

## 1. Dispositivo de monitorización

### 1.1. Definición.

Es un dispositivo médico para monitorear parámetros maternos y/o fetales; frecuencia cardíaca fetal, actividad uterina, presión arterial no invasiva materna, pulsioximetría y ECG materno o fetal, así como en el parto (anteparto, intraparto y atención posparto).

Se desarrolla este proyecto según las especificaciones del Corometrics 250cx de General Electric Company, Imagen 1-1, al ser el que se utiliza actualmente en el Hospital Lluís Alcanyis De Játiva, Valencia, España.



Imagen 1-1 Corometrics 250cx de General Electric Company

### 1.2. Descripción del sistema.

#### 1.2.1. Pantalla principal.

Durante el funcionamiento del Corometrics, se muestran una serie de informaciones en relación con los datos que se están adquiriendo. En la Imagen 1-2 se muestran los datos de:

- FHR1/FHR2 o Frecuencia Cardíaca Fetal del canal 1/2, y su valor está en latidos por minuto (lpm).
- AU o UA, es el valor de la Actividad Uterina en milímetro de mercurio (mmHg).

- NIBP o presión arterial. Cuando está conectado se muestra la Presión Sistólica, la Presión Diastólica y la Frecuencia Cardíaca Materna en latidos por minuto (lpm).
- MHR/P, que se puede obtener al conectar los electrodos a la madre, el sensor de la saturación de oxígeno o el sensor de la presión arterial. Es la Frecuencia Cardíaca Materna (lpm).
- MSpO<sub>2</sub>. Es el resultado en porcentaje de la obtención de la Saturación de Oxígeno Materno.
- Waveform. En este recuadro se muestra la señal del Electrocardiograma Materno o Fetal.

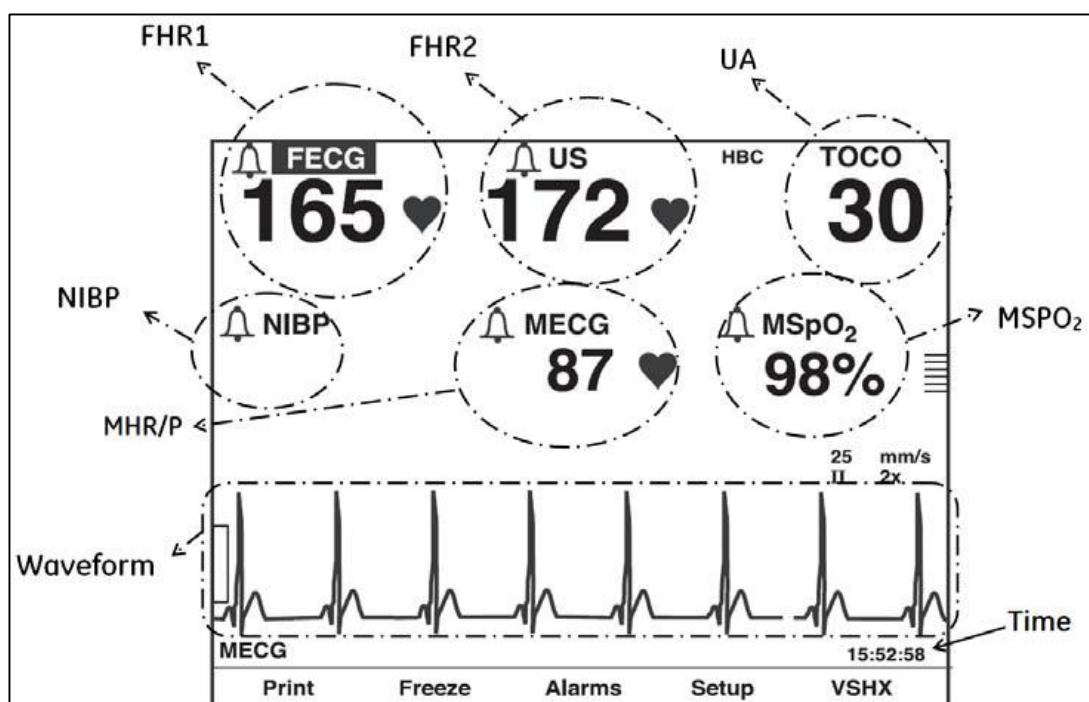


Imagen 1-2 Ejemplo de la pantalla principal durante la adquisición

### 1.2.2. Descripción del panel frontal.

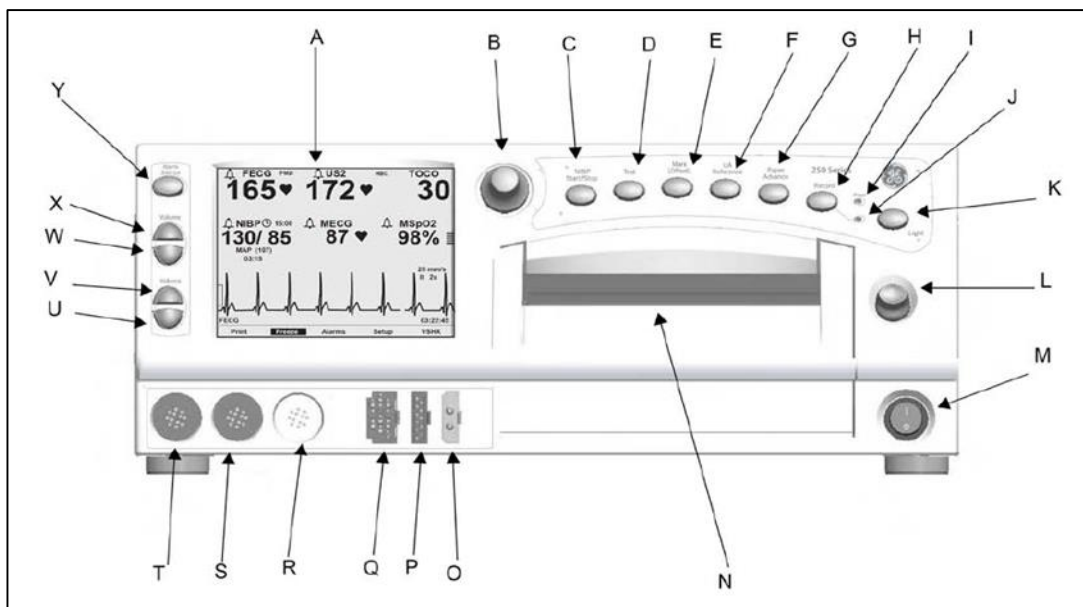


Imagen 1-3 Panel frontal

- A. Pantalla:** La pantalla del monitor. El contenido y el diseño de la pantalla pueden cambiar, según las funciones que estén instaladas en el monitor y los modos de operación en uso.
- B. Control de la perilla de ajuste:** Permite controlar las funciones del monitor. Se gira para mover el cursor y presionar para seleccionar un elemento.
- C. Botón de inicio / parada:** Este botón inicia y detiene las determinaciones de presión arterial tanto manuales como automáticas.
- D. Botón de prueba:** Al presionar este botón se inicia o detiene una rutina de autocomprobación del monitor.
- E. Botón Mark (Offset):** El botón Mark (Offset) es un botón multifunción:
  - Marca: Al presionar este botón, se imprime una marca de evento en las dos líneas inferiores de la cuadrícula superior en el papel de gráfico de franjas.
  - Compensación: Cuando el modo de compensación de frecuencia cardíaca está habilitado, al presionar y mantener presionado este botón, la tendencia de FCF secundaria +20 lpm se hace visible.
- F. Botón de referencia UA:** Este botón establece una línea de base para el monitoreo de la presión de la actividad uterina.

- G. Botón de avance de papel:** Al presionar este botón, el papel de la tabla de tiras avanza a una velocidad de 40 cm/min mientras se mantenga presionado el botón.
- H. Botón de grabación:** Este botón selecciona uno de los tres estados de la grabadora: Encendido, modo solo materno o apagado.
- I. Indicador de encendido:** Este indicador LED se ilumina en verde cuando se enciende el monitor.
- J. Indicador de la grabadora:** Este indicador LED muestra el estado de la grabadora.
- K. Botón de luz:** Este botón ilumina el papel del gráfico de tiras para una mejor visibilidad.
- L. Pestillo de la puerta de grabación:** Este pestillo abre la puerta del registrador de gráficos de tiras para agregar, quitar o ajustar el papel.
- M. Interruptor de encendido:** Al mover este interruptor a la posición de ENCENDIDO (I) se enciende el monitor; mover el interruptor a la posición de apagado (O) apaga el monitor.
- N. Registrador de gráficos de tira:** El registrador imprime anotaciones y tendencias en el papel de gráfico de tiras. Hay dos estilos de papel disponibles.
- O. Conector NIBP materno:** Este conector es para unir el manguito de presión arterial.
- P. Conector de SpO2 materno:** Por donde se conecta el cable con los sensores de saturación de oxígeno materno.
- Q. Conector FECG / MECG:** Para obtener las señales del Electrocardiograma Materno o Fetal.
- R. Conector UA:** Conecte un transductor TOCO o IUPC a este conector.
- S. Conector US2:** Conector del transductor de ultrasonido secundario
- T. Conector US:** Conector del transductor de ultrasonido primario.
- U. Botón de volumen (disminución de FHR2):** Este botón se usa para disminuir el volumen del sonido de la frecuencia cardíaca fetal (FHR2) del segundo canal de ultrasonido (US2). La configuración del volumen no tiene efecto en el procesamiento utilizado para determinar la frecuencia cardíaca. Los botones de volumen funcionan junto con la configuración de control de volumen en la pantalla de configuración de US / US2 y en la pantalla de configuración de FECG.
- V. Botón de volumen (aumento de FHR2):** Este botón se usa para aumentar el volumen del sonido de la frecuencia cardíaca fetal (FHR2) del segundo canal de ultrasonido (US2). La configuración del volumen no tiene efecto en el procesamiento utilizado para determinar la frecuencia cardíaca. Los botones de



- A. Ventilación:** Proporciona ventilación para los circuitos internos del monitor.
- B. Conector de telemetría (J101):** Conector para la interfaz del sistema Corometrics™ 340 o Mini Telemetry.
- C. Conector de entrada de datos (J103):** Este conector está diseñado específicamente para conectarse al Corometrics™ 2116B Data-Entry / Clinical-Notes Keyboard.
- D. Sistema de llamada a la enfermera (J104):** Este conector se conecta a un sistema estándar de llamada de enfermera. La salida máxima del conector es de 50V a 100mA y la máxima de resistencia es de 0,5  $\Omega$ .
- E. Conector de sistemas centrales (J102):** Este conector de tipo Centronics está diseñado para interactuar con un sistema central de vigilancia y alerta Corometrics Spectra 400 u otro sistema de información central analógico compatible. Este conector a menudo se denomina conector de interfaz analógica.
- F. Conector VGA externo (J112):** Este conector sub-D de 15 pines sirve para interactuar con una pantalla VGA externa. El uso de la pantalla externa recomendada por GE permitirá que el video del monitor del panel frontal se reproduzca de forma remota.
- G. Altavoz:** El altavoz del panel posterior emite tonos audibles para frecuencias cardíacas, pulso MSpO<sub>2</sub> con tono dependiente del porcentaje de O<sub>2</sub> y alarmas. También proporciona el sonido para la función de reproductor de canciones.
- H. Conectores de comunicación (J109, J110, J111):** Estos conectores RJ-11 proporcionan tres interfaces seriales RS-232C que permiten conectar la unidad de monitor a los siguientes dispositivos periféricos:
  - Monitor de saturación de oxígeno materno Nellcor Puritan Bennett (NPB) N-200 (solo J109 y J111)
  - Monitores DINAMAP® PRO Series 100-400
  - DINAMAP® ProCare, monitores V100
  - Sistema cuantitativo centinela / perinatal (cualquier conector RS-232C).
- I. Conector de salida de ECG:** Este conector de teléfono estéreo de 3 conductores permite registrar señales del FECG o MECG en un dispositivo externo.
- J. Conector del estimulador acústico fetal (ECG):** Conector para el estimulador acústico fetal Corometrics™ 146 (FAST). Se imprime un símbolo de nota musical en el papel de tabla de tiras cada vez que se utiliza Corometrics™ 146.
- K. Conector de marcador de evento remoto:** Este conector es para la conexión a un marcador de evento remoto opcional de Corometrics que se utiliza para anotar el papel de la tabla de tiras en la grabadora con una marca.
- L. Terminal equipotencial:** Un terminal de conexión vinculante se conecta directamente al chasis (toma de tierra) para su uso como conexión equipotencial.
- M. Interruptor de selección de voltaje de Corriente Alterna (AC):** Este interruptor está destinado al personal de servicio autorizado para seleccionar el voltaje adecuado para la entrada de AC:
  - 120: Permite que la unidad acepte una entrada de AC en el rango de 100–120 VAC.
  - 240: Permite que la unidad acepte una entrada de AC en el rango de 220–240 VAC.

**N. Módulo de entrada de alimentación:** Conector del cable de alimentación de línea de AC.

### 1.3. Medios de comunicación.

Existen dos medios por los que se pueden extraer los datos adquiridos por el Corometrics. El primero es el puerto analógico (Imagen 1-4 parte I), y el otro es el correspondiente a los puertos H (Imagen 1-4) de tipo RJ11.

- La **salida analógica** proporciona dos señales que no son simultáneas ya que los electrodos comparten el mismo puerto. Tal como se menciona en el apartado I de la Imagen 1-4, se trata de un puerto Jack de 3.5mm de tres polos como se muestra en la Ilustración 1.

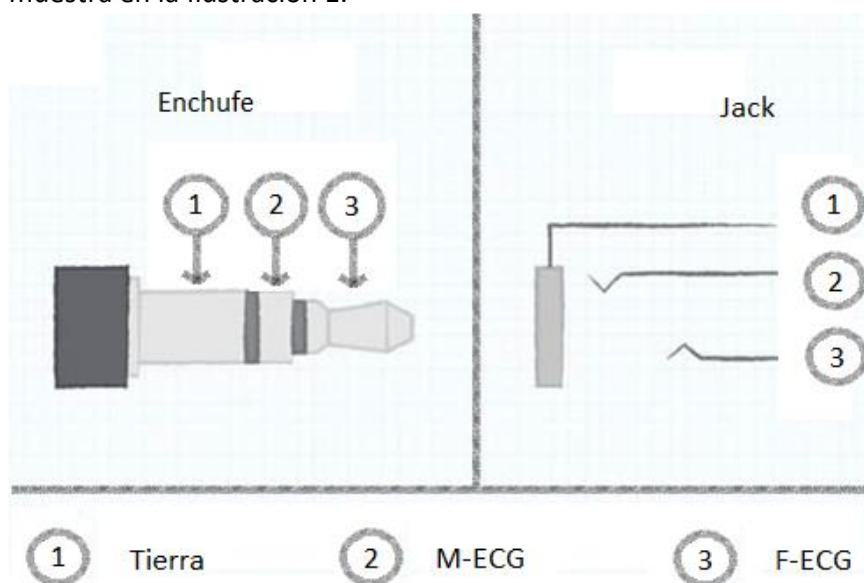


Ilustración 1 Pines de la salida analógica (Jack 3.5mm)

- M-ECG o Electrocardiograma Materno, proporciona una salida de +60dB, con un ancho de banda de 0,5Hz a 40Hz y una amplitud equivalente a 1V/mV (500mVpp según las pruebas en el laboratorio, es decir, un voltaje máximo de +500mV y un mínimo de -500mV).
- F-ECG o Electrocardiograma Fetal, proporciona una salida analógica de +80dB con un ancho de banda de 1Hz a 100Hz y una amplitud de 10V/mV. En las pruebas en el laboratorio se han observado señales de un máximo de 5Vpp.
- La **salida digital** está formada por tres puertos RJ11 que proporcionan la misma salida. Esto puede ser una ventaja si se quiere almacenar las señales en tres dispositivos a la vez. El puerto está configurado como se muestra en la Ilustración 2 y utiliza el protocolo de comunicación RS232.

Pin Number	Signal Name
1	RTS
2	RXD
3	GND
4	GND
5	TXD
6	CTS

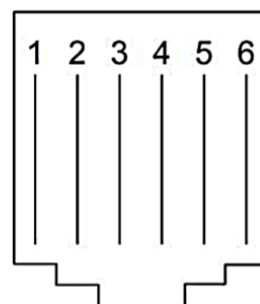


Ilustración 2 Pines de la salida digital (RJ11)

Para que el Corometrics comience la transmisión de señal por canal analógico, basta con conectar los electrodos al conector Q de la Imagen 1-3 y el propio monitor detectará si se trata de una señal F-ECG o M-ECG. Para el puerto digital la transmisión es algo más compleja, ya que requiere de un protocolo de comunicación que solo puede proporcionar el fabricante de la marca.

### 1.3.1. Protocolo de la comunicación digital.

Existen unas consideraciones técnicas sobre el puerto digital que se deben tener en consideración.

- Modo de comunicación: 1.371/Notas
- Baudios: 2.400bps, configurable desde el monitor [600 a 19.200]bps
- Voltaje lógico: +12 (0 lógico) y -12 (1 lógico)

Para que el Corometrics inicie la transmisión de datos por el puerto digital, es necesario enviarle una trama inicial en hexadecimal con la codificación adecuada para cada información. La solicitud se realiza una vez por puerto (Imagen 1-4, parte H) y se debe de hacer cada vez que se enciende el monitor fetal. El Corometrics enviará la información solicitada por el puerto digital cada 990ms o 1100ms para la trama de datos, pudiendo incrementarse hasta los 5ms para las tramas auxiliares.

Las tramas que se envían al Corometrics son las siguientes:

<DLE><STX>**código**<DLE><ETX><CRC><CRC>

- Trama de Datos (G): 10 02 **47** 10 03 42 1F
- Presión Arterial (P): 10 02 **50** 10 03 42 1F
- Saturación de Oxígeno (S): 10 02 **53** 10 03 42 1F

El Corometrics 250cx devuelve una trama con un número de bytes según las tramas solicitadas.

#### 1.3.1.1. Trama de Datos.

Se recibe una única trama con el código 43 (0x43) cada 990ms o 1100ms de 42 bytes y que contiene el bloque de datos con los cuatro canales codificada (Imagen 1-5).

<DLE><STX>**bloque de datos**<DLE><ETX><CRC><CRC>



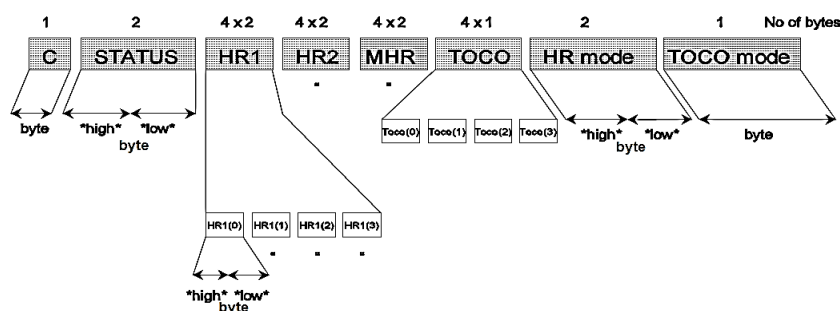


Imagen 1-5 Bloque de datos

Los cuatro canales principales son:

Canal 1: HR1 (Frecuencia Cardíaca Feta o FCF) con 2 bytes de información.

Canal 2: HR2 (Frecuencia Cardíaca Feta o FCF) con 2 bytes de información.

Canal 3: MHR (Frecuencia Cardíaca Materna o FCM) con 2 bytes de información.

Canal 4: TOCO (Actividad Uterina o AU) con 1 byte de información.

- Ejemplo:

10 02 43 80 00 41 88 41 88 41 88 41 88 42 4C 42 4C 42 4C 42 4C 41  
2C 41 28 41 28 41 28 40 40 40 40 42 10 10 08 00 10 03 1E A0

- Decodificación:

- Las posiciones de los 8 bytes [41 88 41 88 41 88 41 88], corresponden a al canal 1. Se reciben cuatro muestras en una sola trama, siendo la cuarta la más fiable según las especificaciones del documento del protocolo de envío de datos de la serie 50 del Corometrics. La información de la FCF se encuentra codificada en los 2 bytes 41 88 (0x41 0x88).

- Para su decodificación, primero hay que convertir el valor hexadecimal a binario. Ejemplo: 0100 0001 1000 1100
- Luego extraer los 11 bits bajos. Ejemplo: 001 1000 1100
- Después convertir los 11 bits a decimal. Ejemplo: 396
- Por último, se aplica la siguiente fórmula:

$$FCF_{tpm} = \frac{FCF_{dec} * 300}{1200}$$

Con esto,  $396 * 300 = 118.800$ ;  $118.800 / 1.200 = 99 \text{ lpm}$

- Las posiciones de los bytes [42 4C 42 4C 42 4C 42 4C], corresponden al canal 2. Solo está disponible cuando se conectan dos transductores para la monitorización gemelar y su decodificación es similar al canal 1. Si no, se obtienen ceros (0x00).

- Las posiciones de [41 2C 41 28 41 28 41 28] contienen los datos del canal 3 y su codificación. La obtención de la FCM en latidos por minutos (lpm) es igual que la del canal 1.
- El canal 4 ocupa las posiciones de los bytes [40 40 40 40], como se aprecia también se envían 4 muestras en una misma trama.
  - 1) Para su decodificación, hay que convertir el byte hexadecimal a decimal.  
Ejemplo:  $0 \times 40 = 64$
  - 2) Luego se utiliza la fórmula siguiente:

$$AU_{mmHg} = \frac{AU_{dec} * 100}{200}$$

Con esto,  $64 * 100 = 6.400$ ;  $6.400 / 200 = 32 \text{ mmHg}$

### 1.3.1.2. Saturación de Oxígeno.

Cuando el Corometrics 250cx recibe la trama de solicitud, envía 51 bytes de datos de los que 41 bytes corresponden a la trama de los datos principales (FCF, AU, etc) y los otros 10 bytes corresponden a la trama de la Saturación de Oxígeno, que se identifica por tener el código 53 (0x53).

- Ejemplo:

10 02 **43** 80 00 41 8C 41 2C 41 2C 41 2C 00 00 00 00 00 00 00 00 41  
24 41 2C 41 2C 41 2C 00 00 00 00 42 80 08 00 10 03 A5 DB 10 02 **53**  
C0 01 2C 10 03 66 98

La trama [10 02 53 C0 01 2C 10 03 66 98] contiene la información de la Saturación de Oxígeno.

- Decodificación:

- El byte **C0** (0xC0) corresponde al porcentaje (%) de la Saturación de Oxígeno. Para poder realizar la decodificación, primero se debe convertir dicho valor a decimal y luego aplicar la fórmula siguiente:

$$SpO_{\%}^2 = SpO_{dec}^2 * 0,5$$

Con esto,  $0 \times C0 = 192$ ;  $192 * 0,5 = 96 \%$

- Los bytes **01 2C** (0x01 0x2C) corresponde a la Frecuencia Cardíaca Materna en latidos por minuto (lpm) obtenida desde el sensor. Primero hay que convertir los valores hexadecimales a decimal y luego aplicar la correspondiente fórmula:

$$FCF_{lpm} = \frac{FCF_{dec} * 300}{1200}$$



## 2. Herramientas de pruebas de adquisición y simulación

Para verificar que la información obtenida sobre la comunicación del Corometrics con medios externos era correcta, se realizaron una serie de pruebas entre el PC y el monitor fetal. Para ello se siguieron una serie de pasos que se detallan a continuación:

### 2.1. Cableado de conexión.

El Corometrics utiliza dos tipos de puertos para los dos tipos de comunicación. Para el medio digital se utiliza un puerto RJ11 (Imagen 1-4 parte H) con el protocolo de comunicación RS232 y para el medio analógico un puerto Jack de 3.5mm (Imagen 1-4 parte I). Para poder realizar la comunicación, el cable digital debe estar diseñado según el esquema de la Ilustración 2 mientras que, para el puerto analógico se ha de tener en cuenta lo indicado en la Ilustración 1. En el caso analógico se ha elegido un cable convencional macho – macho, y para el medio digital la mejor opción fue usar un cable RJ11 – USB.

#### 2.1.1. Programas de visualización de datos.

Para mostrar la trama de datos del medio digital del Corometrics 250cx al Pc, se ha hecho uso del programa de Windows Serial Debug Assistant, disponible en Microsoft Store.

- Configuración del programa:
  - o Baud Rate: 9.600 según se especifique en el Corometrics
  - o Data Bits: 8
  - o Parity: None
  - o Stop Bits: One

En cuanto al medio analógico se ha utilizado un osciloscopio digital para obtener información referente al voltaje de la señal, voltaje pico a pico, offset y ancho de banda.

#### 2.1.2. Comunicación entre medios.

Para iniciar la comunicación entre dispositivos primero se conectan los cables entre los dos medios.

- Prueba digital:

Una vez comprobado de que los baudios del programa coinciden con los del Corometrics, se envía el comando de solicitud [10 02 47 10 03 42 1F] para empezar a recibir la trama de datos. El tiempo aproximado de una trama a otra es de 1 segundo.

- Prueba analógica:

Para la prueba analógica se ha utilizado un osciloscopio digital conectando, según la Ilustración 1, los cables para obtener la señal del Electrocardiograma Fetal (ECG-F) y el Materno (ECG-M). En dichas pruebas se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El voltaje máximo es de  $\pm 5V$  para el ECG-F y de  $\pm 0.5V$  para el ECG-M.
- El Corometrics determina automáticamente cual es la señal del ECG que transmite por la salida (Imagen 1-4 ,punto I).
- El Corometrics trasmite una de las señales, nunca las dos a la vez. Esto se debe a que el ECG-F y el ECG-M comparten el mismo puerto de entrada.
- Como se muestra en la Ilustración 1, del pin 2 del Jack se recibe la señal del ECG-M y del pin 3 se obtiene la señal del ECG-F.

### 3. Diseño del dispositivo de adquisición

Tras realizar el estudio del monitor fetal y la verificación de toda la información, en este apartado se comenta el desarrollo del dispositivo adaptado en base a ciertos criterios.

1. El dispositivo de ser portátil.
2. Debe funcionar con una batería capaz de ser cargada.
3. Los datos adquiridos desde el monitor fetal deben poder visualizarse.
4. Los datos adquiridos desde el monitor fetal deben almacenarse en una memoria externa.

#### 3.1. Lista de componentes.

Se han hecho varios estudios de los componentes adecuados para este dispositivo teniendo en cuenta datos como el consumo, fiabilidad, compatibilidad y dimensiones, entre otros. En base a todo lo mencionado y de las diferentes elecciones que se pudieron aplicar y testear, estos son los componentes que se han utilizado para el prototipo final.

1. Pantalla: ILI9341 de 3.2 pulgadas.
2. Microprocesador: ESP32 + Módulo de carga de batería 18650.
3. Batería: HG2 16850 3000mAh 20 A
4. Reloj: DS1307
5. Puerto digital: Convertidor RS232 a TTL
6. Puerto analógico: Jack hembra de 3.5mm de 3 pines
7. Convertidos Analógico/Digital: ADS1015 12bits
8. Interruptor: Mini interruptor de 3 pines
9. Juntas de conexión macho y hembra:
  - 2 de 20 pines
  - 1 de 14 pines
  - 2 de 4 pines
  - 1 de 5 pines
  - 1 de 7 pines
  - 1 de 10 pines
  - 1 pin macho para conectar el pin V+ de la batería.
10. Cable:
  - 1 cable con junta hembra y el otro extremo soldado al módulo ESP, soldadura de V+ de la batería.
11. Resistencias:
  - 1 de 33K
  - 1 de 100K
  - 2 de 2K
  - 2 de 1K
12. Condensadores:
  - 1 de 100nF
  - 1 de 10uF

- 1 de 100uF

#### 13. Tornillos y roscas:

- 6 tornillos M3
- 4 roscas M3

### 3.2. Diseño del cable de conexión.

El cableado de conexión entre el Corometrics 250cs y el dispositivo debe seguir el siguiente esquema, ya que se trata de una comunicación entre un puerto RJ11 y un puerto RS232.

### 3.3. Diseño de la PCB.

Antes de diseñar la PCB, se realizaron varias pruebas con una protoboard o Placa de prototipado para comprobar la funcionalidad y corregir posibles fallos de hardware. Cuando no se disponía del monitor fetal, se hacía uso del simulador Serial Debug Assistant que permite realizar comunicaciones digitales, así como el uso de la APP de Android “Frequency Generator” o Generadores de funciones en el laboratorio.

- En las pruebas de la transmisión digital se verificaban que el dispositivo fuese capaz de extraer, decodificar y almacenar los datos de la trama principal.
- Para las pruebas de la adquisición analógica, se generaba señales analógicas con amplitud y frecuencia conocida para así, tras almacenar las señales en la tarjeta de memoria, verificar que no existían pérdidas de datos. Esto era posible gracias al uso del DMA, aunque al final se optó por el funcionamiento en paralelo de los dos procesadores del ESP32. Este proceso se detalla más adelante.

Una vez confirmado el funcionamiento del dispositivo en la protoboard el siguiente paso fue diseñar la PCB. El programa con el que se realizó el diseño es EASYEDA, y el resultado fue el de la Imagen 3-1 y la Imagen 3-2.

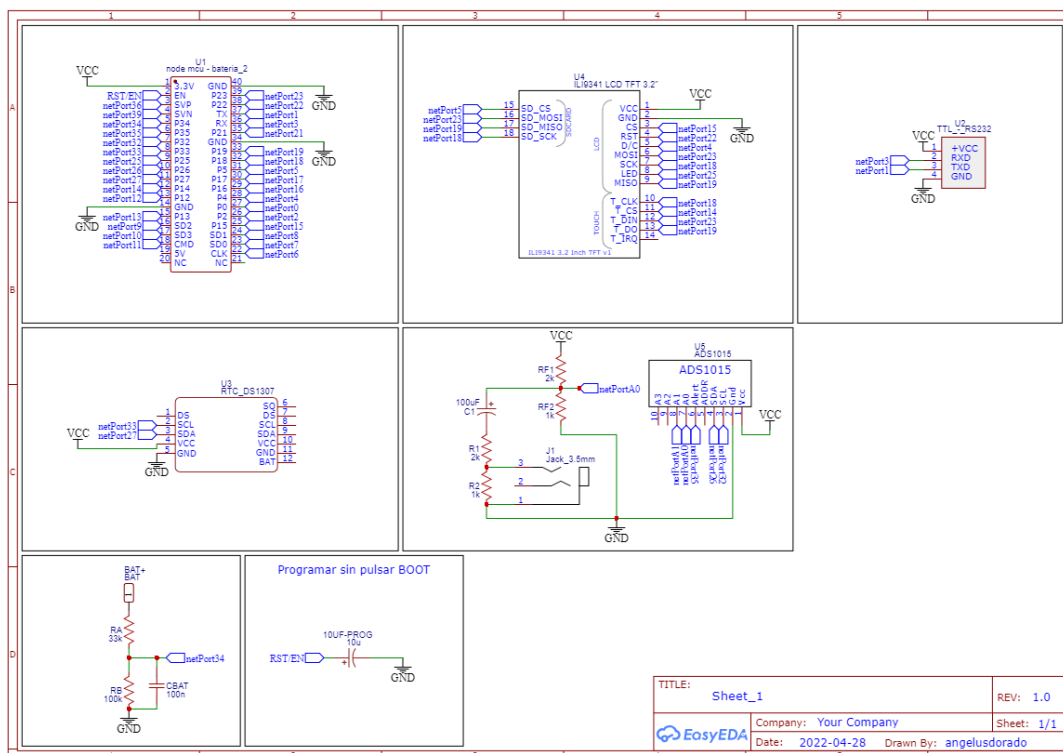


Imagen 3-1 Esquema de conexión

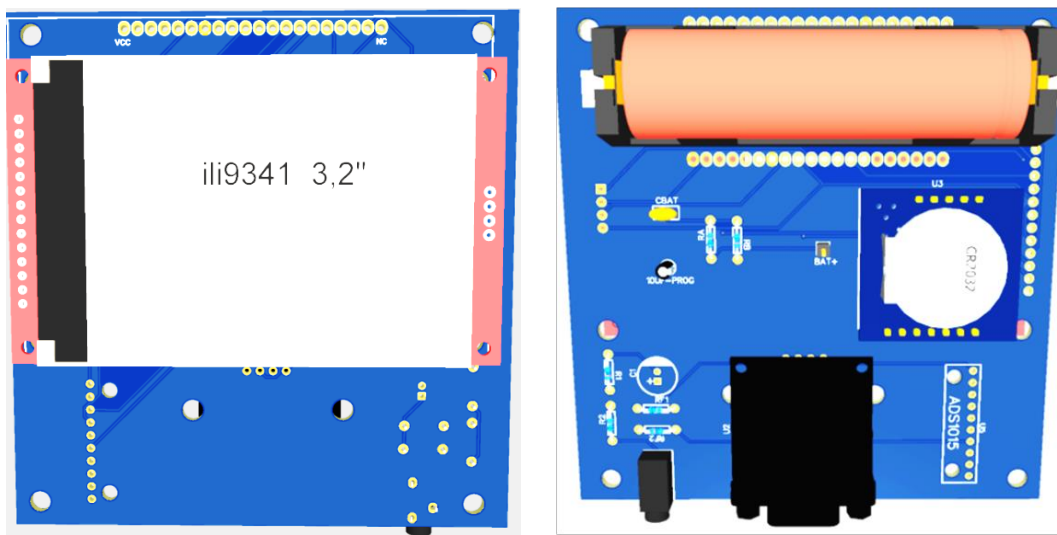


Imagen 3-2 PCB en 3D

Para poder imprimir la PCB es necesario exportar los archivos Gerber en un archivo zip.



### 3.4. Diseño de la caja.

La caja se ha desarrollado con el programa Autodesk Fusion 360 teniendo en consideración las dimensiones de la PCB con todos los componentes montados (Imagen 3-2).



Imagen 3-3 Diseño de la caja: Parte frontal y trasera

Luego se exportan los archivos con formato “stl” para poder imprimirlo con la impresora 3D. En este caso y debido al nivel de detalle alcanzable, se usó una impresora 3D de resina.

- Características:
  - Impresora Anycubic Photon Mono 4K
  - Resina ECO Grey de Anycubic 500g para 2 impresiones

### 3.5. Preparando el IDE para el ESP32.

Para la programación del ESP32 se ha utilizado el IDE de Arduino en su versión 2.0.0.

Para los pasos para su programación son los siguientes:

1. Instalar los drivers del ESP32 desde la web para su sistema operativo <https://www.silabs.com/developers/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>
2. Abrir Arduino IDE 2.0.0 -> Archivo -> Preferencia -> URLs adicionales de gestor [https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package\\_esp32\\_index.json](https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json) tal como se muestra en la Imagen 3-4.
3. Añadir la tarjeta de ESP32 (Imagen 3-5). Una vez desarrollado el código, se programa como en la Imagen 3-7.

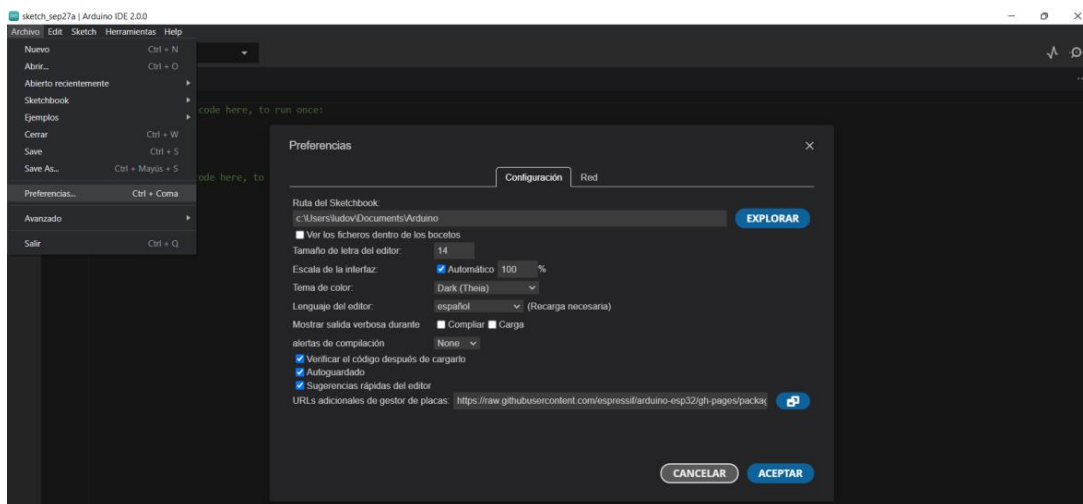


Imagen 3-4 Añadir URLs de configuración

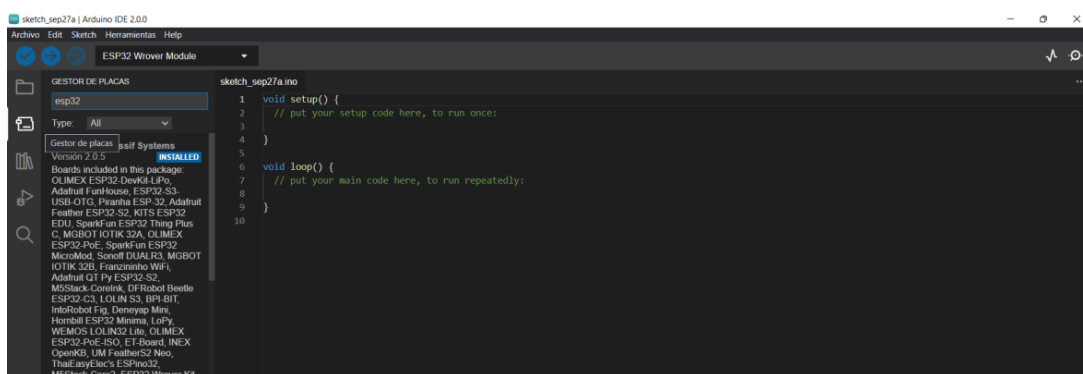


Imagen 3-5 Descarga de la tarjeta ESP32

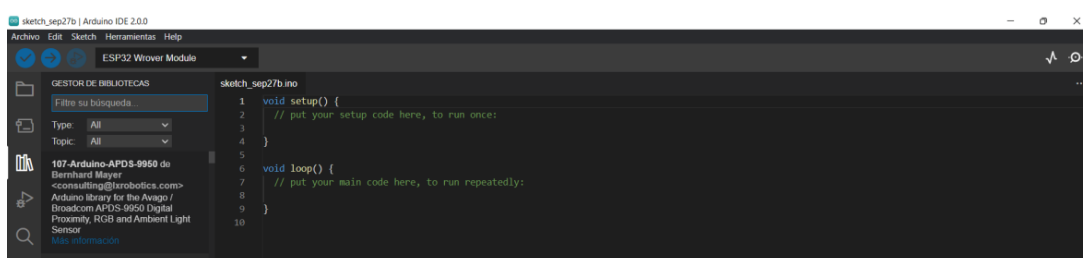


Imagen 3-6 Descarga de Bibliotecas

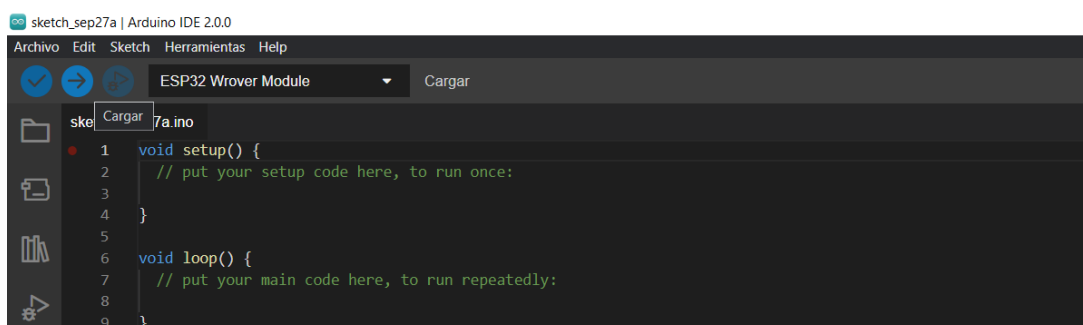


Imagen 3-7 Programación del código en el microcontrolador (botón Cargar)

El ESP32 requiere que se pulse el botón BOOT después de subir el código al programador (Imagen 3-7). Una alternativa es la de usar un condensador de 10uF tal como se muestra en la Imagen 3-8.

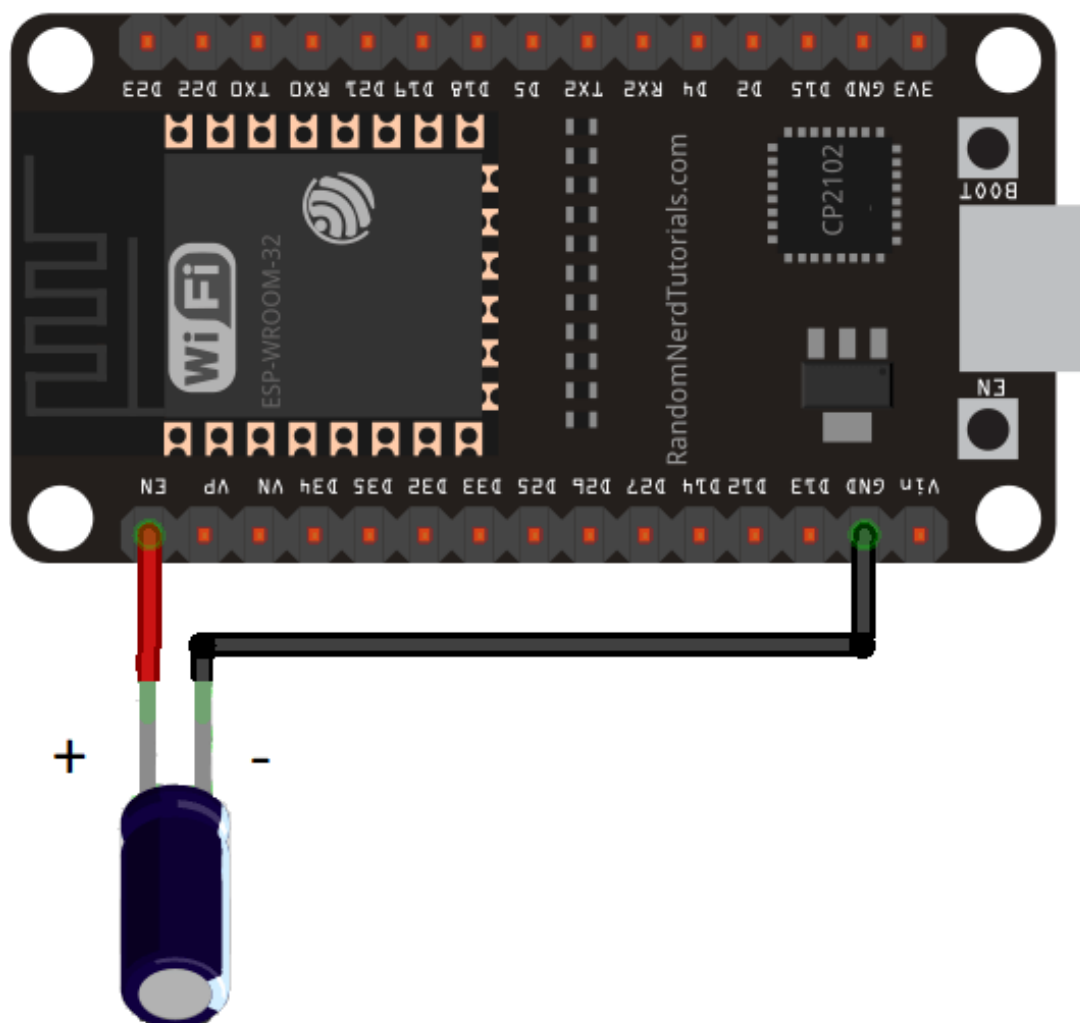


Imagen 3-8 Condensador alternativo al BOOT

Este dato se tuvo en consideración cuando se diseñó la PCB.

### 3.6. Código (C/C++)

A continuación, se describe todo el código desarrollado para cada componente.

#### 1. Pantalla:

Se descarga la biblioteca TFT\_eSPI.h y se descomenta el controlador de la pantalla y se modifican los pines siguientes:

```
/*TFT (configure in TFT_eSPI/User_Setup-h)*/
#define pinTFT_LED 25
// #define TFT_MISO 19
```

```
// #define TFT_MOSI 23
// #define TFT_SCLK 18
// #define TFT_CS 15 // Chip select control pin
// #define TFT_DC 4 // Data Command control pin
// #define TFT_RST 22 // Reset pin (could connect to RST pin)
// #define TOUCH_CS 14
```

Se añaden los includes:

```
/*TFT*/
#include <TFT_eSPI.h> // Hardware-specific library
#include <SPI.h>
TFT_eSPI tft = TFT_eSPI();

/*TFT TouchScreen*/
#include <stdint.h>
#include "TouchScreen.h"
```

## 2. Reloj:

Se descarga la biblioteca DS1307 y se definen los puertos:

```
/*CLOCK DS1307*/
#define countof(a) (sizeof(a) / sizeof(a[0]))
#define RTC_SDA 27
#define RTC_SCL 33
```

Y se añade la siguiente línea de código para asignar el I2C al módulo.

```
/*Reloj RTC1307*/
#include <RtcDS1307.h>
TwoWire I2C_1 = TwoWire(0);
RtcDS1307<TwoWire> Rtc(I2C_1);
```

## 3. Puerto digital:

Se definen los puertos para el módulo RS232:

```
/*UART*/
#define RXD 3
#define TXD 1
```

## 4. Convertidor ADC:

Se incluye el código para usar el puerto I2C:

```
/*I2C*/
#include <Wire.h>
```

```
/*ADC ADS1X15*/  
#include "ADS1X15.h"  
TwoWire I2C_2 = TwoWire(1);  
ADS1015 ADS(0x48, &I2C_2);
```

5. Módulo SD integrado en la pantalla:

```
/*SDcard*/  
#include <FS.h>  
#include <SD.h>
```

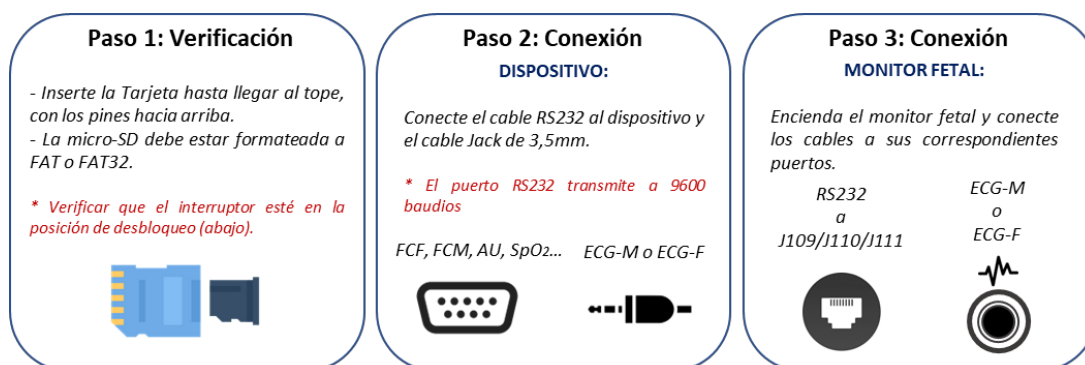
## 4. Dispositivo final

### 4.1. Diseño

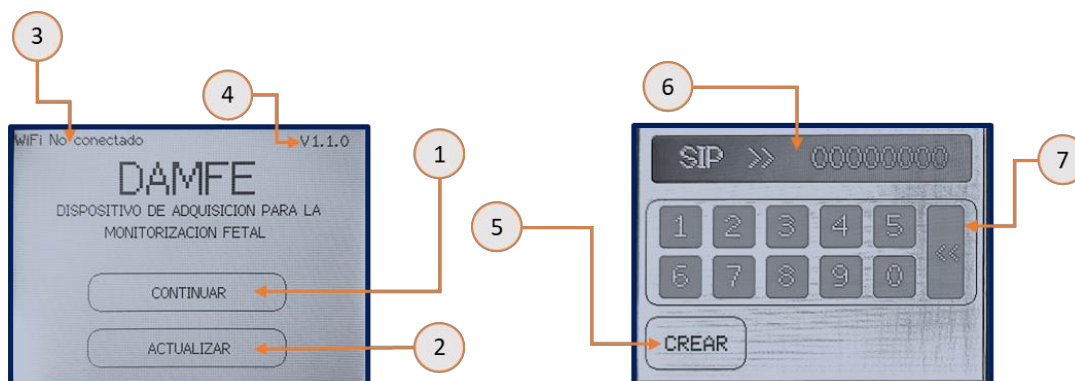
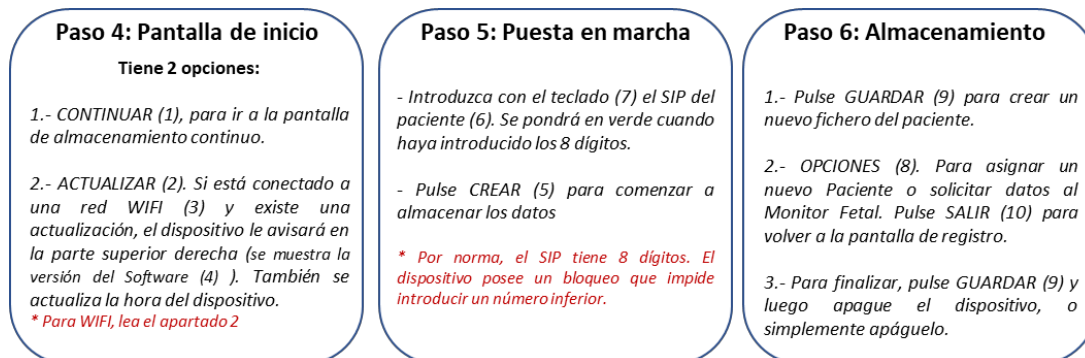
### 4.2. Funcionamiento

#### 4.2.1. Instrucciones de uso recomendado del dispositivo.

**Se recomienda con el dispositivo APAGADO:**



**Con el dispositivo ENCENDIDO:**





#### 4.2.2. Información técnica del dispositivo.

Información técnica	Actualización por WIFI	Información del dispositivo
<p><b>COMUNICACIÓN DIGITAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad : 9600 baudios</li> <li>- Bits de datos : 8 bits</li> <li>- Bit de parada : 0 bit</li> <li>- Bits de parada : 1 bit</li> </ul> <p><b>COMUNICACIÓN ANALÓGICA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuencia de muestreo: 1000 Hz</li> <li>- Resolución : 12 bits</li> <li>- Vmax : +2048 mV ( +2,048 V )</li> <li>- Vmin : -2048 mV ( -2,048 V )</li> <li>- Offset : 0 V</li> </ul>	<p>1.- Se requiere de un Smartphone para compartir la conexión Wifi.</p> <p>2.- Debe sustituir el nombre de su conexión compartida desde el Smartphone por:</p> <p>* <b>SSD : DAMFE</b></p> <p>* <b>Contraseña : ETSEFISABIO</b></p> <p>- Mantenga el dispositivo en la pantalla de inicio, hasta que el dispositivo se conecte.</p>	<p><b>CARGA DEL DISPOSITIVO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje de carga USB : 5 V</li> <li>- Voltaje del dispositivo : 3,3 V</li> <li>- Corriente máxima de carga : 1 A</li> <li>- Corriente mínima de carga : 0,5 A</li> </ul> <p><b>BATERÍA: IMR 18650</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IMR 18650</li> <li>- Li-ion 3200 mAh 25 A / 30 A</li> <li>- Voltaje nominal : 3,7 V</li> <li>- Voltaje máximo de carga : 4,2 V</li> <li>- Voltaje mínimo de carga : 2,5 V</li> </ul>

#### 4.2.3. Información para la lectura de los ficheros.

Fichero con los datos digitales	Cabeceras	Fichero con los datos analógicos
<p><b>FicheroDigital.dat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formato de datos : uint 8</li> <li>- Número de canales: 9 HR1, HR2, MHR, TOCO, SPO2, VCP, Ps, Pd, Pm</li> <li>- Unidad de medida : HR1 : Latido por minuto (lpm) HR2 : Latido por minuto (lpm) MHR : Latido por minuto (lpm) TOCO : Milímetro de mercurio (mmHg) SPO2 : Porcentaje (%) VCP : milisegundos (ms) Psistólica : Latido por minuto (lpm) Pdiastólica : Latido por minuto (lpm) Pmedia : Latido por minuto (lpm)</li> </ul>	<p><b>cabecera_FicheroDigital.dat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formato de datos : uint 8 : Día, mes y año uint 8 : Hora, minuto y segundos uint 8 : Frecuencia de muestreo uint 8 : Nº canales</li> </ul> <p><b>cabecera_FicheroAnalógico.dat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formato de datos : uint 8 : Día, mes y año uint 8 : Hora, minuto y segundos uint 8 : Resolución del ADC int 16 : Voltaje máximo y mínimo int 16 : Frecuencia de muestreo</li> </ul>	<p><b>FicheroAnalógico.dat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formato de datos : int 16</li> <li>- Unidad de medida : Milivoltios (mV)</li> <li>- Frecuencia de muestreo : 1000 Hz</li> <li>- Número de canales: 1</li> </ul>

## 4.3. Pruebas finales

### 4.3.1. Script de lectura de fichero.

Una vez finalizado el registro, se ejecuta un Script de Matlab para poder visualizar los datos.

#### 1. Script de la cabecera del fichero digital:

```
close all
ficheroA = 'cabecera_FicheroDigital.DAT';

%%CABECERA DIGITAL:
% 6 datos (uint8_t) con fecha: dia,mes,año,hora,min,seg
% 2 datos (uint8_t) FM = 4HZ, CANALES = 9

f1=fopen(ficheroA,'rb');%abre el fichero
% fread(f1,6,'int16')%lee el fichero

%f1=fopen(ficheroA,'rb');%abre el fichero
A = fread(f1, 8 , 'uint8')%lee el fichero

fclose(f1);%cierra el fichero

%plot(A,'b')%muestra el grafico de los datos
```

#### 2. Script del fichero digital:

```
clear
close all
clc

ficheroB = 'ficheroDigital.DAT';

f3=fopen(ficheroB,'rb');%abre el fichero
A = fread(f3,inf,'uint8');%lee el fichero

fclose(f3);%cierra el fichero

HR1=A(1:9:end);
HR2=A(2:9:end);
MHR=A(3:9:end);
TOCO=A(4:9:end);
MSpO2=A(5:9:end);
VCP=A(6:9:end);
Psistolica=A(7:9:end);
Pdiastolica=A(8:9:end);
Pmedia=A(9:9:end);

mediaVCP = mean(VCP); %calculo de la media de la VCP

figure(1)
plot(HR1,'r')%rojo
hold
plot(HR2,'y')%amarillo
plot(MHR,'b')%azul
```



```

plot(TOCO, 'g')%verde
plot(MSpO2, 'm.')%magenta
plot(VCP, 'k')%negro

figure(2)
plot(Psistolica, 'g*')%verde
hold
plot(Pdiastolica, 'rx')%rojo
plot(Pmedia, 'b')%azul

%tiempo de registro
hora = (((size(A,1)/9)/4)/60)/60 );
min = ((hora - fix(hora)) * 60);
seg = ((min - fix(min))) * 60;

%texto informativo
sprintf(['' ...
        'Tiempo de registro: %d horas, %d minutos y %d segundos \n' ...
        'Variabilidad media: %f milisegundos'], ...
        fix(hora), fix(min), fix(seg), mediaVCP)

```

### 3. Script de la cabecera del fichero analógico:

```

close all
ficheroA = 'cabecera_FicheroAnalogico.DAT';
f1=fopen(ficheroA, 'rb');%abre el fichero

%%LEYENDA CABECERA ANALOGICA:
% Siguiente orden:
% 6 datos (uint8_t) con fecha: dia, mes, año, hora, min, seg
% 1 datos (uint8_t) del ADC: resolucion (bits)
% 3 datos (int16_t): vmaxADC(mv), vminADC(v), Fmuestreo(Hz)

%%ANALOGICA
f1=fopen(ficheroA, 'rb');%abre el fichero
A = fread(f1, 7, 'uint8')%lee el fichero
B = fread(f1, 3, 'int16')%lee el fichero

fclose(f1);%cierra el fichero

```

### 4. Script del fichero analógico:

```

clc
close all

ficheroA = 'ficheroAnalogico.DAT';

f1=fopen(ficheroA, 'rb');%abre el fichero
A = fread(f1, inf, 'int16');%lee el fichero

fclose(f1);%cierra el fichero

Fm = 1000;

figure(1)
t = 0: 1/Fm: (size(A)/Fm);
plot(t(2:end), (A), 'k')

```

```
ylabel('Voltaje (mV)')
xlabel('Tiempo (s)')
vmax = max(A);

%tiempo de registro
hora = ((size(A,1)/Fm)/60)/60;
min = ( (hora - fix(hora)) * 60);
seg = ( (min - fix(min)) ) * 60;

%texto informativo
sprintf(['' ...
        'Tiempo de registro: %d horas, %d minutos y %d segundos \n' ...
        'Frecuencia de muestreo: %i Hz \n' ...
        'Voltaje máximo: %d miliVoltios'], ...
        fix(hora),fix(min), fix(seg), Fm, vmax)

figure(2)
x=A(1000:6000);
N=length(x);
x=x-mean(x);
subplot(211);
% plot(x,'r.'),hold on
ylabel('Voltaje (mV)')
xlabel('Tiempo (ms)')
plot( (x) ), hold off
subplot(212),
plot((0:N-1)*Fm/N,abs(fft(x)))
ylabel('Ganancia')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
```

#### 4.3.2. Visualización de datos.

Los datos se representan en una gráfica o en una lista según lo que se requiera. Estos registros han sido obtenidos de un paciente real.

##### 1. Fichero de cabecera digital:

```
>> A

A =

    27
     9
    22
    14
    42
    29
     4
     9

fx >> |
```

Imagen 4-1 Datos de la cabecera del fichero digital

## 2. Fichero digital:

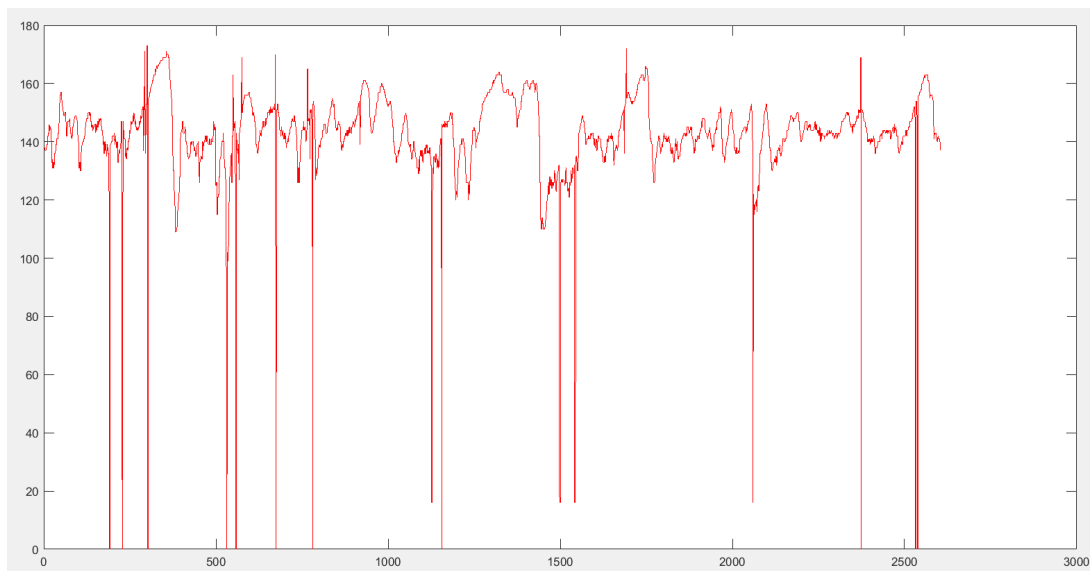


Imagen 4-2 Gráfico de HR1

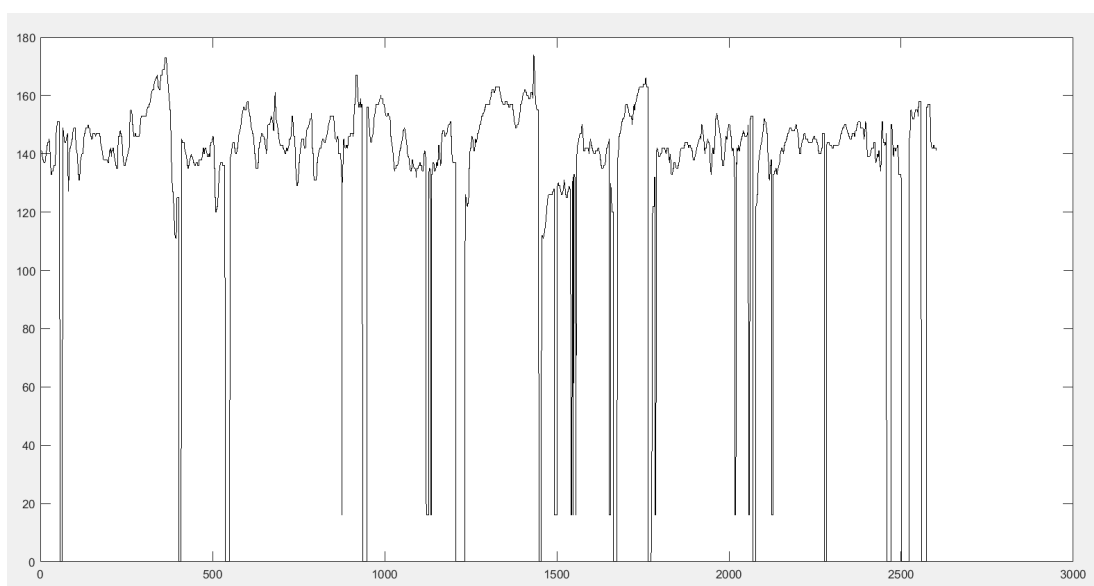


Imagen 4-3 Gráfico de HR2

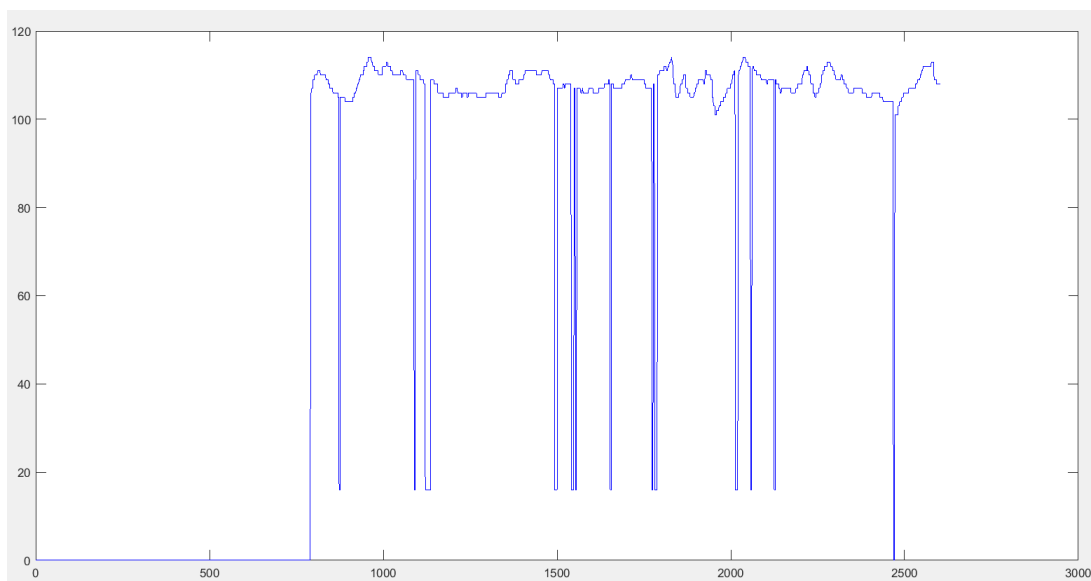


Imagen 4-4 Gráfico de MHR

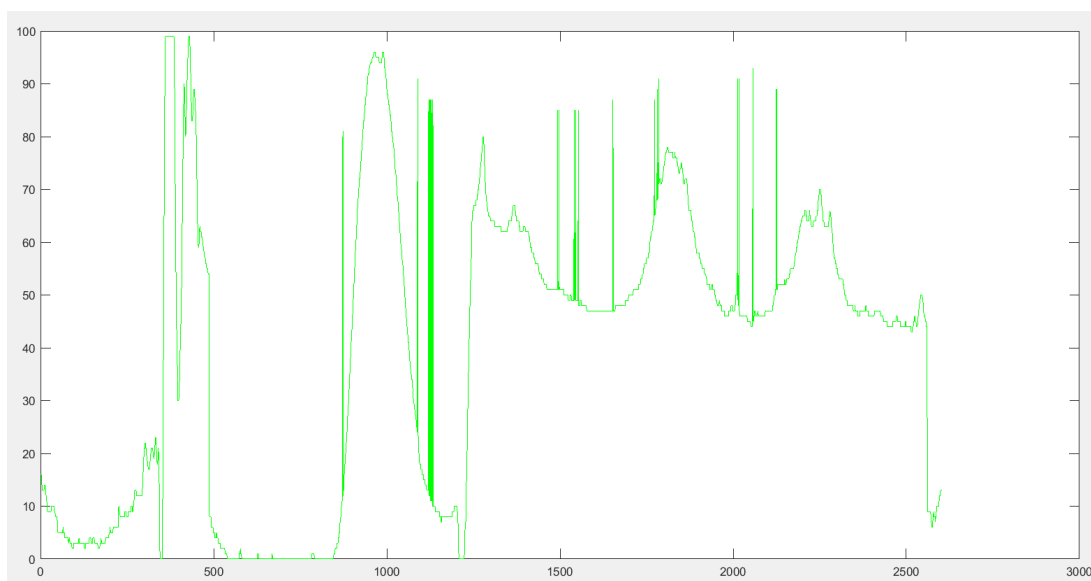


Imagen 4-5 Gráfico de TOCO

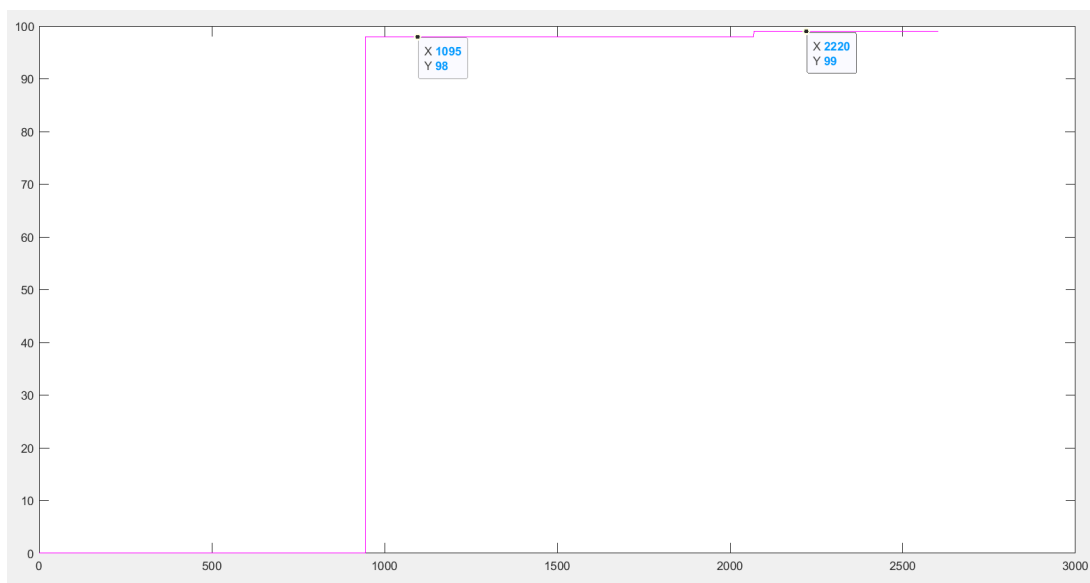


Imagen 4-6 Gráfico de SpO2

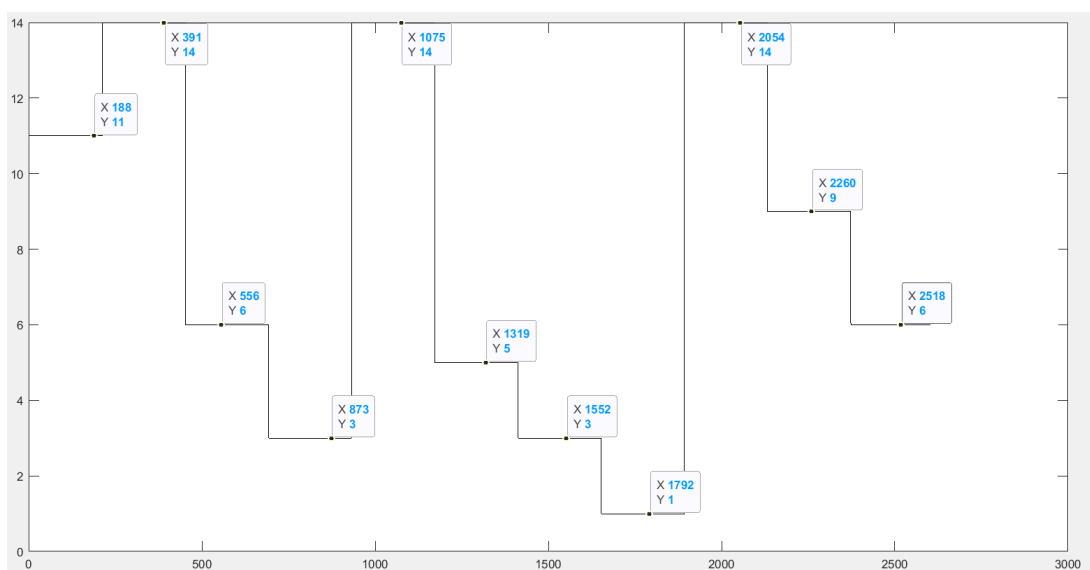


Imagen 4-7 Gráfico de VCP

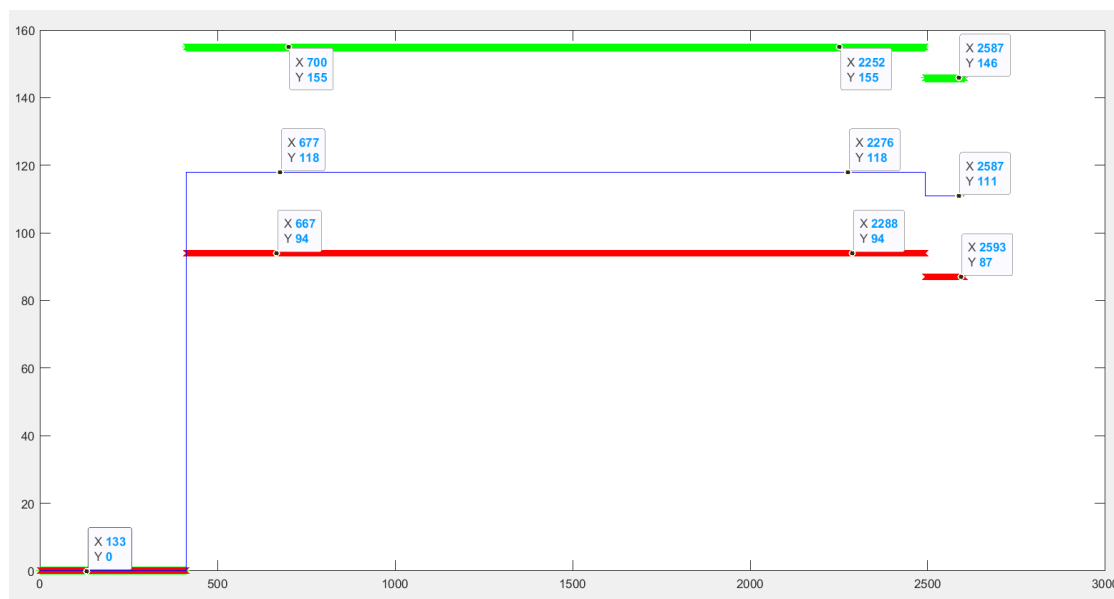


Imagen 4-8 Gráfico del tensiómetro: Presión sistólica, diastólica y media

### 3. Fichero de cabecera analógico:

```
>> CabeceraFicheroAnalogico

A =

    27
     9
    22
    14
    42
    29
    12

B =

    2048
   -2048
    1000
```

Imagen 4-9 Datos de la cabecera del fichero analógico