.c` dentro de Vitis, donde se realiza la inicialización y el control de los bloques de hardware previamente configurados en Vivado.

La comunicación con los sensores y la pantalla se realiza mediante I2C, utilizando un driver genérico que permite leer y escribir registros de distintos dispositivos. A partir de las señales adquiridas, el sistema calcula la frecuencia cardíaca (BPM) y la saturación de oxígeno (SpO_2), aplicando filtros y algoritmos sencillos para obtener valores estables. De forma complementaria, se leen valores de temperatura y se convierten a grados Celsius usando la ecuación proporcionada por el fabricante.

Los resultados procesados se muestran en tiempo real en una pantalla OLED, mediante un buffer gráfico que se actualiza periódicamente. Adicionalmente, el sistema implementa una alarma sonora: un buzzer conectado a través de AXI GPIO, que se activa cuando la frecuencia cardíaca supera un umbral definido de 105 BPM.

Finalmente, el sistema envía los valores medidos y el estado de las alertas a un PC por UART, lo que permite monitorear el funcionamiento y facilitar la depuración. Todo el proceso se ejecuta de manera cíclica dentro de un bucle principal, manteniendo una frecuencia de muestreo aproximada de 50 Hz

7. Resultados

Los resultados obtenidos durante las etapas de sincronización y pruebas físicas demuestran que el sistema desarrollado cumple con los objetivos funcionales planteados para el monitoreo de parámetros fisiológicos básicos. El sistema fue capaz de adquirir de manera correcta las señales biomédicas provenientes de los sensores utilizados, permitiendo obtener valores de frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura de forma consistente.

La visualización local de los datos se realizó en tiempo real mediante la pantalla OLED, mostrando los valores fisiológicos de manera clara y continua. Esta funcionalidad permitió verificar de forma inmediata el comportamiento del sistema y facilitó la validación del flujo de datos desde la adquisición hasta la presentación de la información al usuario.

El procesamiento digital de los valores adquiridos permitió aplicar criterios de decisión para la detección de condiciones fuera de los rangos establecidos. Como resultado, el sistema respondió adecuadamente ante situaciones de alerta, activando tanto la señal visual mediante la pantalla OLED como la alerta sonora a través del buzzer cuando los parámetros superaron los umbrales definidos. Este comportamiento confirma la correcta integración entre el procesamiento de datos y los mecanismos de salida.

Durante las pruebas físicas realizadas, y como se puede evidenciar en los videos de la implementación, el sistema presentó un funcionamiento estable y coherente con lo esperado. Las mediciones obtenidas se actualizaron correctamente en la pantalla, la transmisión de datos se realizó sin interrupciones y las alertas sonoras se activaron cuando los valores superaron los umbrales establecidos. Estos resultados confirman la correcta integración entre el hardware y el

software, así como la capacidad del sistema para realizar un monitoreo confiable de los parámetros fisiológicos evaluados.

8. Referencias

[1] LabVIEW Para Todos. *Sensor de Temperatura Infrarrojo MLX90614 // Medidor de temperatura sin contacto*. (28 de septiembre de 2020). Accedido el 15 de noviembre de 2025. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=Y-zzPDmpFXg>

[2] SurtrTech. *Measure Heart Rate/BPM and SpO2 With MAX30102 + Arduino*. (5 de febrero de 2019). Accedido el 15 de noviembre de 2025. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=cEtyMkubXj4>

[3] MCI Electronics. *Tutorial: Módulo bluetooth serial HC05 + arduino uno*. (5 de junio de 2023). Accedido el 15 de noviembre de 2025. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=Qe5aAx87mUY>