



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

# CARACTERIZACIÓN DE LAS SEÑALES ECG DE PACIENTES CON COVID-19 PARA EL ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ARRITMIAS CARDÍACAS

**AUTORES:** ESPÍN HERNÁNDEZ, VANESSA PATRICIA  
GARCÍA APOLO, FERNANDO ALFONSO

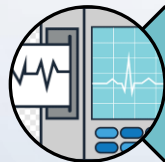
**TUTOR:** ING. ARCENTALES VITERI, ANDRÉS RICARDO PHD

SANGOLQUÍ 2022

# TEMARIO



Introducción



Hardware de adquisición y registro de señales ECG



Software de procesamiento digital de señales y visualización por ordenador



Conclusiones y recomendaciones

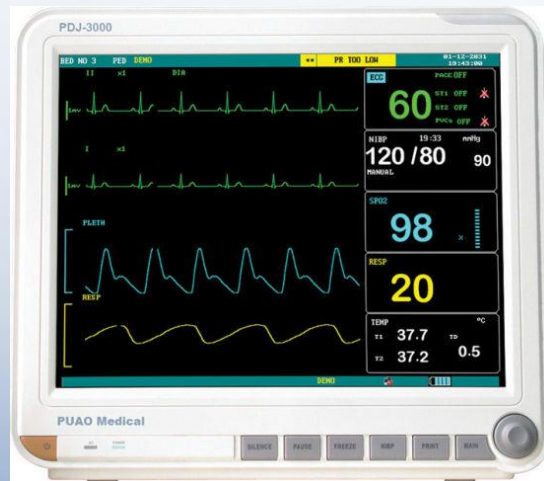


# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

Monitor de signos vitales



Electrocardiógrafo



COVID-19 y sistema cardiaco





# INTRODUCCIÓN

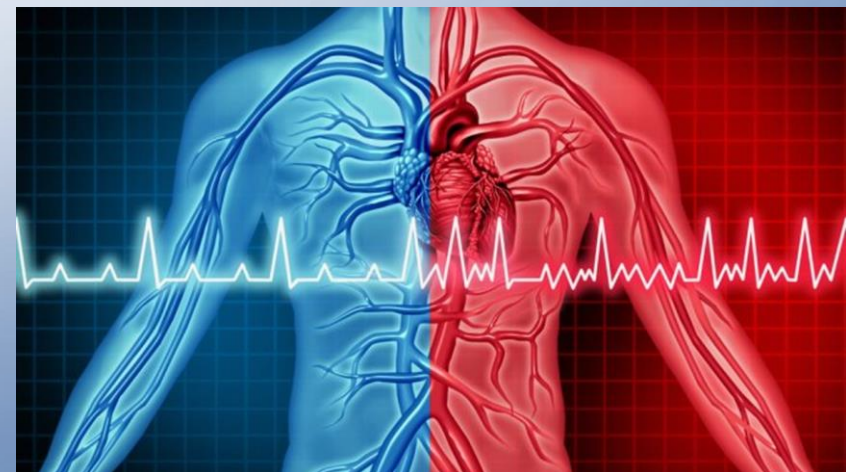
## Justificación



Alto riesgo de desarrollo de arritmias ventriculares por el uso de fármacos como la hidroxiclороquina y la azitromicina, que son de mayor beneficio en el tratamiento de pacientes con COVID-19.

Los electrocardiogramas no son los dispositivos más comúnmente usados dentro de las UCIs, lo son los monitores de parámetros fisiológicos.

Estos cuentan con un hardware cerrado el cual no puede ser manipulado y un software restringido, capaz de almacenar información sobre alarmas y eventos más no permite el acceso al registro continuo de las señales obtenidas.



# INTRODUCCIÓN

## Alcance del Proyecto



Implementación de un dispositivo que permita la adquisición y registro de señales ECG



Creación de una base de datos



Análisis e identificación de arritmias cardíacas



Software de visualización por ordenador de las señales ECG

# INTRODUCCIÓN

## Objetivo General

Caracterizar las señales ECG de pacientes con COVID-19 para el análisis e identificación de arritmias cardíacas.



# INTRODUCCIÓN

## Objetivos Específicos

Desarrollar el estado del arte sobre el equipo utilizado en la UCI para tratamiento de pacientes diagnosticados con COVID-19, las complicaciones cardiovasculares existentes y el registro de información electrocardiográfica.



Diseñar un software para la visualización, validación y marcado de las arritmias por parte de especialistas médicos.



Diseñar e implementar un dispositivo para la adquisición de señales ECG y de temperatura en pacientes con COVID-19.

Caracterizar la respuesta temporal y frecuencial de las señales ECG para el análisis e identificación de arritmias cardíacas en pacientes con COVID-19.



Implementar un algoritmo automático para el acondicionamiento y delineado de las señales ECG.



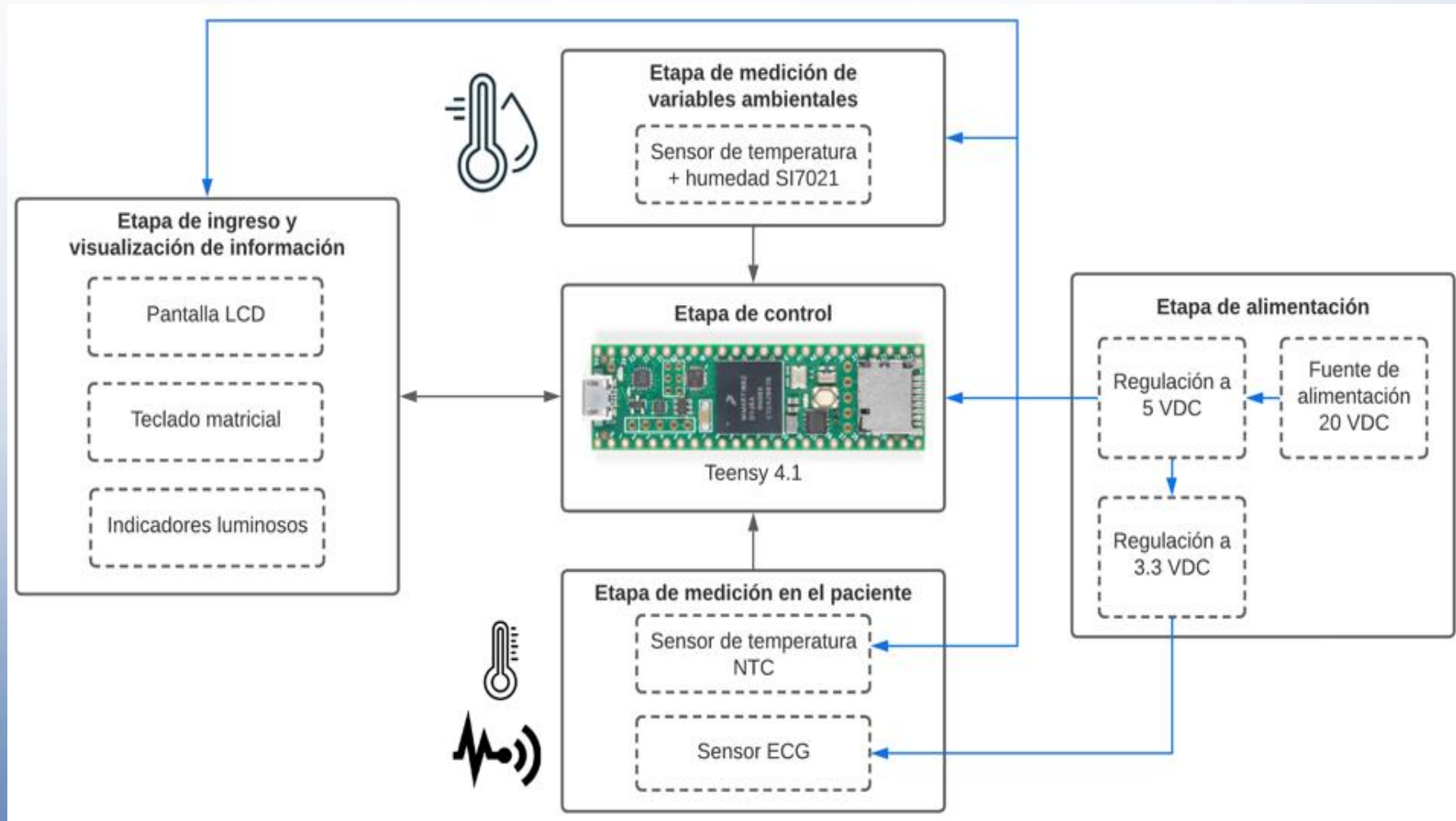




# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Conceptos de diseño



# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Etapa de control



### TEENSY 4.1

#### Descripción

- 55 pines digitales E/S, 18 entradas analógicas de 10 o 12 bits. Compatible con una gran gama de sensores.
- Programación en Arduino IDE mediante complemento Teensyduino.

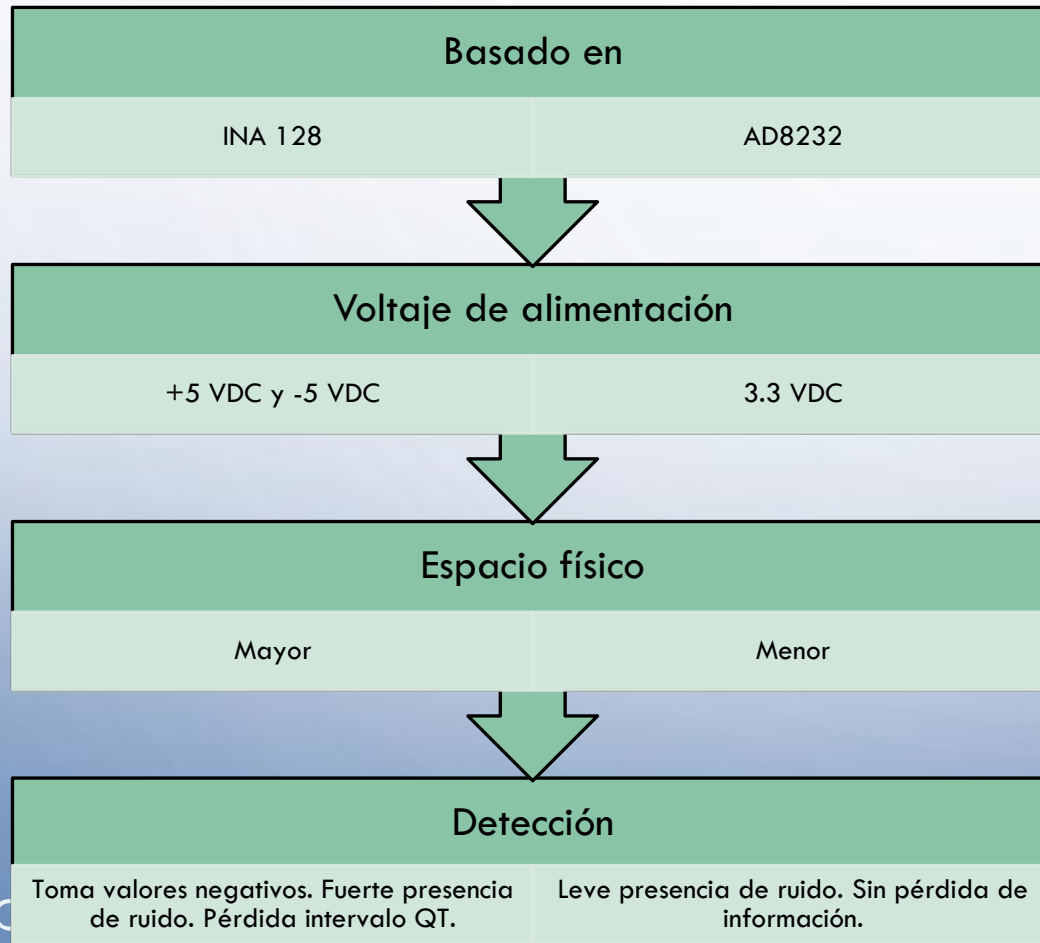
#### Características que aporta

- Velocidad de reloj 600 MHz.
- Mayor memoria de programa.
- Incorpora ranura para tarjeta microSD.
- Incluye reloj en tiempo real.

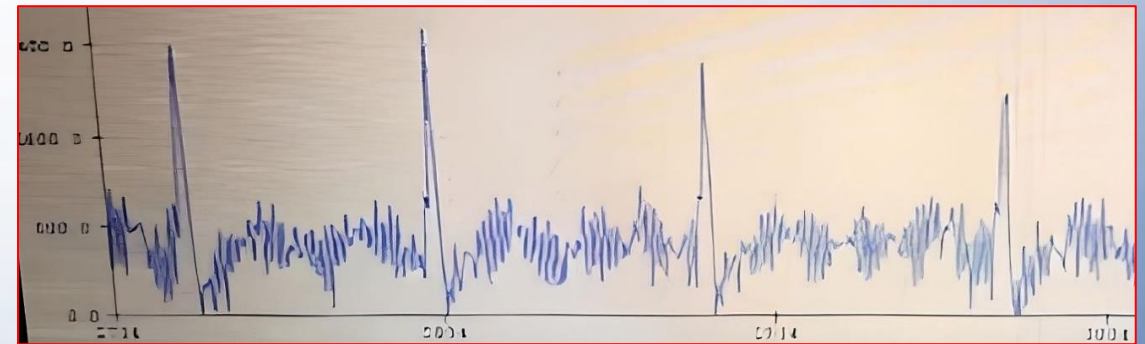


# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

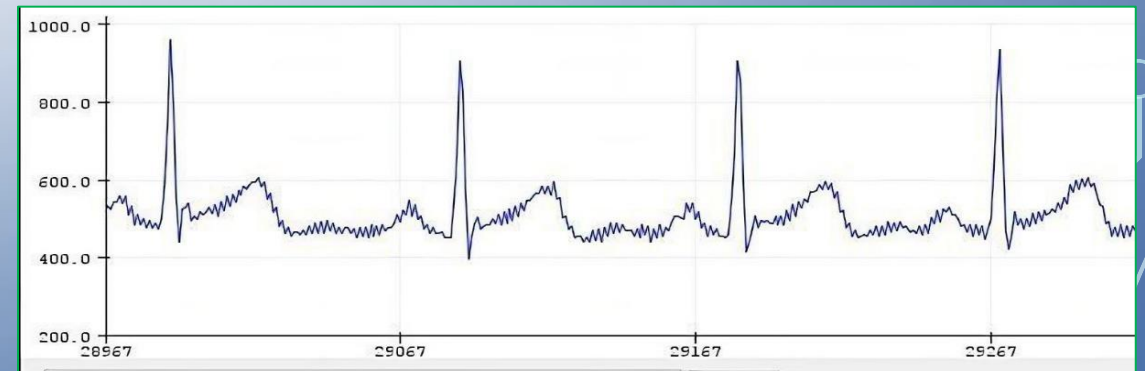
## Sistema de adquisición de señal ECG



**INA 128**



**AD8232**





# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

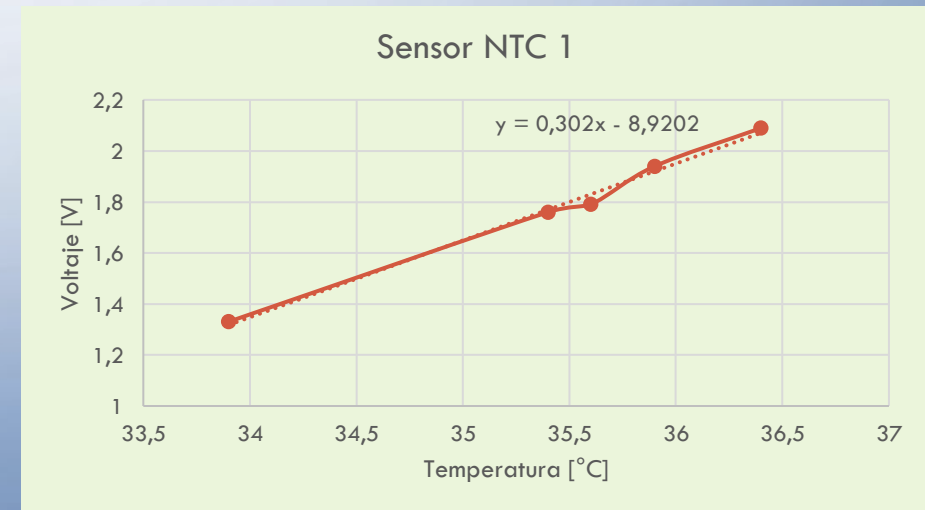
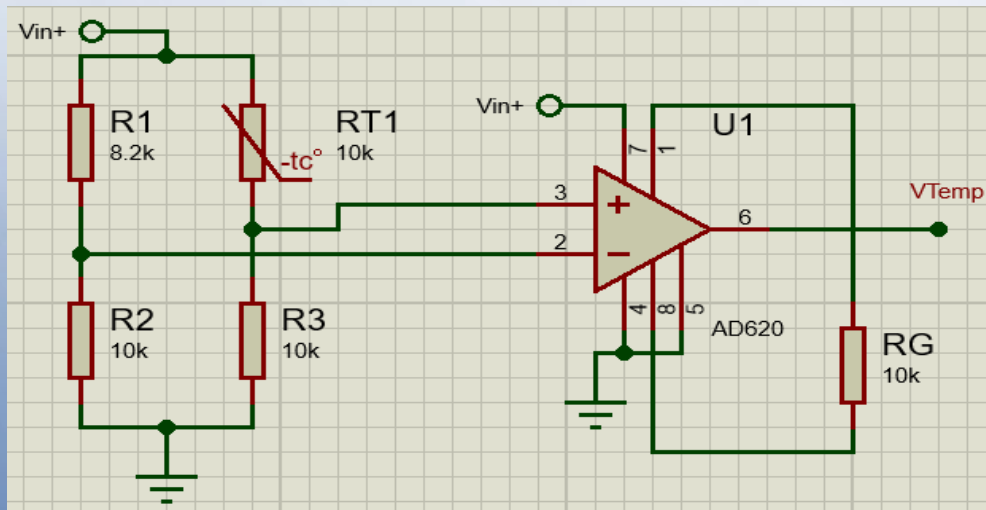
## Sistema de adquisición de temperatura corporal

### Descripción:

- Sensor NTC10K.
- Voltaje de alimentación 5 VDC.
- Rango de 30°C a 40°C.
- Ganancia lineal del sistema de 6.

### Calibración:

Temp (°C)	Voltaje (V)
33,9	1,33
35,4	1,76
35,6	1,79
35,9	1,94
36,4	2,09

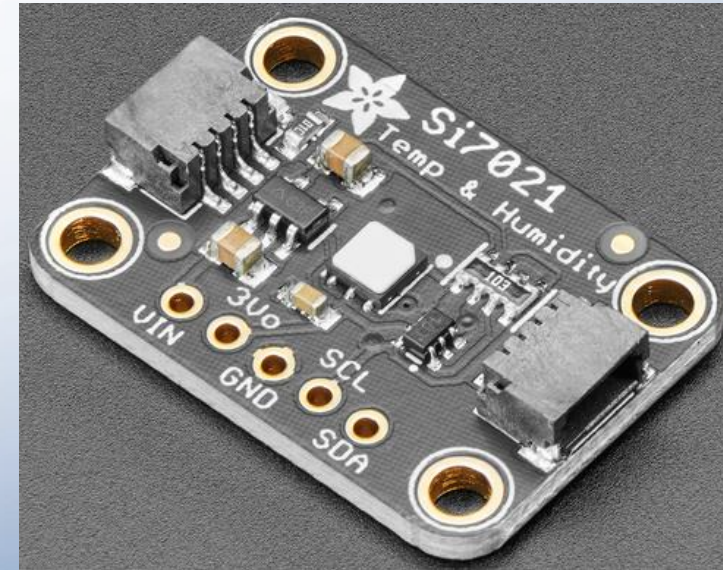


# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Etapa de adquisición de señales ambientales

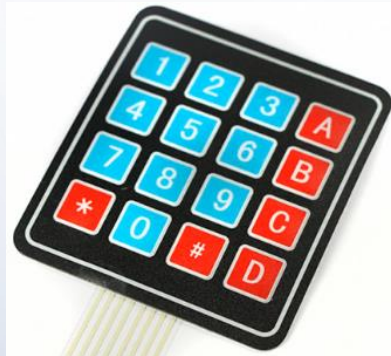
### Si7021

- Voltaje de alimentación: 5 VDC.
- Rango de temperatura:  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ .  
Error de  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ .
- Rango de humedad: 0% RH a 100% RH.  
Error de  $\pm 3\%$  RH.
- No requiere calibración.
- Transferencia de datos por I2C.
- Circuito complementario: BOB-12009.



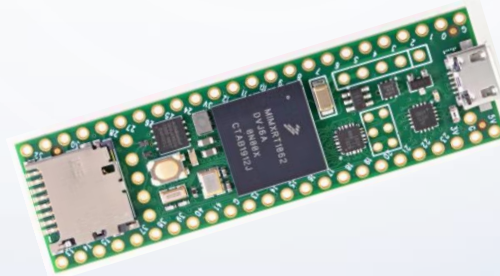
# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Etapa de visualización



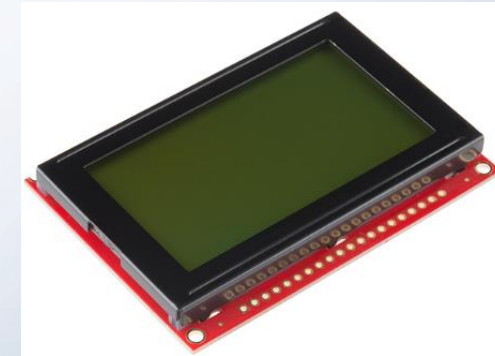
Teclado matricial

- Código de 6 dígitos.
- Confirmar código.
- Cancelar código.
- Borrar código.



Teensy 4.1

- Fecha y hora en tiempo real.
- Verificación de estado microSD.
- Creación de registro.
- Circuito complementario BOB-12009



LCD 128x64

- Fecha y hora.
- Código ingresado.
- Mensaje de confirmación.
- Estado y lectura de sensores.

# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Etapa de registro

- Tipo de archivo: CSV.
- ECG: Registro de señal ECG a 128 Hz.
- AMB: Registro de temperatura corporal y condiciones ambientales cada 3 segundos.

### ECG

- Código asignado
- Hora y fecha de creación
- Tiempo de muestra (ms)
- Amplitud de muestra (mV)

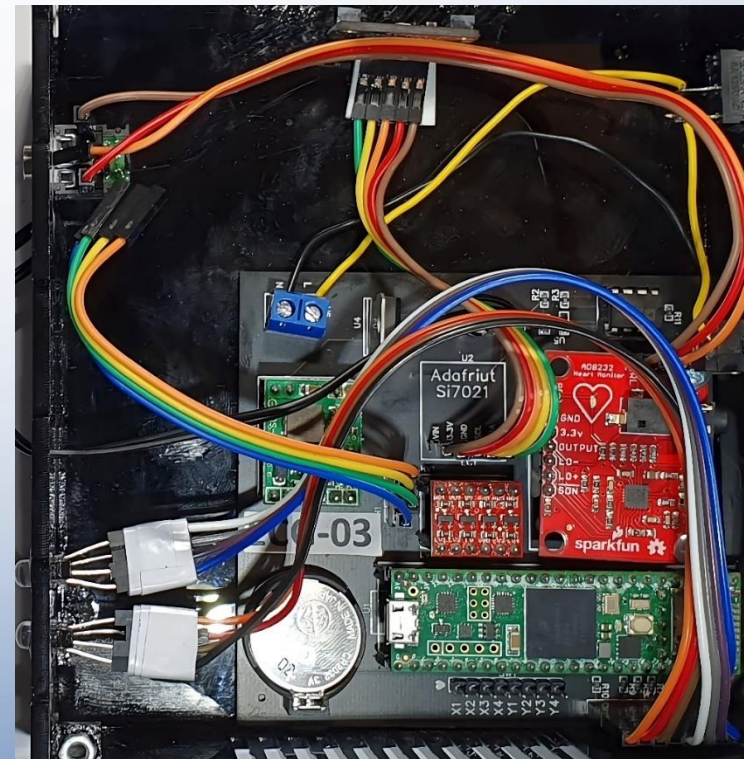
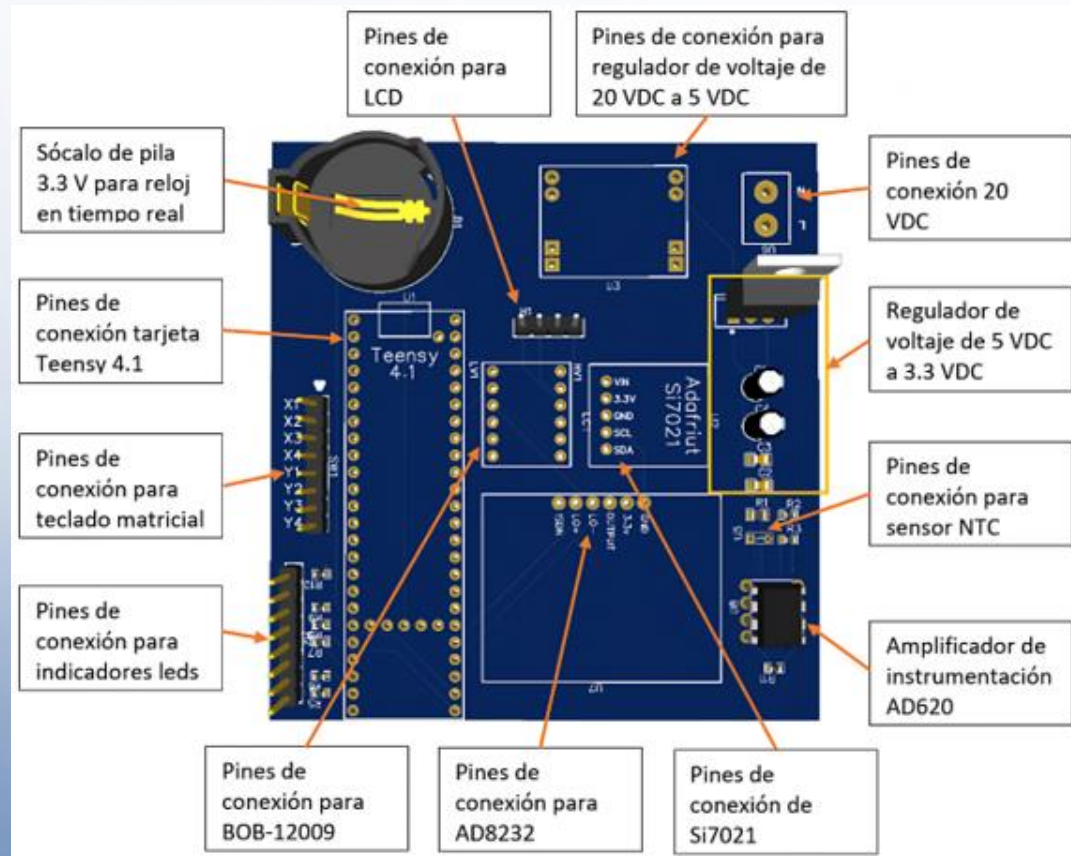
### AMB

- Hora y fecha de creación
- Tiempo de muestra (ms)
- Valor de temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Valor de humedad ambiental (%RH)
- Valor de temperatura corporal ( $^{\circ}\text{C}$ )



# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

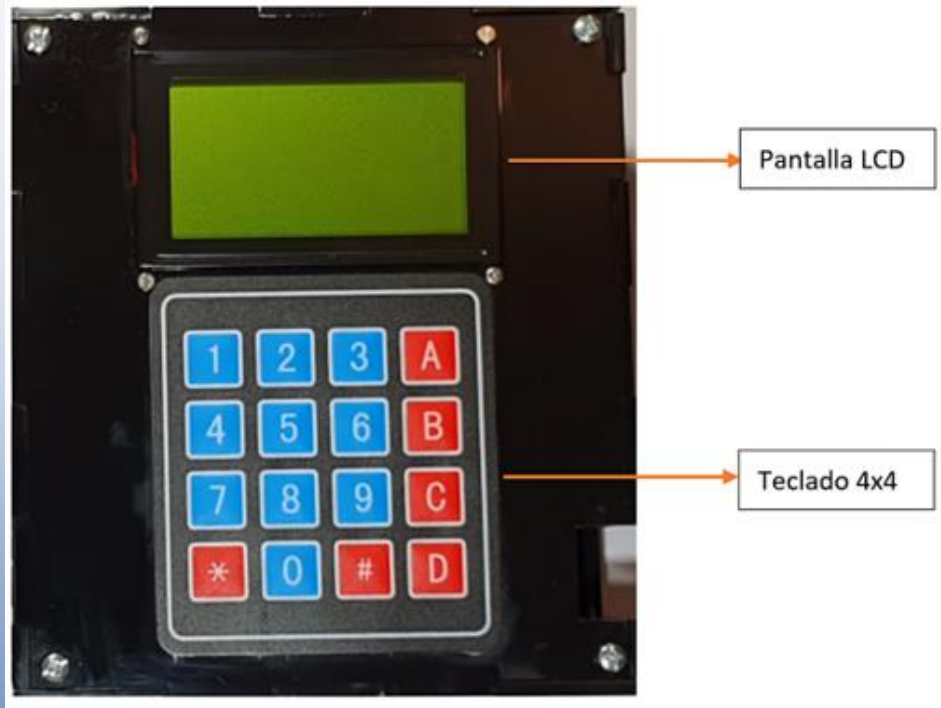
## Prototipo





# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Prototipo



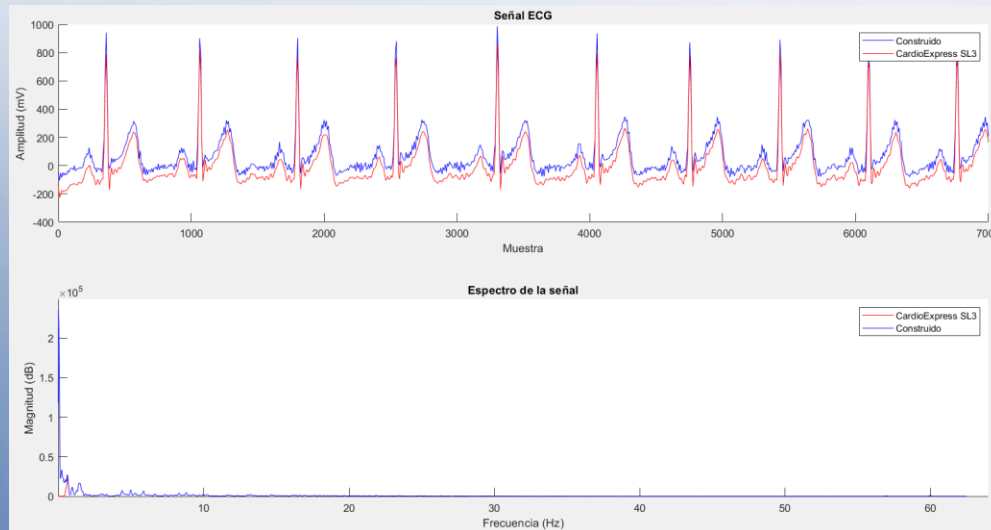
# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Validación

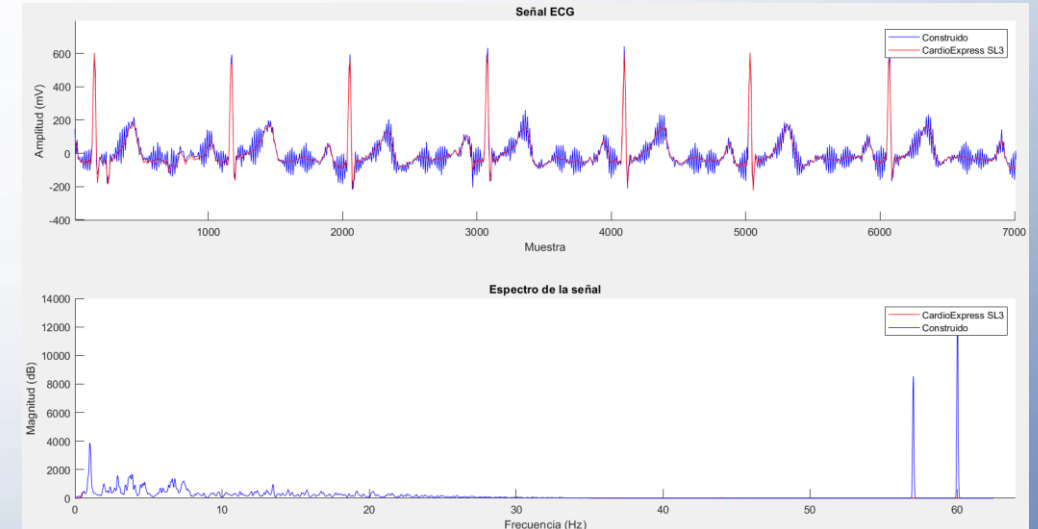
- Primera fase de diseño

Se obtiene la 2da derivada de la señal ECG de los sujetos de prueba que forman parte del equipo de investigación

### *Análisis cualitativo sujeto 2, dispositivo ECG-01 – torso supino*



### *Análisis cualitativo sujeto 1, dispositivo ECG-02 – torso supino*



“Sujeto de prueba 1” de sexo femenino de 26 años.  
“Sujeto de prueba 2” de sexo masculino de 25 años.

# HARDWARE DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO

## Validación

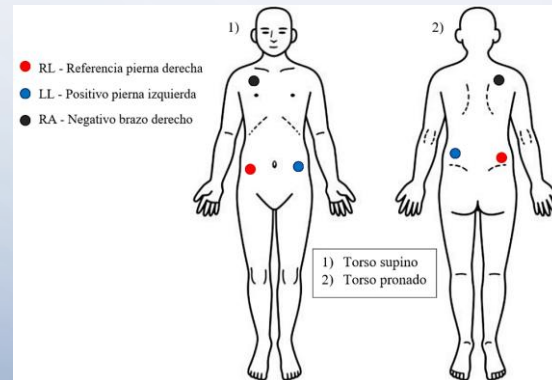
- Segunda fase de diseño

Indicadores visuales en el lateral izquierdo de la estructura:

Tarjeta microSD

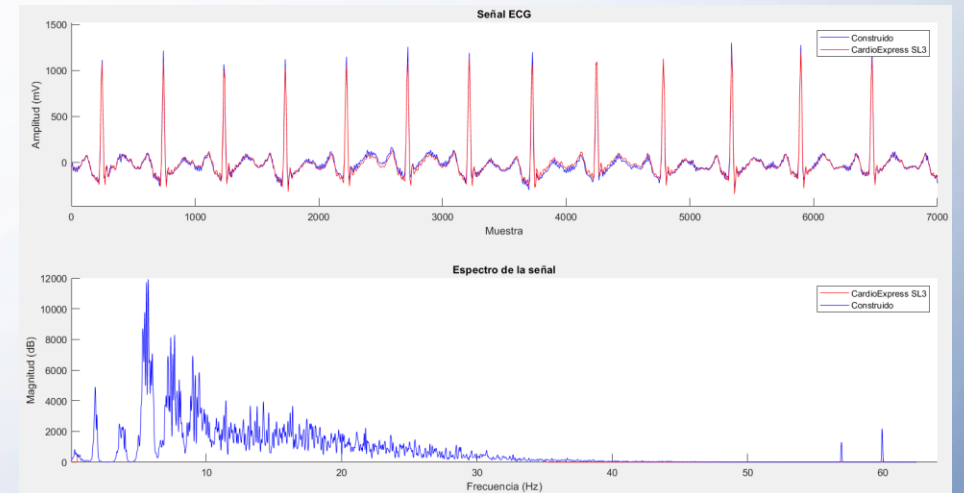
Conexión de los electrodos al paciente

- Correcto
- Incorrecto

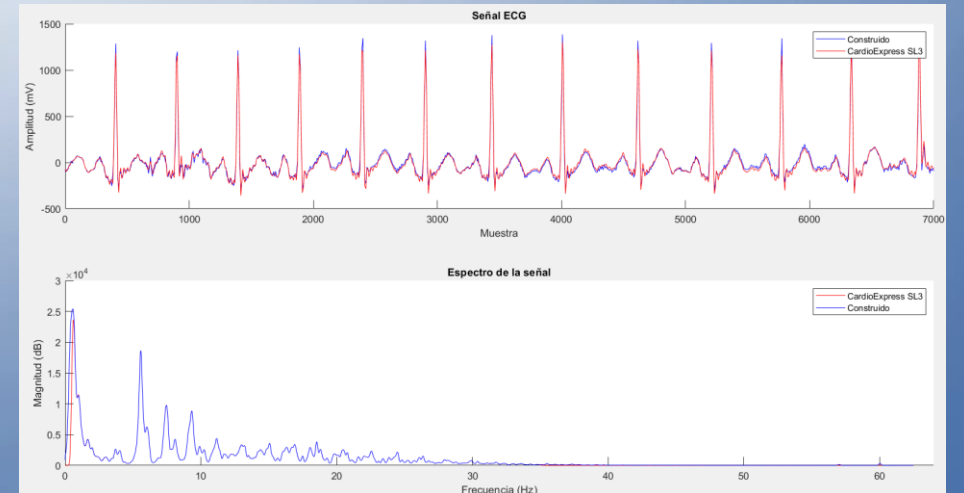



Surge la necesidad de mantener al paciente en decúbito prono o boca abajo durante el registro.

Análisis cualitativo sujeto 2, dispositivo ECG-05 – torso pronado



Análisis cualitativo sujeto 1, dispositivo ECG-03 – torso pronado





# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES Y VISUALIZACIÓN POR ORDENADOR

# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

## Base de datos

- “No médica”

Conformada por los “Sujetos de prueba 1 y 2”

- Primera etapa: 27 registros
- Segunda etapa: 27 registros

Total de registros en base de datos “No médica”: 54

- Tiempo promedio en señales cortas: 5 min
- Tiempo promedio en señales largas: 6 h y 30 min

Características de registro por etapas:

- Primera etapa

Torso supino

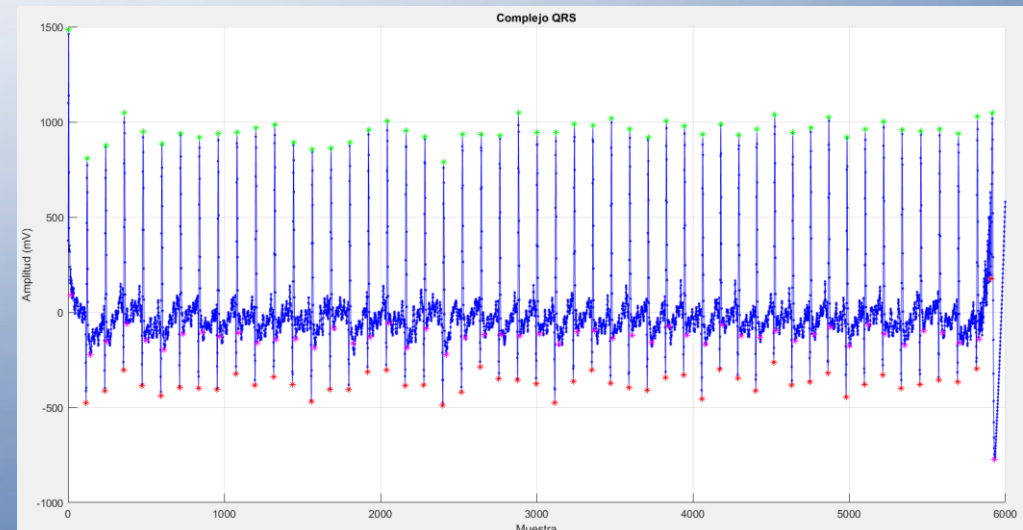
Comparativa con ECG CardioExpress SL3

- Segunda etapa:

Torso supino y pronado

Comparativa con ECG CardioExpress SL3

### Identificación de complejo QRS





# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

## Base de datos

- “Médica”

Conformada por un total de 19 “pacientes” identificados por un número de 5 cifras, ingresado de manera manual

- Total de registros obtenidos por el dispositivo: 74
- Total de registros en base de datos “Médica”: 5

Ejemplo de registros con problemas:

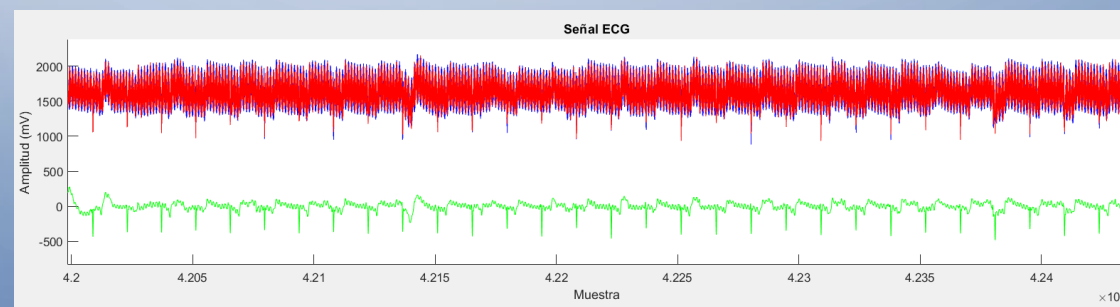
Registro 19 del paciente 00003 con aproximadamente 5 horas de información

- Solo la primera hora y 30 minutos cuentan con señal ECG útil – pérdida del 70% de señal registrada, debido a desconexión entre el paciente y el dispositivo ECG-04.

Registro 05 del paciente 00010 con aproximadamente 20 horas de información

- Mala conexión de los electrodos al paciente = señal invertida

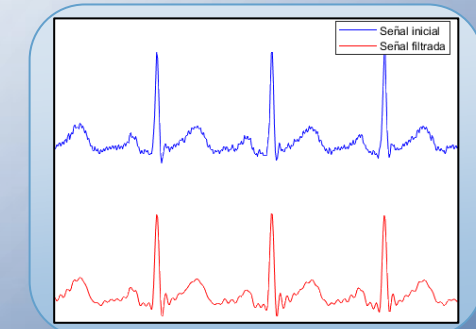
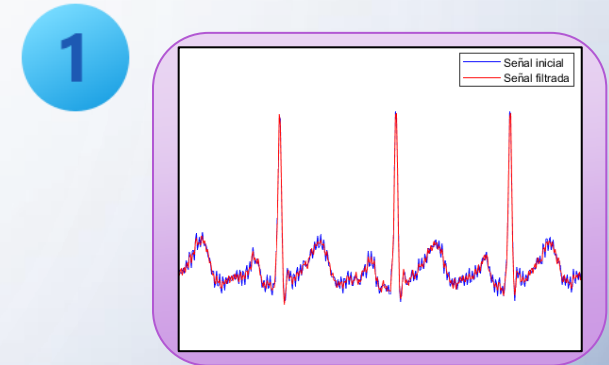
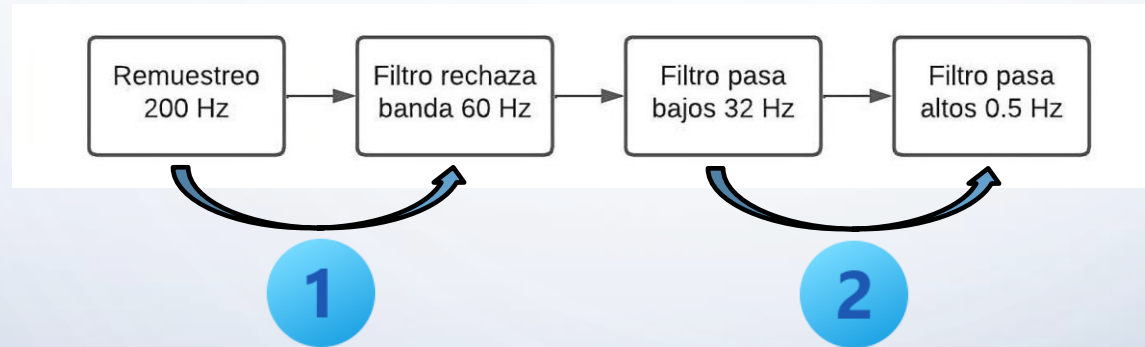
*Registro obtenido del paciente 00010, dispositivo ECG-02 – torso supino*



# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

## Preprocesamiento

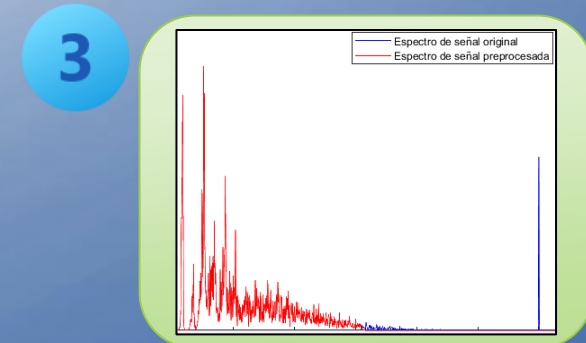
Filtros diseñados con ganancia unitaria.



- 3 Diagrama de la estimación de densidad espectral de potencia de una señal previo y posterior al ingreso de la etapa de preprocesamiento.

En color azul: Señal original con una fuerte presencia de 60 Hz, un rango de altas frecuencias que va desde los 32 Hz hasta aproximadamente 40 Hz y otra frecuencia cercana a 0.3 Hz

En rojo: Aplicación de filtros de la etapa de preprocesamiento.



# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

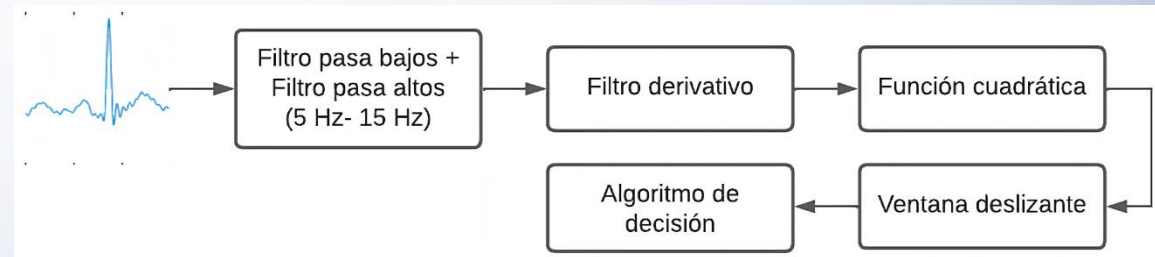
## Identificación de complejo QRS

Arritmia cardiaca:

- Ectópico: latidos irregulares.
- Bradicardia:  $\text{BPM} < 60$
- Taquicardia:  $\text{BPM} > 100$

Algoritmo de Pan & Tompkins para detección de onda QRS.

Algoritmo de Pan & Tompkins:



### Método 1

- Identificación pico R
- Bajo consumo computacional
- Filtros fieles al algoritmo original
- Umbrales usados: SPKI, NPKI, THRESHOLD I1.
- Error de detección 1,54%

### Método 2

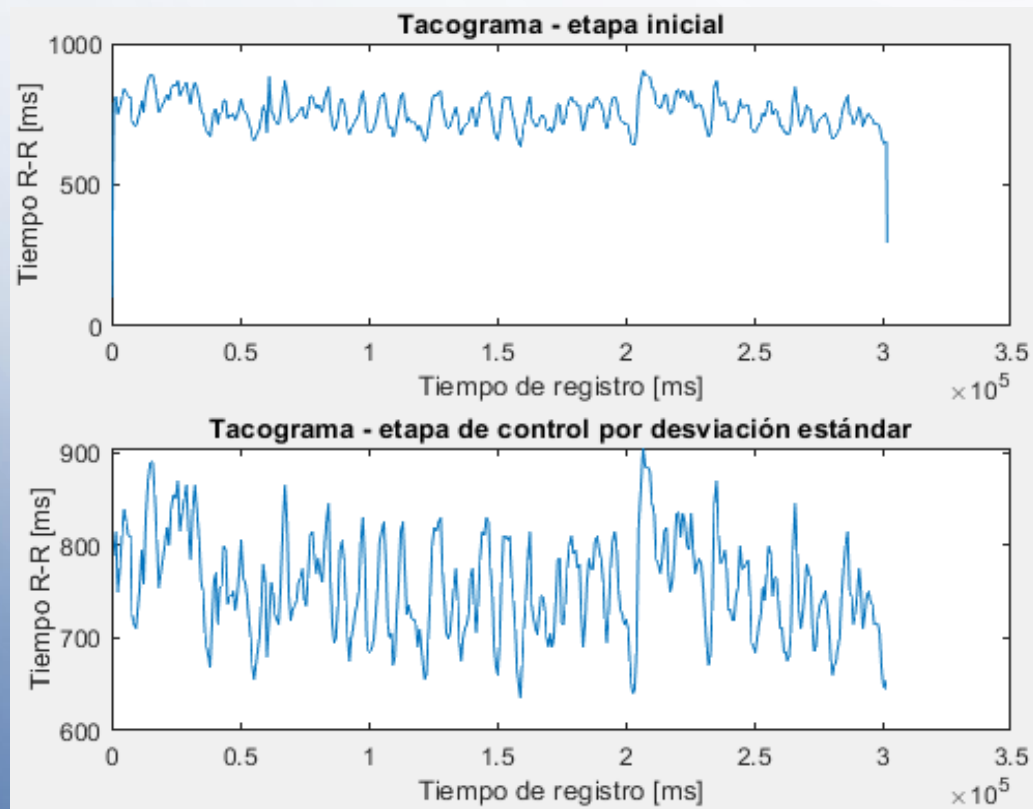
- Identificación onda QRS
- Mayor consumo computacional
- Filtros adaptables
- Umbrales usados: SPKI, NPKI, THRESHOLD I1, THRESHOLD I2
- Incluye reglas adicionales
- Error de detección 0,19%

# SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

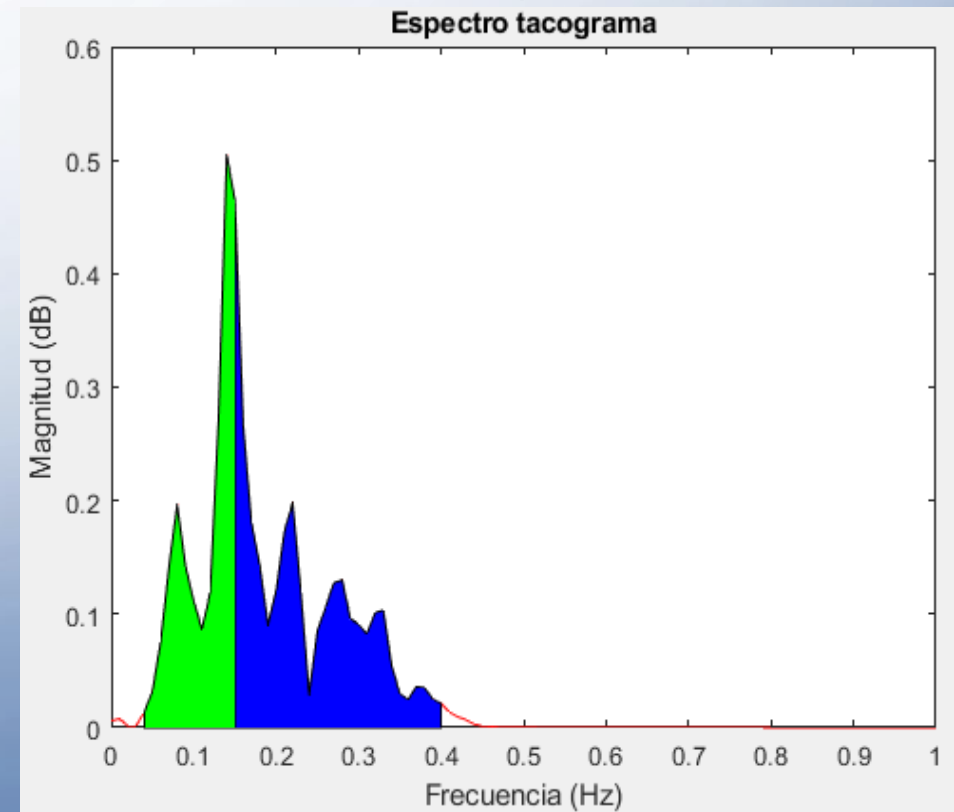
## Identificación de complejo QRS

Construcción tacograma → Eliminación de intervalos R-R erróneos → Interpolación → Filtrado (0,005 Hz – 0,8 Hz → Espectro)

Eliminación de intervalos R-R erróneos



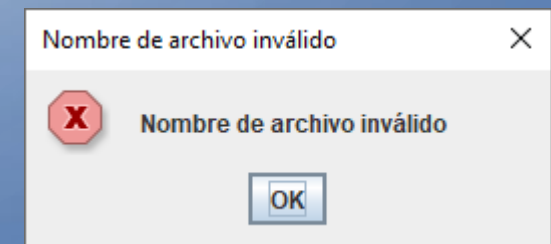
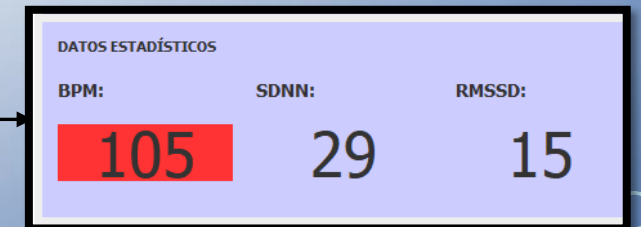
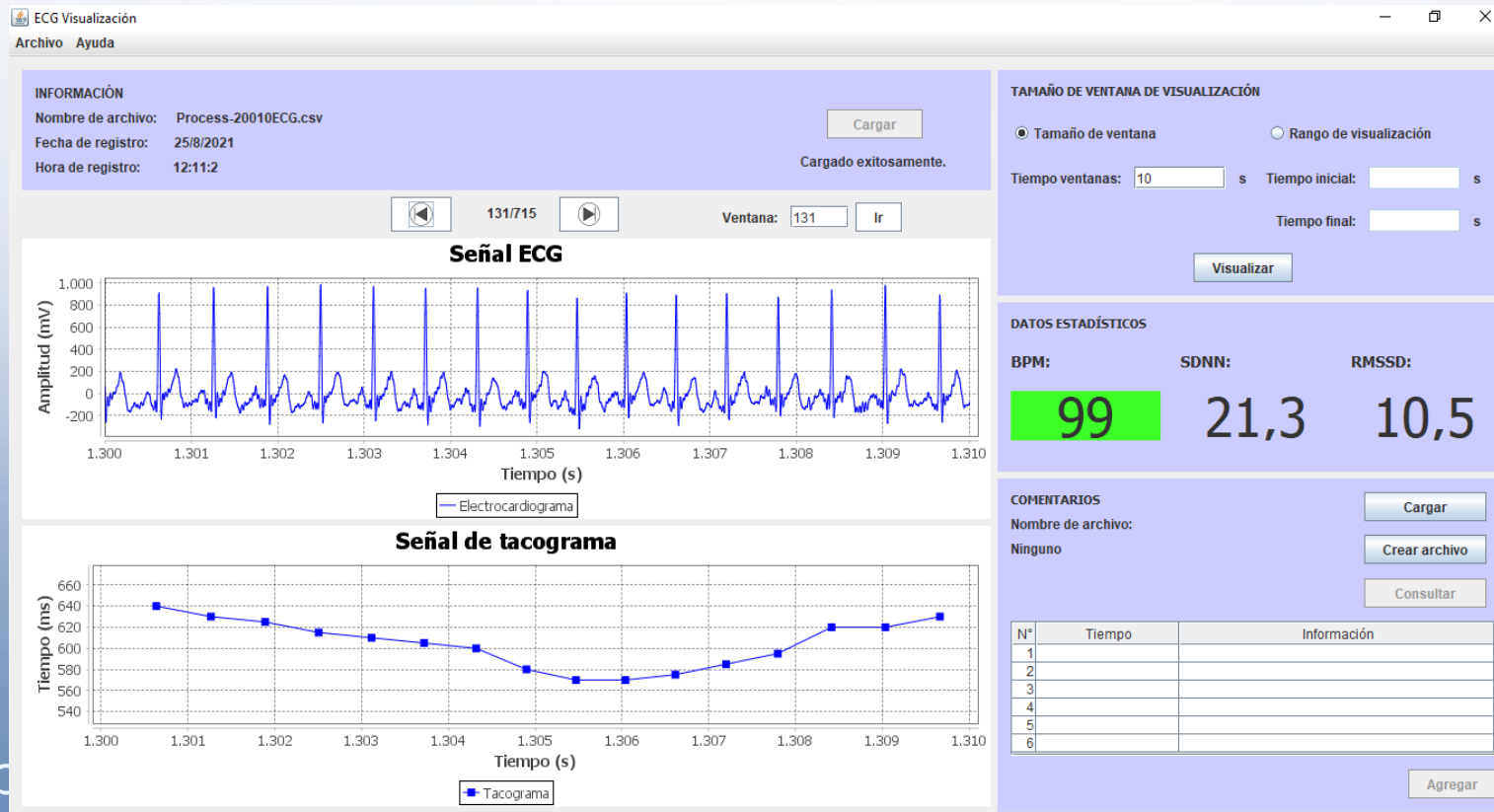
Análisis espectral



# SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN POR ORDENADOR

## Diseño e implementación de software

- Necesidades de usuario: visualización de señales, características temporales, registro de observaciones.
- Comodidad de usuario: fácil navegación, mensajes descriptivos, orientado a experiencia de usuario, etc.







# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# CONCLUSIONES

## Hardware

- La primera etapa de diseño se compone por la fuente de poder en el ingreso del sistema y dos regulaciones de voltaje a 5 VDC y 3.3 VDC, esta permitió entregar el voltaje de alimentación requerido para cada uno de los elementos que conforman la plataforma de adquisición y registro.
- Las características a nivel de hardware y software presentes en la tarjeta Teensy 4.1 permitieron la adquisición y registro de las señales ECG y variables ambientales propuestas en los criterios de diseño del dispositivo.
- La etapa de medición en el paciente está formada por dos módulos, uno para la señal ECG y otro para la temperatura corporal. Una vez implementada, se realizan pruebas comparativas con un electrocardiógrafo comercial y un termómetro digital que permiten verificar el correcto funcionamiento de la etapa y concluir que su inclusión en la plataforma de adquisición y registro permitiría cumplir con las necesidades de los usuarios.
- En la etapa de ingreso y visualización de información, se tomó en consideración la comodidad del usuario al incluir una baja cantidad de interacciones directas con el dispositivo, mensajes claros y concisos, y presentar indicaciones directas por posibles fallos en el uso del dispositivo.

# CONCLUSIONES

## Hardware

- La estructura diseñada para resguardar los componentes del dispositivo presentó el tamaño adecuado para ser ubicada en los laterales de las camas en el área de UCI, su limpieza y desinfección fue sencilla de realizar y los componentes pudieron ser identificados fácilmente debido al uso de etiquetas.
- Se determina que el dispositivo implementado es adecuado para la adquisición de señales ECG en pacientes diagnosticados e ingresados en el área de UCI, debido a las rigurosas pruebas a las que fue sometido el diseño inicial y que permitió obtener un prototipo final que puede ser usado de forma segura dentro del área hospitalaria, así como también, al análisis cualitativo temporal y frecuencial obtenido a partir de las pruebas de funcionamiento dentro de los diferentes escenarios, que determinó que las señales obtenidas por el dispositivo de registro ECG son comparables a las obtenidas por un dispositivo médico profesional y útiles para los fines planteados.

# CONCLUSIONES

## Software

- El software de procesamiento y de visualización por ordenador se centra únicamente en la señal ECG y sus características, esto debido a las necesidades planteadas por el equipo de investigadores y profesionales de la salud del proyecto adjunto.
- La primera etapa de procesamiento con la aplicación filtros para la eliminación de frecuencias que no aportan información, permitió obtener una señal ECG adecuada para continuar con la obtención de las características temporales y frecuenciales.
- Se utilizó el algoritmo de Pan Tompkins para la detección de los picos R donde se planteó dos algoritmos de decisión distintos. El método para verificar el correcto funcionamiento de cada algoritmo fue sobreponer los picos identificados sobre la señal original y visualizar la existencia de errores. De los dos algoritmos de decisión implementados, se determinó que el segundo tenía un porcentaje menor de errores de detección, y por ello fue el seleccionado.

# CONCLUSIONES

## Software

- La identificación de las características temporales como latidos por minutos (BPM) y parámetros de variabilidad de la frecuencia cardiaca (SDNN y RMSSD) se basan en el cálculo de los intervalos R-R y se realiza directamente en el software de visualización puesto que son de interés directo para los usuarios. Además, se aplica un método estadístico similar a las gráficas de control, que determina los límites superiores e inferiores y permite excluir variaciones exageradas en los intervalos R-R. Mientras que para la determinación de características frecuenciales se aplica el método de Welch para obtener la estimación de la densidad espectral, la PSD de Low Frequency (LF) y High Frequency (HF), así como el ratio entre ellas.
- La implementación del software de visualización se realizó siguiendo conceptos de diseño basados en la comodidad del usuario tales como la presentación de información específica y clara, distribución adecuada de la información, cantidad mínima de interacciones para la presentación de resultados y uso de colores que no afecten la atención del usuario tras el uso constante del programa.



# RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del dispositivo ECG con fines investigativos. Este obtiene y registra la información cardíaca, la procesa y presenta en un software de visualización por ordenador, durante la estadía completa de un paciente dentro de la UCI y no solo basado en información sobre alarmas que el equipo común de monitoreo almacena.
- El algoritmo de procesamiento que identifica las arritmias cardíacas en las señales ECG obtenidas, puede servir para relacionar otras enfermedades con la generación de arritmias, como también la reacción de los pacientes a ciertos fármacos durante y después del tratamiento de una enfermedad específica.
- Se recomienda que en el ámbito investigativo se haga uso de toda la información que el dispositivo obtiene y almacena (temperatura corporal, ambiental y humedad relativa), para plantear distintos escenarios y relacionar las diferentes enfermedades cardiovasculares con las señales adicionales obtenidas.



**GRACIAS**