

# Sensor de volumen ventricular

Andrés Felipe Cuartas Aguirre. [afcuartasa@unal.edu.co](mailto:afcuartasa@unal.edu.co)

Juan David Márquez Reales. [jdmarquezz@unal.edu.co](mailto:jdmarquezz@unal.edu.co)

Sebastián Silva Vidal. [sesilvavi@unal.edu.co](mailto:sesilvavi@unal.edu.co)

## I. INTRODUCCION

La frecuencia cardiaca o ritmo cardiaco es uno de los signos vitales más importantes del cuerpo. El corazón late porque se emiten señales eléctricas que nacen de la aurícula derecha y se transmiten por unas vías específicas que se distribuyen por todo el corazón, dando lugar a una frecuencia cardiaca específica.

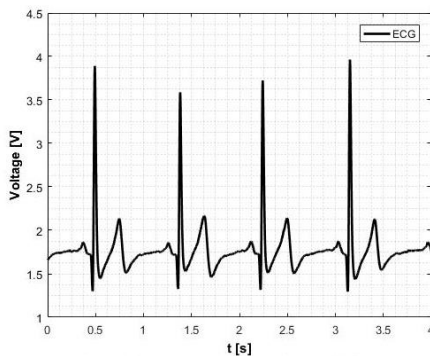


Figure 1. Señal ECG.

En términos generales, medir la frecuencia cardiaca es bastante sencillo, para ello se utilizan los sensores de electrocardiograma (ECG), que evalúan el ritmo y la función cardiaca a través de un registro de la actividad eléctrica del corazón. Sin embargo, obtener señales de volumen ventricular o volumen pulmonar no es fácil debido a la instrumentación requerida para ello. En este proyecto se obtiene una señal de volumen ventricular, utilizando los datos obtenidos por un sensor de ECG.

## II. DESCRIPCION EXPERIMENTAL

Utilizando técnicas de identificación de sistemas, se obtiene un modelo matemático de tipo OE que permite obtener una señal de volumen ventricular a partir de una señal de ECG.

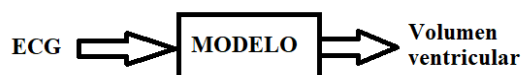


Figure 2. Esquema entrada salida.

El esquema del modelo en Simulink se muestra a continuación:

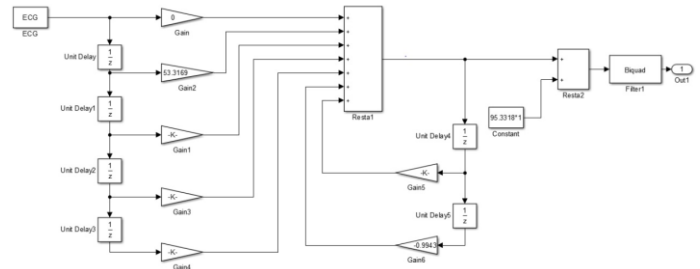


Figure 3. Esquema del modelo en Simulink.

Simulando el modelo, se obtienen las gráficas de las señales ECG y volumen ventricular:

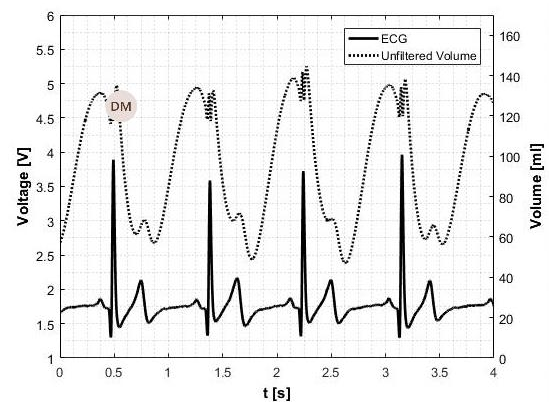


Figure 4. Señales de entrada y salida

Con el fin de eliminar el ruido de la señal de volumen ventricular se utiliza un filtro, para esto se grafica el espectro de frecuencia de la señal, con el objetivo de establecer el tipo de filtro y la frecuencia de corte.

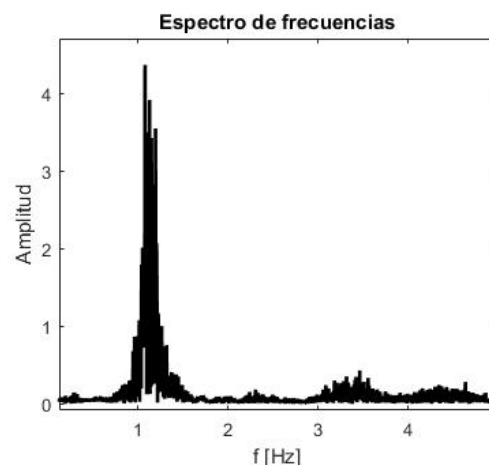


Figure 5. Espectro de frecuencias

Se puede observar que la energía de la señal se concentra alrededor de 1.2 Hz, por lo que se implementa un filtro pasabajos con frecuencia de

corte de 2 Hz. El resultado se muestra a continuación:

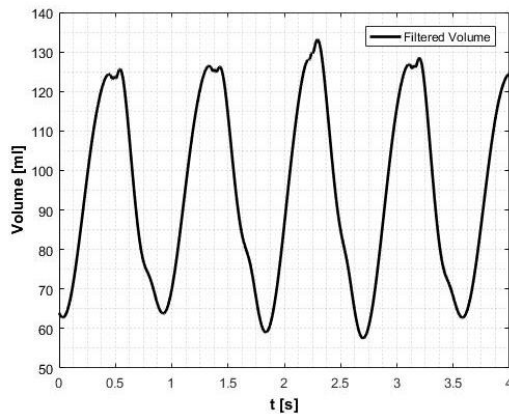


Figure 6. Señal filtrada

Una vez obtenido el modelo completo, se utiliza el MATLAB Coder para transformar el esquema de Simulink en código de lenguaje C. Se elige el procesador compatible con la tarjeta FRDM-KL25Z.

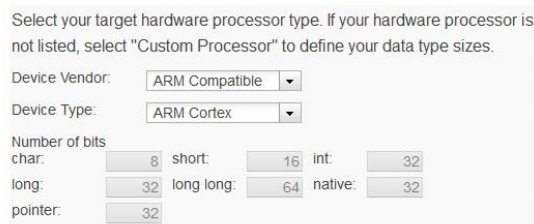


Figure 7. Elección del tipo de procesador

Como resultado se obtienen tres archivos en lenguaje C:

- `rtwtypes.h`: Contiene las definiciones de los tipos de variables utilizadas

```
typedef signed char int8_T;
typedef unsigned char uint8_T;
typedef short int16_T;
typedef unsigned short uint16_T;
typedef int int32_T;
typedef unsigned int uint32_T;
typedef float real32_T;
typedef double real64_T;

typedef double real_T;
typedef double time_T;
typedef unsigned char boolean_T;
typedef int int_T;
typedef unsigned int uint_T;
typedef unsigned long ulong_T;
typedef char char_T;
typedef unsigned char uchar_T;
typedef char_T byte_T;
```

- `Modelo.h`: Contiene la declaración de variables y constantes

```
typedef struct tag_RTM RT_MODEL;
typedef struct {
    real_T UnitDelay_DSTATE[1];
    real_T UnitDelay1_DSTATE[1];
    real_T UnitDelay2_DSTATE[1];
    real_T UnitDelay3_DSTATE[1];
    real_T UnitDelay5_DSTATE[1];
    real_T UnitDelay4_DSTATE[1];
    real_T Filter1_FILT_STATES[4];
} DW;

typedef struct {
    real_T Constant1_Value[1];
} ConstP;
typedef struct {
    real_T Out1[1];
} ExtY;
struct tag_RTM {
    const char_T * volatile errorStatus;
};
extern DW rtDW;
extern ExtY rtY;
extern const ConstP rtConstP;
```

- `Modelo.c`: Contiene la declaración y definición de las funciones del sistema, en este caso el modelo OE y el filtro.

Se define la comunicación serial y el pin de la tarjeta donde se leerá la señal que entrega el sensor de ECG:

```
Serial ecgg(USBTX, USBRX);
AnalogIn ain(A0);
ecgg.baud(9600);
```

El sensor de electrocardiograma se conecta al pin analógico de la Freescale y se alimenta a 3.3 V.

Para graficar la señal de volumen ventricular en tiempo real, se comunica la tarjeta FRDM-KL25Z con Simulink por medio del puerto serial.



Figure 8. Comunicación serial con Simulink

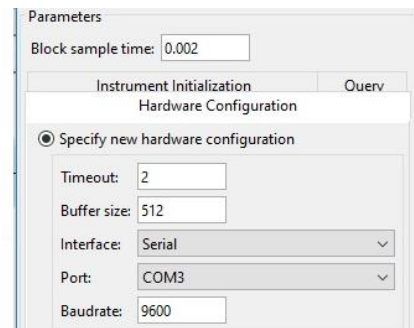


Figure 9. Configuración comunicación serial

La arquitectura del sistema se muestra a continuación:

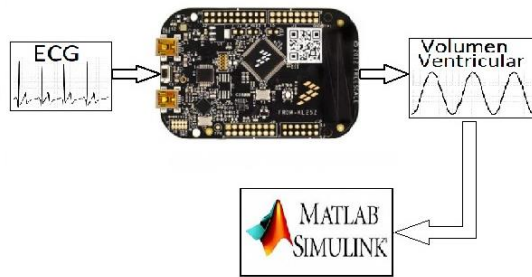


Figure 10. Arquitectura del sistema

### III. RESULTADOS

Se utiliza un sensor de electrocardiograma conectado a la tarjeta FDRM-KL25Z, que está programada para enviar por comunicación serial una señal de volumen ventricular a partir de la señal ECG de entrada. El resultado se muestra en la figura 11.



Figure 11. Señal de salida en Simulink

Se observa que la señal enviada por la tarjeta FDRM-KL25Z a través del puerto serial, corresponde a la señal de volumen ventricular teórica.

### IV. CONCLUSIONES

La herramienta MATLAB Coder es de gran utilidad para transformar modelos complejos hechos en Simulink (controladores, modelos de identificación de sistemas etc) a lenguaje C y de esta manera implementarlos en un sistema embebido. También, la comunicación serial entre los sistemas embebidos y Simulink, permite ver en tiempo real y gráficamente el comportamiento de las señales manipuladas.