

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

IE-0624 LABORATORIO DE MICROCONTROLADORES

## Laboratorio # 4

*Freddy Zúñiga Cerdas*

*A45967*

Profesor

MARCO VILLALTA FALLAS

June 5, 2023

# 1 Introducción

En el presente trabajo se creó un sismógrafo utilizando un STM32F429 Discovery Kit, el cual cuenta con un botón para habilitar la transmisión serial (PIN PG14) y una entrada analógica que recibe y acondiciona el voltaje de una batería de 9V.

La transmisión serial se debe dar entre el microcontrolador y la computadora y luego esta debe enviar los valores recibidos a un dashbord de Thingsboard, dichos valores son las coordenadas x,y,z y el nivel de voltaje de la bateria, para este caso se envió tanto el nivel absoluto como el porcentual.

Adicionalmente los mismos valores se deben mostrar en la pantalla lcd de la placa.

El repositorio de Github se puede consultar en la siguiente dirección:

[https://github.com/JackTheKnife16/IE-0624\\_Laboratorio\\_de\\_Microcontroladores\\_I\\_2023](https://github.com/JackTheKnife16/IE-0624_Laboratorio_de_Microcontroladores_I_2023)

## 2 Nota Teórica

En este apartado se mostrarán algunas características del microcontrolador así como la justificación de la utilización de los componentes externos y el diagrama de flujo del firmware creado para el microcontrolador.

### 2.1 Microcontrolador STM32F429

Se utilizó la placa STM32F429 Discovery Kit para el presente laboratorio.

#### 2.1.1 Características Generales

El microcontrolador STM32F429 cuenta con las siguientes características:

- 2.4"QVGA TFT LCD
- USB OTG con conector Micro-AB
- Sensor de movimiento I3G4250D
- Giroscopio ST MEMS de 3-ejes
- 6 LEDS: LD1 (USB Comms), LD2(3.3V
- PowerOn, 2 LEDS de usuario (LD3 y LD4)
- 2 LEDS USB OTG (LD5 y LD6)
- 2 push-button (Usuario y reset)
- 64-Mbit SDRAM
- Header para LQFP144 I/Os
- On-board ST-LINK/V2-B
- Funciones USB: Debug, virtual COM almacenamiento
- Alimentación por USB o fuente externa de 3V o 5V
- Core: ARM 32 bits Cortex-M4 con
- FPU (RISC)
- 180 MHz
- 2MB flash, 256 KB SRAM
- Controlador LCD-TFT
- Low Power
- 3x12bit ADC
- 2x12bit convertidor D/A
- 17 timers: 12 timers de 16bit, 2 de
- 32bit de hasta 180MHz, c/u con
- 4IC/OC/PWM
- Debug: SWD, JTAG
- 168 I/O con capacidad de interrupcion
- 21 interfaces de comunicaciones(I2C,USART,SPI,SAI,CAN)

- Conectividad avanzada USB 2.0
- Intefaz de camara
- True RNG
- CRC
- Controladores DMA

### 2.1.2 Diagrama de Bloques

En la Figura 1 se muestra en detalle el diagrama de bloques del microcontrolador.

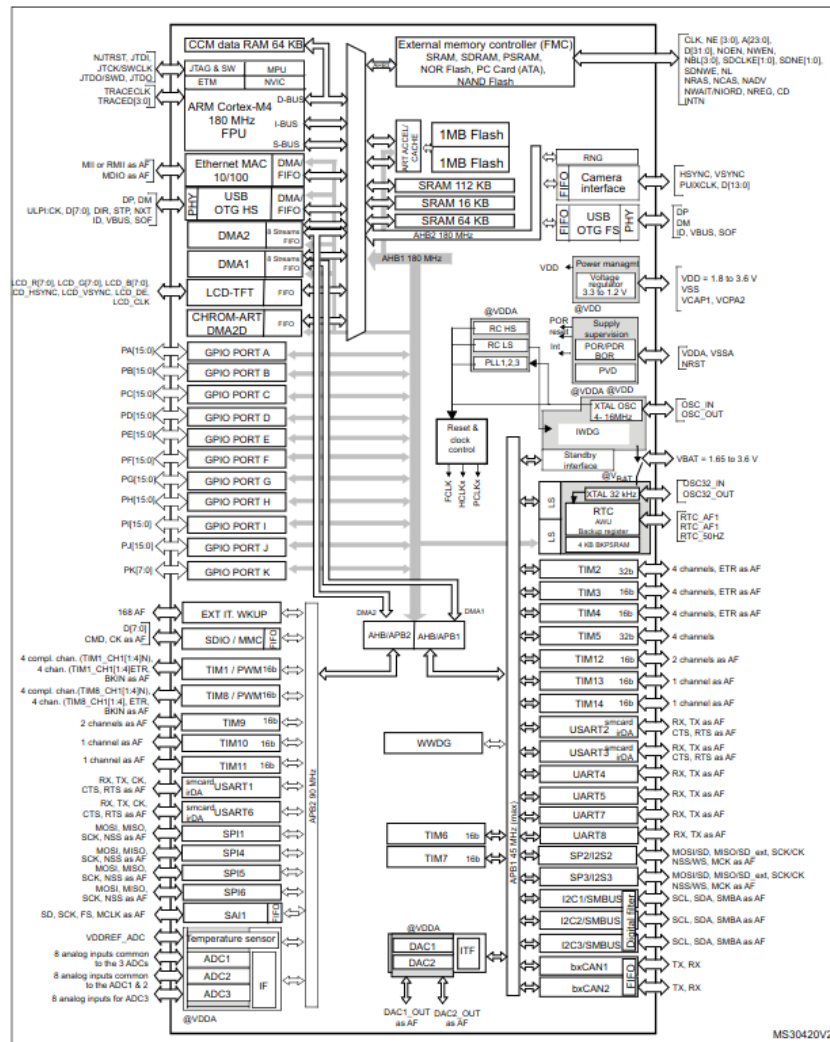


Figura 1: Diagrama de Bloques del STM32F429 [1]



### 2.1.4 Características Eléctricas

En la Figura 3 se muestran las características eléctricas del microcontrolador.

Symbol	Ratings	Min	Max	Unit
$V_{DD}-V_{SS}$	External main supply voltage (including $V_{DDA}$ , $V_{DD}$ and $V_{BAT}$ ) <sup>(1)</sup>	- 0.3	4.0	V
$V_{IN}$	Input voltage on FT pins <sup>(2)</sup>	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD}+4.0$	
	Input voltage on TTA pins	$V_{SS} - 0.3$	4.0	
	Input voltage on any other pin	$V_{SS} - 0.3$	4.0	
	Input voltage on BOOT0 pin	$V_{SS}$	9.0	
$ \Delta V_{DDx} $	Variations between different $V_{DD}$ power pins	-	50	mV
$ V_{SSx}-V_{SS} $	Variations between all the different ground pins including $V_{REF}$ .	-	50	
$V_{ESD(HBM)}$	Electrostatic discharge voltage (human body model)	see Section 6.3.15: <i>Absolute maximum ratings (electrical sensitivity)</i>		

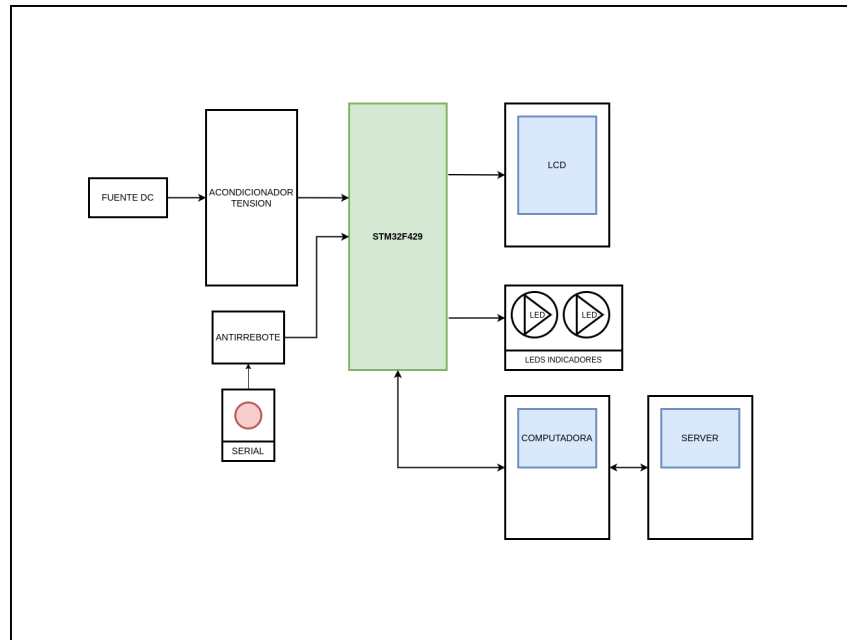
  

Symbol	Ratings	Max.	Unit	
$\Sigma I_{VDD}$	Total current into sum of all $V_{DD\_x}$ power lines (source) <sup>(1)</sup>	270	mA	
$\Sigma I_{VSS}$	Total current out of sum of all $V_{SS\_x}$ ground lines (sink) <sup>(1)</sup>	- 270		
$I_{VDD}$	Maximum current into each $V_{DD\_x}$ power line (source) <sup>(1)</sup>	100		
$I_{VSS}$	Maximum current out of each $V_{SS\_x}$ ground line (sink) <sup>(1)</sup>	- 100		
$I_{IO}$	Output current sunk by any I/O and control pin	25		
	Output current sourced by any I/Os and control pin	- 25		
$\Sigma I_{IO}$	Total output current sunk by sum of all I/O and control pins <sup>(2)</sup>	120		
	Total output current sourced by sum of all I/Os and control pins <sup>(2)</sup>	- 120		
$I_{INJ(PIN)}^{(3)}$	Injected current on FT pins <sup>(4)</sup>	- 5/+0		
	Injected current on NRST and BOOT0 pins <sup>(4)</sup>			
	Injected current on TTA pins <sup>(5)</sup>	±5		
$\Sigma I_{INJ(PIN)}^{(5)}$	Total injected current (sum of all I/O and control pins) <sup>(6)</sup>	±25		

**Figura 3:** Características Eléctricas del STM32F429 [1]

## 2.2 Diagrama Funcional del Circuito

En la Figura 4 se muestra el diagrama funcional para el laboratorio, se puede ver la representación de cada una de las partes del circuito, que consta de 3, circuito de entrada (botones y entrada de tensión), circuito de salida (computadora, pantalla lcd y leds indicadores) y el microcontrolador (en este caso la placa de desarrollo Discovery Kit).



**Figura 4:** Diagrama funcional para el voltímetro de cuatro canales [imagen propia]

## 2.3 Pines Utilizados

Se debe aclarar que al ser una placa de desarrollo ya contaba con los leds y la pantalla lcd, por lo que no se tuvo que realizar conexiones a estos elementos.

### Pines de Entrada:

Tenemos como Pin Digital de entrada al PD14 que controla la comunicación serial.

También tenemos el Pin Analógico de entrada PA0 que recibe la señal de las fuente de tensión (batería de 9V).

### Pines de Salida:

Los Pines Digitales PG13 y PG14 manejan los leds indicadores correspondientes a la habilitación de la transmisión serial y el indicador de tensión menor o igual a 7V

Los pines digitales de salida para la pantalla LCD y los de transmisión serial.

## 2.4 Firmware del Circuito

Para este caso no se agrega firmware debido a que la construcción del código se basó en entender y copiar el código ya realizado como ejemplos para libopenmc3.

## 2.5 Componentes Electrónicos Complementarios

El sistema que resuelve el problema planteado para este proyecto se diseñó con tres partes fundamentales, primero el circuito de entrada, segundo el microcontrolador y tercero el circuito de salida. En la Tabla se listan los componentes utilizados para cada uno de dichas partes, así como su precio en el mercado en colones.

Código	Tipo	Característica	Cantidad	Precio	Subsistema
STM32F429	Microcontrolador/Placa	-	1	61500	Microcontrolador
-	Capacitor	10 $\mu\text{F}$	1	190	Entrada
-	interruptor	-	1	99	Entrada
-	Resistencia	120 $\Omega$	12	199	Entrada y Salida
-	Resistencia	240 $\Omega$	8	199	Entrada
-	Resistencia	47 k $\Omega$	1	199	Entrada
-	Resistencia	1 k $\Omega$	5	199	Entrada
-	Resistencia	27 k $\Omega$	2	199	Entrada
-	potenciometro	50 k $\Omega$	1	349	Entrada

**Tabla 1:** Información de los componentes utilizados

## 2.6 Diseño de los circuito Complementarios

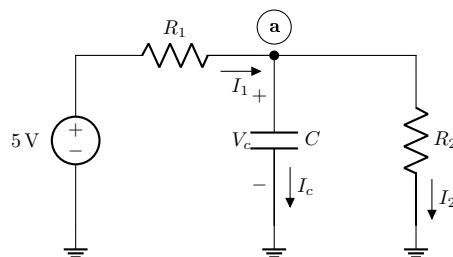
Los circuitos complementarios serán explicados en detalle a continuación.

### 2.6.1 Circuito de Entrada

El circuito de entrada se compone de un pulsador y un circuito RC para controlar los picos de tensión al accionar el pulsador. El RC es un poco más complejo debido a que el microcontrolador requiere una resistencia de pull down. Para este circuito se debía determinar el valor de dos resistencias y un capacitor conociendo ciertos datos:

- La tensión de entrada al PIN 3 del microcontrolador debe ser superior a 3V ya que es suficiente tensión para que el microcontrolador reconozca como un valor en alto.
- El capacitor debe cargarse a su valor final en un tiempo no mayor a 5 ms, un tiempo mucho menor a la velocidad de reacción que puede tener un ser humano al pulsar un botón.

En la Figura 5 se muestra el esquemático del circuito de entrada, con este y un poco de cálculo se obtendrán los valores para las resistencias y la capacitancia.



**Figura 5:** Esquemático del Circuito entrada [imagen propia]



Aplicando Ley de Corrientes de Kirchhoff en el nodo a, obtenemos que:

$$\frac{5 - V_c}{R_1} = C \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{R_2} \quad (1)$$

Reacomodando la ecuación llegamos a:

$$\frac{dV_c}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2} \cdot V_c = \frac{5}{CR_1} \quad (2)$$

sea  $a = \frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2}$  y  $b = \frac{5}{CR_1}$  tenemos que:

$$\frac{dV_c}{dt} + aV_c = b \quad (3)$$

Claramente el factor integrante para resolver este problema será:  $e^{at}$ , multiplicando esto a ambos lados de (3) y luego agrupando tenemos que:

$$\begin{aligned} e^{at} \frac{dV_c}{dt} + aV_c e^{at} &= b e^{at} \\ \frac{d}{dt} [e^{at} V_c] &= b e^{at} \\ d[e^{at} V_c] &= b e^{at} dt \end{aligned}$$

Integrando a ambos lados y luego despejando:

$$e^{at} V_c = \frac{b}{a} e^{at} + k$$

$$V_c = \frac{b}{a} + k e^{-at}$$

Suponiendo que en  $t = 0$ ,  $V_c(0) = 0$  (capacitor está descargado en el tiempo 0) entonces  $k = -\frac{b}{a}$ , por lo que:

$$\boxed{V_c = \frac{b}{a} [1 - e^{-at}]} \quad (4)$$

Sabemos por tanto que  $b/a$  es el valor de la tensión en régimen permanente, y fijaremos tal valor en  $3.5 \text{ V}$  :

$$\frac{b}{a} = \frac{5R_2}{R_1 + R_2} = 3.3$$

manipulando la ecuación se obtiene la relación entre las resistencias:

$$\boxed{R_2 = \frac{33}{17} R_1} \quad (5)$$

Por otro lado sabemos por los requerimientos mencionados antes que  $5\tau \leq 5 \text{ ms}$

$$5\tau = \frac{5}{a} = \frac{5CR_1}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

Utilizando la relación de las resistencias obtenida anteriormente tenemos que:

$$5\tau = \frac{7CR_1}{2} \leq 5 \times 10^{-3} \quad (7)$$

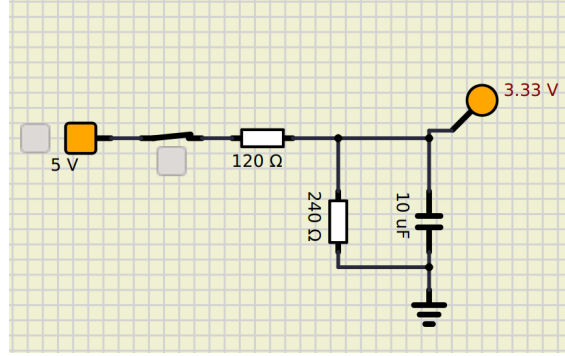
despejando C obtenemos finalmente la relación entre C y  $R_1$ :

$$C \leq \frac{1}{700R_1} \quad (8)$$

Por lo que tomando un  $R_1$  definimos ya todos los valores:

$$R_1 = 120 \Omega, R_2 = 233.33 \Omega, C = 10 \mu F \leq 14.29 \mu F \quad (9)$$

Utilizando un valor aproximado para  $R_2 = 240 \Omega$  obtenemos los resultados que se muestran en la Figura 6.



**Figura 6:** Circuito antirrebotes para botón [imagen propia]

El circuito para acondicionar los voltajes de entrada para el pin analógico se encargan de convertir una tensión que puede estar entre los 0 y 9 volts a una que esté entre los 0 y 3.3 volts, para esto se usan simplemente resistencias y para el caso de realizar las pruebas en el microcontrolador se utiliza un potenciómetro para simular la caída de tensión de la batería de 9V. Lo cierto del caso es que no se utilizó finalmente una batería real, se usó la salida de tensión de 5V del microcontrolador y se acondicionó de una manera similar a lo mostrado aquí para limitar la tensión de entrada a 3.3V.

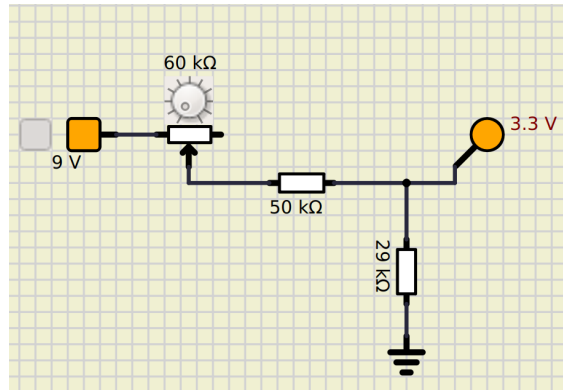
Para obtener los valores apropiados para las resistencias primero se asumió que la resistencia en el potenciómetro era 0 y se procedió a realizar leyes de Kirchhoff.

$$\frac{9 - 3.3}{R_1} = \frac{3.3}{R_2} \quad (10)$$

Despejando la relación tenemos que:

$$R_2 = \frac{11}{19} R_1 \quad (11)$$

Finalmente debido a que el potenciómetro está entre 0 y 60k, las resistencias debían ser del mismo orden, por lo que se escogió  $R_1 = 50k$  por lo que, por la relación  $R_1 = 28.95k$ , nótese que estos valores son bastante buenos según se muestra en la Figura 7.



**Figura 7:** Circuito acondicionador de entradas analógicas [imagen propia]

### 2.6.2 Circuito de Salida

El circuito de salida realmente es manejado a nivel interno por el microcontrolador, por lo que no se tuvo que diseñar nada extra.

## 3 Análisis de Resultados

Para la evaluación de esta parte se crearon los siguientes videos donde se muestra el funcionamiento tanto de la placa como del dashboard de Thingsboard:

<https://youtu.be/82KDbYDrqsk>

<https://youtu.be/0U7eAqwSF9k>

### 3.1 Primer Video

En el primer video se muestran las partes más importantes del funcionamiento, la manera en que responde cuando se cambia el estado del interruptor, para habilitar o deshabilitar la transmisión serial, en el se puede ver claramente como al deshabilitar la transmisión serial el led verde deja de parpadear y el dashboard no se actualiza más, y sucede lo opuesto cuando es habilitada la transmisión serial con el botón.

Siguiendo en el mismo video, se puede ver como el nivel de la tensión cambia al mover la perilla del potenciómetro y como el led rojo se activa cuando llegamos a una tensión igual o inferior a 7V, en caso de estar habilitada la comunicación serial se muestra como dichos valores se actualizan en el dashboard.

También se muestra como se comporta la pantalla y que los valores siguen cambiando aunque la transmisión serial no esté habilitada, tal y como debía ser.

### 3.2 Segundo Video

En el segundo video se muestra simplemente como se ve el dashboard junto con el script de python en acción, donde queda claro que los valores son enviados de manera correcta.

## 4 Conclusiones y Recomendaciones

En el presente trabajo se utilizó la placa de desarrollo STM32F429 Discovery Kit para realizar un sismógrafo con la capacidad de transmisión serial y transmisión iot. Considero que se cumplieron todas las especificaciones solicitadas en el documento del laboratorio.

### 4.1 Recomendaciones

En un proyecto de estos el tiempo es fundamental, si bien el proyecto reutilizaba mucho código de los ejemplos de libopencm3, combinarlos de manera correcta fue bastante complicado y me enfrenté a varios problemas, lo importante es trabajar en pequeñas partes que sirvan para ir cumpliendo los pasos.

Las configuraciones fueron las más complicadas, el plan inicial mostró ser el correcto pero fue necesario invertir mucho tiempo en depuración, sin duda programar esta placa es más complejo que hacerlo en un arduino.

## Bibliografía

- [1] STMicroelectronics, *STM32F429 User Manual: Discovery kit for STM32F429/439 lines*, 2013.