

Universidad de Costa Rica

Laboratorio de Microcontroladores

Laboratorio #4:
STM32: GPIO, ADC, comunicaciones e IoT

Prof. MSc. Marco Villalta Fallas

Marco Vásquez Ovarés - B17032

Junior Ruiz Sánchez - B97026

Grupo: 01

I Ciclo 2025

Índice

1. Introducción	5
2. Nota teórica	6
2.1. STM32F429 Discovery kit	6
2.1.1. Diagrama de pines	8
2.1.2. Descripción de pines	8
2.1.3. Diagrama de bloques	8
2.1.4. Características eléctricas	8
2.2. Microcontrolador STM32F429ZIT6	9
2.2.1. Diagrama de pines	11
2.2.2. Descripción de pines	11
2.2.3. Diagrama de bloques	11
2.2.4. Características eléctricas	11
2.3. Sensor MEMS L3GD20	12
2.3.1. Diagrama de pines	13
2.3.2. Descripción de pines	14
2.3.3. Diagrama de bloques	15
2.3.4. Características eléctricas	15
2.3.5. Registros	17
2.4. Pantalla LCD/TFT ILI9341	18
2.4.1. Diagrama de pines	19
2.4.2. Descripción de pines	19
2.4.3. Diagrama de bloques	22
2.4.4. Características eléctricas	22
2.5. Biblioteca LibOpenCM3	24
2.6. Comunicación UART/USART	25
2.7. Protocolo de Comunicación SPI (Serial Peripheral Interface)	26
2.7.1. SPI read	26
2.7.2. SPI write	26
2.8. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)	27
2.9. Internet de las Cosas (IoT)	28
2.10. Diseño del circuito	29
2.10.1. Lista de componentes	29
2.10.2. Información adicional	29
3. Desarrollo	30
3.1. Análisis del firmware	30
3.1.1. Diagrama de flujo del programa	30
3.1.2. Firmware	30
3.2. Análisis electrónico	31
3.2.1. Batería	31
3.3. Análisis de resultados	32

4. Conclusiones y Recomendaciones	33
4.1. Conclusiones	33
4.2. Recomendaciones	33
Bibliografía	34
5. Apéndices	34
5.1. Repositorio Git	34

Índice de figuras

1.	STM32F429 Discovery board	6
2.	Hardware block diagram	8
3.	STM32F429ZIT6 package	9
4.	STM32F429ZIT6 block diagram	11
5.	Pin connection	13
6.	Pin description	14
7.	Block diagram	15
8.	Electrical characteristics	15
9.	Absolute maximum ratings	16
10.	Register address map	17
11.	19
12.	20
13.	21
14.	21
15.	Block Diagram	22
16.	Absolute Maximum Ratings	22
17.	General DC Characteristics	23

Índice de tablas

1. Introducción

Resumen

2. Nota teórica

2.1. STM32F429 Discovery kit

La STM32F429 Discovery Kit es una placa de desarrollo diseñada por STMicroelectronics para facilitar la evaluación y prototipado de aplicaciones con el microcontrolador STM32F429ZI. Este microcontrolador pertenece a la familia STM32F4 y está basado en un núcleo ARM Cortex-M4 de alto rendimiento con unidad de punto flotante (FPU), ideal para tareas que requieren procesamiento intensivo y control en tiempo real.



Figura 1: STM32F429 Discovery board

Características generales de la placa:

■ Microcontrolador principal

- Modelo: STM32F429ZI
- Arquitectura: ARM Cortex-M4 de 32 bits
- Frecuencia de operación: Hasta 180 MHz
- Memoria interna:
 - 2 MB de Flash
 - 256 KB de SRAM
- Unidad de punto flotante (FPU): Incluida, útil para cálculos matemáticos complejos

■ Pantalla y capacidades gráficas

- Pantalla LCD TFT de 2.4 pulgadas a color (QVGA, 320x240)
- Pantalla táctil resistiva
- Controlador gráfico Chrom-ART Accelerator™ (DMA2D), para renderizado rápido de gráficos
- Conectividad y periféricos
 - Interfaces de comunicación:
 - USB OTG (On-The-Go)
 - USART, UART
 - SPI
 - I2C
 - CAN
 - Sensor MEMS integrado:
 - Acelerómetro LIS3DSH, útil para detectar movimiento o vibraciones
 - LEDs y botones:
 - LEDs de usuario y de estado
 - Botón de usuario y botón de reinicio (RESET)
- Expansión y depuración
 - ST-LINK/V2-1 integrado:
 - Programación y depuración sin necesidad de hardware adicional
 - Conectores de expansión:
 - Pines accesibles tipo Arduino para conectar módulos adicionales o shields
 - GPIOs: Amplia cantidad de pines digitales y analógicos disponibles para uso general
- Alimentación
 - Vía USB mini-B o por fuente externa (típicamente 5V)
 - Reguladores integrados para suministrar 3.3V al microcontrolador y periféricos

2.1.1. Diagrama de pines

2.1.2. Descripción de pines

2.1.3. Diagrama de bloques

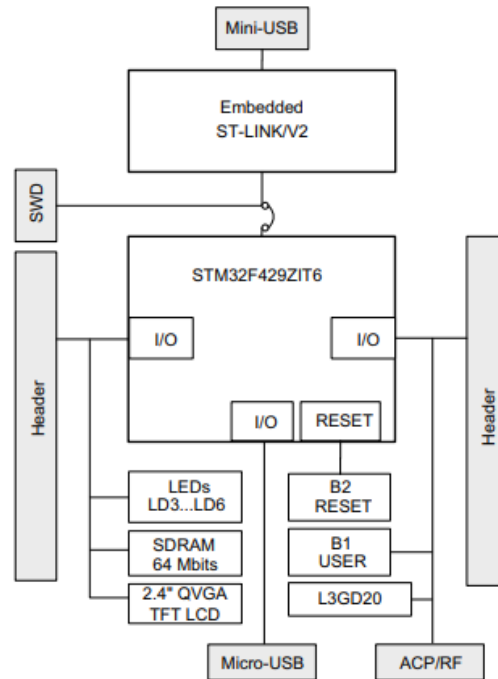


Figura 2: Hardware block diagram

2.1.4. Características eléctricas

2.2. Microcontrolador STM32F429ZIT6

El STM32F429ZIT6 es un microcontrolador de alto rendimiento de la serie STM32F4 de STMicroelectronics, basado en la arquitectura ARM Cortex-M4. Está diseñado para aplicaciones embebidas que requieren gran capacidad de procesamiento, gráficos, comunicaciones avanzadas y control en tiempo real. Es especialmente popular en sistemas que combinan procesamiento digital de señales con interfaces gráficas y periféricos complejos.

STM32F429ZIT6



Figura 3: STM32F429ZIT6 package

Características generales del STM32F429ZIT6:

- Arquitectura y rendimiento
 - Núcleo: ARM Cortex-M4 de 32 bits con FPU (Unidad de Punto Flotante)
 - Frecuencia máxima: 180 MHz
 - Ciclo de instrucción: 225 DMIPS (Dhrystone MIPS)
 - Unidad DSP (Digital Signal Processing): Instrucciones SIMD y saturación aritmética
- Memoria
 - Memoria Flash interna: 2 MB
 - SRAM interna: 256 KB (dividida en diferentes bloques para acceso rápido y compartido)
 - Memoria externa: Soporte para interfaces como FSMC para memorias SRAM, NOR, NAND, SDRAM
- Periféricos
 - ADC: Tres ADCs de 12 bits (hasta 24 canales y 2.4 MSPS)
 - DAC: Dos canales DAC de 12 bits
 - Timers: Hasta 17 temporizadores (PWM, Input Capture, Output Compare, Encoder interface)
 - RTC (Reloj en tiempo real): Con alimentación independiente y soporte para backup
- Interfaces de comunicación
 - USART / UART: Hasta 6

- SPI / I2S: Hasta 3 SPI y 3 I2S
- I2C: Tres interfaces
- CAN: Dos controladores CAN 2.0B
- USB: USB OTG FS y OTG HS (con PHY externo)
- SDIO: Para tarjetas SD/MMC
- Ethernet: MAC 10/100 con soporte IEEE 1588 (requiere PHY externo)
- Capacidades gráficas
 - Controlador gráfico Chrom-ART Accelerator™ (DMA2D)
 - Controlador LTDC (LCD-TFT Display Controller): Para pantallas externas RGB
- GPIO y funciones adicionales
 - Número de pines GPIO: Hasta 140 pines de propósito general (dependiendo del encapsulado)
 - Interrupciones externas: Hasta 16 líneas EXTI
 - Encapsulado: LQFP-144 (el "Z.^{en} el nombre indica 144 pines)
- Consumo y operación
 - Voltaje de operación: 1.8V a 3.6V
 - Modos de bajo consumo: Sleep, Stop, Standby
 - Temperatura de operación: -40 °C a +105 °C (grado industrial)

2.2.1. Diagrama de pines

2.2.2. Descripción de pines

2.2.3. Diagrama de bloques

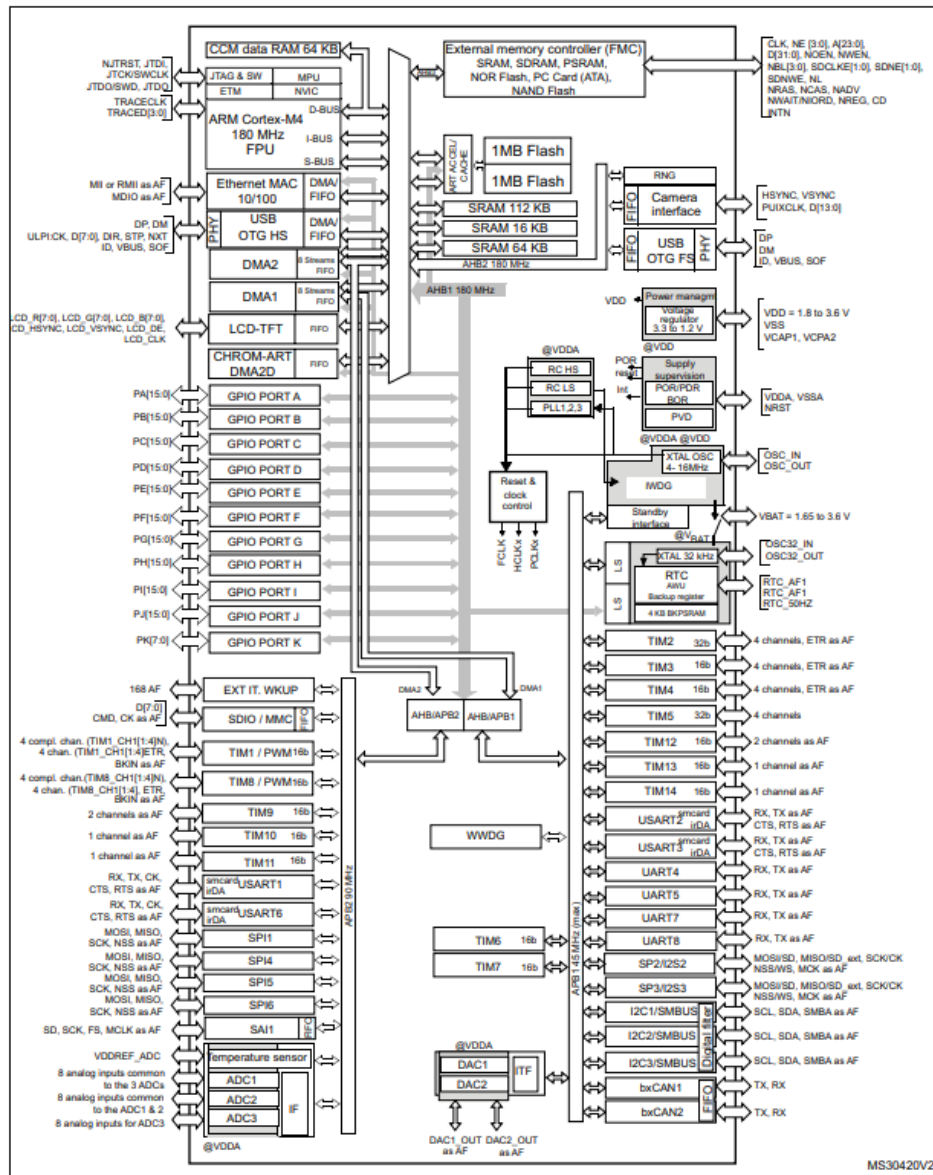


Figura 4: STM32F429ZIT6 block diagram

2.2.4. Características eléctricas

2.3. Sensor MEMS L3GD20

El L3GD20 es un giroscopio digital de tres ejes fabricado por STMicroelectronics, diseñado para medir la velocidad angular en los ejes X, Y y Z. Este sensor MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) es ampliamente utilizado en sistemas de navegación, estabilización, detección de movimiento y aplicaciones de realidad aumentada, entre otros. Está integrado en la placa STM32F429 Discovery Kit y se comunica mediante una interfaz digital SPI o I2C.

Características generales del L3GD20:

- Medición y rendimiento
 - Tipo de sensor: Giroscopio MEMS de 3 ejes
 - Rangos de medición seleccionables: ± 250 , ± 500 , ± 2000 dps (grados por segundo)
 - Resolución de salida: 16 bits (por eje)
 - Sensibilidad típica:
 - ± 250 dps \rightarrow 8.75 mdps/LSB
 - ± 500 dps \rightarrow 17.5 mdps/LSB
 - ± 2000 dps \rightarrow 70 mdps/LSB
- Interfaces de comunicación
 - Digital: SPI (hasta 10 MHz) o I2C (hasta 400 kHz)
 - Interfaz seleccionable por hardware o software
- Rendimiento dinámico
 - Tasa de datos de salida (ODR): Hasta 800 Hz
 - Filtros:
 - Filtro paso bajo digital configurable
 - Filtro paso alto interno para reducción de ruido en ciertas aplicaciones
 - Ruido angular típico: 0.03 dps/Hz
 - Desviación de offset: < 10 dps
- Características eléctricas
 - Voltaje de operación: 2.4V – 3.6V
 - Consumo típico: 6.1 mA en modo activo, < 5 μ A en modo de suspensión
 - Modo de bajo consumo: Incluido, con reinicio rápido
- Funciones integradas
 - Interrupciones programables: Por umbral de velocidad angular, actividad/inactividad, FIFO lleno, etc.
 - FIFO: Buffer interno de 32 niveles para reducción de carga en el microcontrolador

- Detección de eventos: Movimiento, giros rápidos, etc.
- Encapsulado y montaje
 - Encapsulado: LGA-16 (4x4x1 mm)
 - Montaje: Superficie (SMT)

2.3.1. Diagrama de pines

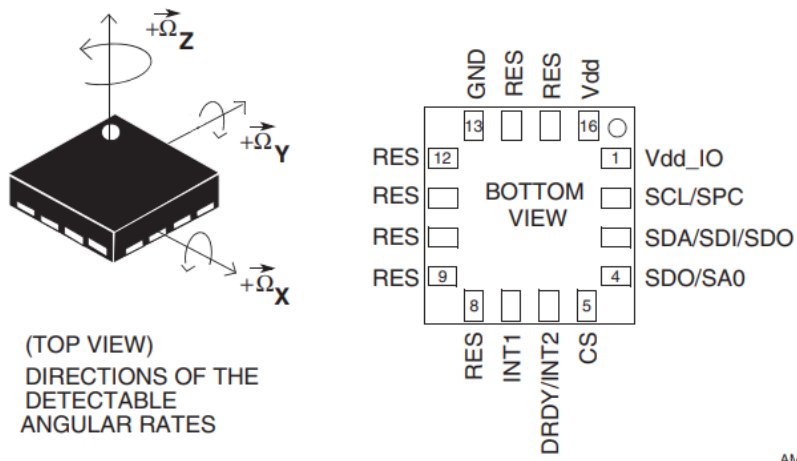


Figura 5: Pin connection

2.3.2. Descripción de pines

Pin#	Name	Function
1	Vdd_IO ⁽¹⁾	Power supply for I/O pins
2	SCL SPC	I ² C serial clock (SCL) SPI serial port clock (SPC)
3	SDA SDI SDO	I ² C serial data (SDA) SPI serial data input (SDI) 3-wire interface serial data output (SDO)
4	SDO SA0	SPI serial data output (SDO) I ² C less significant bit of the device address (SA0)
5	CS	I ² C/SPI mode selection (1: SPI idle mode / I ² C communication enabled; 0: SPI communication mode / I ² C disabled)
6	DRDY/INT2	Data ready/FIFO interrupt (Watermark/Overrun/Empty)
7	INT1	Programmable interrupt
8	Reserved	Connect to GND
9	Reserved	Connect to GND
10	Reserved	Connect to GND
11	Reserved	Connect to GND
12	Reserved	Connect to GND
13	GND	0 V supply
14	Reserved	Connect to GND with ceramic capacitor ⁽²⁾
15	Reserved	Connect to Vdd
16	Vdd ⁽³⁾	Power supply

1. 100 nF filter capacitor recommended.

2. 1 nF min value must be guaranteed under 11 V bias condition.

3. 100 nF plus 10 μ F capacitors recommended.

Figura 6: Pin description

2.3.3. Diagrama de bloques

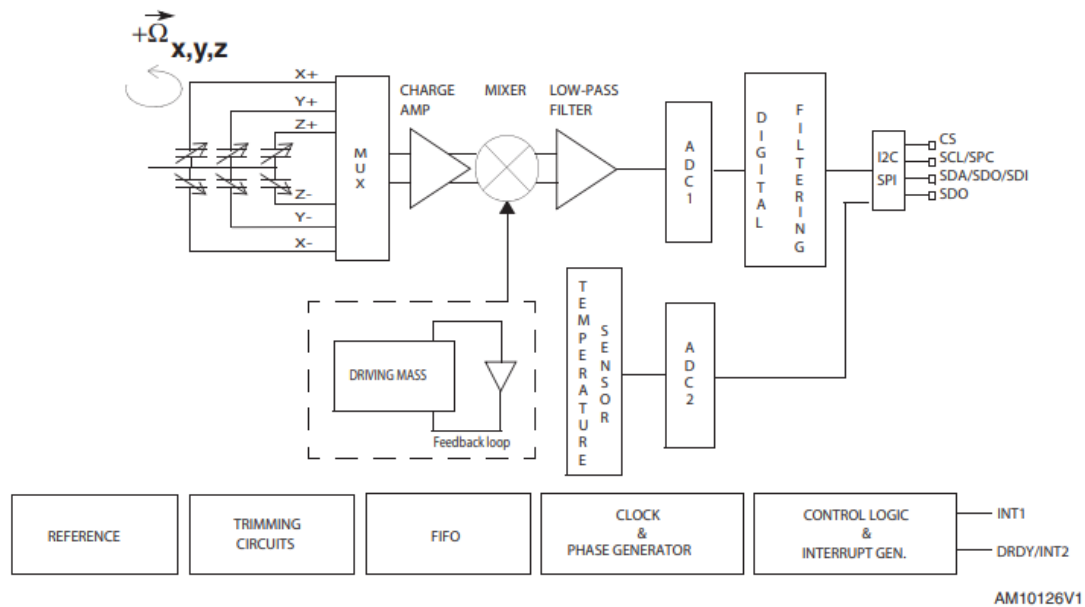


Figura 7: Block diagram

2.3.4. Características eléctricas

@ V_{dd} =3.0 V, T=25 °C unless otherwise noted.

Table 5. Electrical characteristics ⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Unit
Vdd	Supply voltage		2.4	3.0	3.6	V
Vdd_IO	I/O pins supply voltage ⁽³⁾		1.71		Vdd+0.1	V
Idd	Supply current			6.1		mA
IddSL	Supply current in sleep mode ⁽⁴⁾	Selectable by digital interface		2		mA
IddPdn	Supply current in power-down mode	Selectable by digital interface		5		μA
VIH	Digital high level input voltage		0.8*Vdd_I O			V
VIL	Digital low level input voltage				0.2*Vdd_I O	V
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. The product is factory calibrated at 3.0 V.
2. Typical specifications are not guaranteed.
3. It is possible to remove Vdd maintaining Vdd_IO without blocking the communication busses; in this condition the measurement chain is powered off.
4. Sleep mode introduces a faster turn-on time relative to power-down mode.

Figura 8: Electrical characteristics

Symbol	Ratings	Maximum value	Unit
V _{dd}	Supply voltage	-0.3 to 4.8	V
T _{STG}	Storage temperature range	-40 to +125	°C
S _g	Acceleration g for 0.1 ms	10,000	g
ESD	Electrostatic discharge protection	2 (HBM)	kV
		1.5 (CDM)	kV
		200 (MM)	V
V _{in}	Input voltage on any control pin (CS, SCL/SPC, SDA/SDI/SDO, SDO/SA0)	-0.3 to V _{dd_IO} +0.3	V

Note: Supply voltage on any pin should never exceed 4.8 V



This is a mechanical shock sensitive device, improper handling can cause permanent damage to the part



This is an ESD sensitive device, improper handling can cause permanent damage to the part

Figura 9: Absolute maximum ratings

2.3.5. Registros

Name	Type	Register address		Default
		Hex	Binary	
Reserved	-	00-0E	-	-
WHO_AM_I	r	0F	000 1111	11010100
Reserved	-	10-1F	-	-
CTRL_REG1	rw	20	010 0000	00000111
CTRL_REG2	rw	21	010 0001	00000000
CTRL_REG3	rw	22	010 0010	00000000
CTRL_REG4	rw	23	010 0011	00000000
CTRL_REG5	rw	24	010 0100	00000000
REFERENCE	rw	25	010 0101	00000000
OUT_TEMP	r	26	010 0110	output
STATUS_REG	r	27	010 0111	output
OUT_X_L	r	28	010 1000	output
OUT_X_H	r	29	010 1001	output
OUT_Y_L	r	2A	010 1010	output
OUT_Y_H	r	2B	010 1011	output
OUT_Z_L	r	2C	010 1100	output
OUT_Z_H	r	2D	010 1101	output
FIFO_CTRL_REG	rw	2E	010 1110	00000000
FIFO_SRC_REG	r	2F	010 1111	output
INT1_CFG	rw	30	011 0000	00000000
INT1_SRC	r	31	011 0001	output
INT1_TSH_XH	rw	32	011 0010	00000000
INT1_TSH_XL	rw	33	011 0011	00000000
INT1_TSH_YH	rw	34	011 0100	00000000
INT1_TSH_YL	rw	35	011 0101	00000000
INT1_TSH_ZH	rw	36	011 0110	00000000
INT1_TSH_ZL	rw	37	011 0111	00000000
INT1_DURATION	rw	38	011 1000	00000000

Figura 10: Register address map

2.4. Pantalla LCD/TFT ILI9341

La pantalla LCD/TFT usada en la placa STM32F429 Discovery Kit está basada en el controlador gráfico ILI9341, un controlador popular fabricado por Ilitek para pantallas a color tipo TFT (Thin-Film Transistor). Esta pantalla ofrece una interfaz visual sencilla y versátil para sistemas embebidos, ideal para mostrar texto, gráficos, interfaces gráficas de usuario (GUI), datos de sensores, etc.

Características generales de la pantalla con ILI9341

- Pantalla
 - Tipo: TFT LCD (Thin-Film Transistor Liquid Crystal Display)
 - Tamaño: 2.4 pulgadas (en la STM32F429-DISC1)
 - Resolución: 240 x 320 píxeles (QVGA)
 - Color: 65,536 colores (modo RGB565 – 16 bits)
 - Orientación: Vertical u horizontal (configurable por software)
 - Retroiluminación: LED blanca, controlable desde el microcontrolador
- Controlador gráfico ILI9341
 - Color por píxel: 16 bits (5 bits rojo, 6 bits verde, 5 bits azul – formato RGB565)
 - RAM interna: 172.8 KB de GRAM para almacenamiento de imagen
 - Funciones integradas:
 - Scroll vertical
 - Rotación de imagen
 - Inversión de color
 - Sleep mode / Standby
 - Control de brillo por software (mediante PWM externo)
 - Velocidad de actualización: Hasta 60 FPS (dependiendo del bus y configuración)
- Interfaz de comunicación
 - Soporte para múltiples interfaces:
 - SPI (Serial Peripheral Interface)
 - 8080/6800 parallel (8/16 bits)
 - MIPI DSI (en otras variantes)
 - En la STM32F429 Discovery, la pantalla está conectada mediante una interfaz paralela FSMC o controlada por el LTDC (LCD-TFT Display Controller) del microcontrolador.
- Voltaje y consumo
 - Voltaje típico: 2.8V a 3.3V
 - Consumo: 5-10 mA (sin retroiluminación), hasta 40 mA con retroiluminación

2.4.1. Diagrama de pines

2.4.2. Descripción de pines

Power Supply Pins			
Pin Name	I/O	Type	Descriptions
VDDI	I	P	Low voltage power supply for interface logic circuits (1.65 ~ 3.3 V)
VDDI_LED	I		Power supply for LED driver interface. (1.65 ~ 3.3 V) If LED driver is not used, fix this pin at VDDI.
VCI	I	Analog Power	High voltage power supply for analog circuit blocks (2.5 ~ 3.3 V)
Vcore	O	Digital Power	Regulated Low voltage level for interface circuits Connect a capacitor for stabilization. Don't apply any external power to this pad
VSS3	I	I/O Ground	System ground level for I/O circuits.
VSS	I	Digital Ground	System ground level for logic blocks
VSSA	I	Analog Ground	System ground level for analog circuit blocks Connect to VSS on the FPC to prevent noise.
VSSC	I	Analog Ground	System ground level for analog circuit blocks Connect to VSS on the FPC to prevent noise

Interface Logic Signals										
Pin Name	I/O	Type	Descriptions							
IM[3:0]	I	(VDDI/VSS)	- Select the MCU interface mode							
			IM3	IM2	IM1	IM0	MCU-Interface Mode	DB Pin in use		
								Register/Content	GRAM	
			0	0	0	0	80 MCU 8-bit bus interface I	D[7:0]	D[7:0]	
			0	0	0	1	80 MCU 16-bit bus interface I	D[7:0]	D[15:0]	
			0	0	1	0	80 MCU 9-bit bus interface I	D[7:0]	D[8:0]	
			0	0	1	1	80 MCU 18-bit bus interface I	D[7:0]	D[17:0]	
			0	1	0	1	3-wire 9-bit data serial interface I	SDA: In/OUT		
			0	1	1	0	4-wire 8-bit data serial interface I	SDA: In/OUT		
			1	0	0	0	80 MCU 16-bit bus interface II	D[8:1]	D[17:10], D[8:1]	
			1	0	0	1	80 MCU 8-bit bus interface II	D[17:10]	D[17:10]	
			1	0	1	0	80 MCU 18-bit bus interface II	D[8:1]	D[17:0]	
			1	0	1	1	80 MCU 9-bit bus interface II	D[17:10]	D[17:9]	
			1	1	0	1	3-wire 9-bit data serial interface II	SDI: In SDO: Out		
			1	1	1	0	4-wire 8-bit data serial interface II	SDI: In SDO: Out		
			MPU Parallel interface bus and serial interface select							
			If use RGB Interface must select serial interface.							
* : Fix this pin at VDDI or VSS.										

Figura 11

RESX	I	MCU (VDDI/VSS)	This signal will reset the device and must be applied to properly initialize the chip. Signal is active low.
EXTC	I	MCU (VDDI/VSS)	Extended command set enable. Low: extended command set is discarded. High: extended command set is accepted. Please connect EXTC to VDDI to read/write extended registers (RB0h~RCFh, RE0h~RFFh)
CSX	I	MCU (VDDI/VSS)	Chip select input pin ("Low" enable). This pin can be permanently fixed "Low" in MPU interface mode only. * note1,2
D/CX (SCL)	I	MCU (VDDI/VSS)	This pin is used to select "Data or Command" in the parallel interface or 4-wire 8-bit serial data interface. When DCX = '1', data is selected. When DCX = '0', command is selected. This pin is used serial interface clock in 3-wire 9-bit / 4-wire 8-bit serial data interface. <i>If not used, this pin should be connected to VDDI or VSS.</i>
RDX	I	MCU (VDDI/VSS)	8080- I /8080- II system (RDX): Serves as a read signal and MCU read data at the rising edge. <i>Fix to VDDI level when not in use.</i>
WRX (D/CX)	I	MCU (VDDI/VSS)	- 8080- I /8080- II system (WRX): Serves as a write signal and writes data at the rising edge. - 4-line system (D/CX): Serves as command or parameter select. <i>Fix to VDDI level when not in use.</i>
D[17:0]	I/O	MCU (VDDI/VSS)	18-bit parallel bi-directional data bus for MCU system and RGB interface mode <i>Fix to VSS level when not in use</i>
SDI/SDA	I/O	MCU (VDDI/VSS)	When IM[3] : Low, Serial in/out signal. When IM[3] : High, Serial input signal. The data is applied on the rising edge of the SCL signal. <i>If not used, fix this pin at VDDI or VSS.</i>
SDO	O	MCU (VDDI/VSS)	Serial output signal. The data is outputted on the falling edge of the SCL signal. <i>If not used, open this pin</i>
TE	O	MCU (VDDI/VSS)	Tearing effect output pin to synchronize MPU to frame writing, activated by S/W command. When this pin is not activated, this pin is low. <i>If not used, open this pin.</i>
DOTCLK	I	MCU (VDDI/VSS)	Dot clock signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>
VSYSN	I	MCU (VDDI/VSS)	Frame synchronizing signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>
HSYSN	I	MCU (VDDI/VSS)	Line synchronizing signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>
DE	I	MCU (VDDI/VSS)	Data enable signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>

Figura 12

LCD Driver Input/Output Pins			
Pin Name	I/O	Type	Descriptions
S720~S1	O	Source	Source output signals.. <i>Leave the pin to open when not in use.</i>
G320~G1	O	Gate	Gate output signals.. <i>Leave the pin to open when not in use.</i>
DDVDH	O	Power Stabilizing capacitor	Output voltage of 1st step up circuit (2 x VCI). Input voltage to 2nd step up circuit. Generated power output pad for source driver block. Connect this pad to the capacitor for stabilization.
VGH	O	Power Stabilizing capacitor	Power supply for the gate driver. Adjust the VGH level with the BT[2:0] bits. Connect this pad with a stabilizing capacitor.
VGL	O	Power Stabilizing capacitor	Power supply for the gate driver. Adjust the VGL level with the BT[2:0] bits. Connect this pad with a stabilizing capacitor.
VCL	O	Power Stabilizing capacitor	Power supply for VCOML. VCL = 0 ~ - VCI. Connect this pad with a stabilizing capacitor.
C11P, C11M C12P, C12M	P	Stabilizing capacitor	Connect the charge-pumping capacitor for generating DDVDH level.
C21P, C21M C22P, C22M	P	Stabilizing capacitor	Connect the charge-pumping capacitor for generating VGH, VGL level.
GVDD	O		High reference voltage for grayscale voltage generator. Internal register can be used to adjust the voltage.
VCOM	O		Power supply pad for the TFT- display counter electrode. Charge recycling method is used with VCI and VSSA voltage. Connect this pad to the TFT-display counter electrode.
LEDPWM	O		Output pin for PWM (Pulse Width Modulation) signal of LED driving. If not used, open this pad.
LEDON	O		Output pin for enabling LED driving. If not used, open this pad.

Test Pins			
Pin Name	I/O	Type	Descriptions
DUMMY	-	Open	Input pads used only for test purpose at IC-side. During normal operation, leave these pads open.
INT_TEST1 INT_TEST2	-	Open	Input pads used only for test purpose at IC-side. During normal operation, leave these pads open.

Figura 13

Liquid crystal power supply specifications Table

No.	Item	Description
1	TFT Source Driver	720 pins (240 x RGB)
2	TFT Gate Driver	320 pins
3	TFT Display's Capacitor Structure	Cst structure only (Cs on Common)
4	Liquid Crystal Drive Output	S1 ~ S720 V0 ~ V63 grayscales
		G1 ~ G320 VGH - VGL
		VCOM VCOMH - VCOML: Amplitude = electronic volumes
5	Input Voltage	VDDI 1.65V ~ 3.30V
		VCI 2.50V ~ 3.30V
6	Liquid Crystal Drive Voltages	DDVDH 4.5V ~ 5.8V
		VGH 10.0V ~ 18.0V
		VGL -5.0V ~ -10.0V
		VCL -1.5V ~ -2.5V
		VGH - VGL Max. 28.0V
7	Internal Step-up Circuits	DDVDH VCI x2,
		VGH VCI x6, x7
		VGL VCI x-3, x-4,
		VCL VCI x-1

Figura 14

2.4.3. Diagrama de bloques

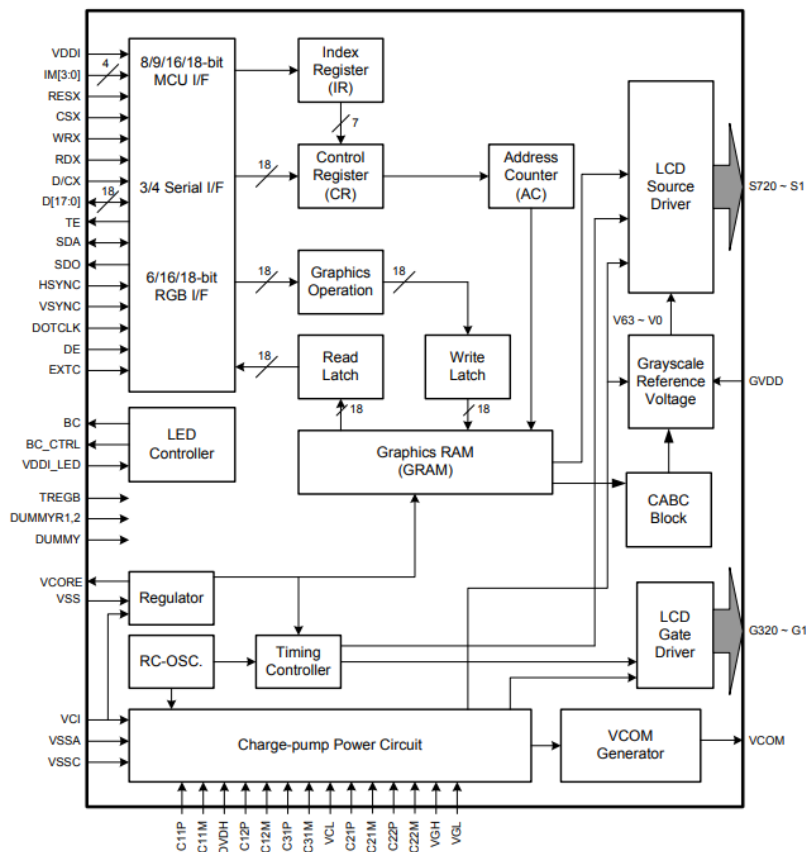


Figura 15: Block Diagram

2.4.4. Características eléctricas

Item	Symbol	Unit	Value
Supply voltage	VCI	V	-0.3 ~ +4.6
Supply voltage (Logic)	VDDI	V	-0.3 ~ +4.6
Supply voltage (Digital)	VCORE	V	-0.3 ~ +2.0
Driver supply voltage	VGH-VGL	V	-0.3 ~ +28.0
Logic input voltage range	VIN	V	-0.3 ~ VDDI + 0.3
Logic output voltage range	VO	V	-0.3 ~ VDDI + 0.3
Operating temperature	Topr	℃	-40 ~ +85
Storage temperature	Tstg	℃	-55 ~ +110

Note: If the absolute maximum rating of even is one of the above parameters is exceeded even momentarily, the quality of the product may be degraded. Absolute maximum ratings, therefore, specify the values exceeding which the product may be physically damaged. Be sure to use the product within the range of the absolute maximum ratings.

Figura 16: Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Unit	Condition	Min.	Typ.	Max.	Note
Power and Operation Voltage							
Analog Operating Voltage	VCI	V	Operating voltage	2.5	2.8	3.3	Note2
Logic Operating Voltage	VDDI	V	I/O supply voltage	1.65	2.8	3.3	Note2
Digital Operating voltage	VCORE	V	Digital supply voltage	-	1.5	-	Note2
Gate Driver High Voltage	VGH	V	-	10.0	-	18.0	Note3
Gate Driver Low Voltage	VGL	V	-	-10.0	-	-5.0	Note3
Driver Supply Voltage	-	V	VGH-VGL	15	-	28	Note3
Current consumption during standby mode	I _{ST}	μA	VCI=2.8V , Ta=25 °C	-	-	100	-
Input and Output							
Logic High Level Input Voltage	VIH	V	-	0.7*VDDI	-	VDDI	Note1,2,3
Logic Low Level Input Voltage	VIL	V	-	VSS	-	0.3*VDDI	Note1,2,3
Logic High Level Output Voltage	VOH	V	IOL=-1.0mA	0.8*VDDI	-	VDDI	Note1,2,3
Logic Low Level Output Voltage	VOL	V	IOL=1.0mA	VSS	-	0.2*VDDI	Note1,2,3
Logic High Level Input Current	IIH	μA	-	-	-	1	Note1,2,3
Logic Low Level input Current	IIL	μA	-	-1	-	-	Note1,2,3
Logic Input Leakage Current	ILEA	μA	VIN=VDDI or VSS	-0.1	-	+0.1	Note1,2,3
VCOM Operation							
VCOM High Voltage	VCOMH	V	Ccom=12nF	2.5	-	5.0	Note3
VCOM Low Voltage	VCOML	V	Ccom=12nF	-2.5	-	0.0	Note3
VCOM Amplitude Voltage	VCOMA	V	VCOMH-VCOML	4.0	-	5.5	Note3
Source Driver							
Source Output Range	Vsout	V	-	0.1	-	DDVDH-0.1	Note4
Gamma Reference Voltage	GVDD	V	-	3.0	-	5.0	Note3
Output Deviation Voltage (Source Output channel)	Vdev	mV	Sout>=4.2V Sout<=0.8V	-	-	20	Note4
			4.2V>Sout>0.8V	-	-	15	-
Output Offset Voltage	VOFSET	mV	-	-	-	35	Note7
Booster Operation							
1 st Booster (VC1x2) Voltage	DDVDH	V	-	4.95 (Note 5)	-	5.8 (Note 6)	Note3
1 st Booster (VC1x2) Drop Voltage	VC1x2 drop	%	loading=1mA	-	-	5	Note3
Liner Range	Vliner	V	-	0.2	-	DDVDH-0.2	

Figura 17: General DC Characteristics

2.5. Biblioteca LibOpenCM3

La biblioteca **LibOpenCM3** es una biblioteca de código abierto desarrollada para facilitar el acceso y control de periféricos en microcontroladores basados en la arquitectura ARM Cortex-M. Está escrita en lenguaje C y sigue un enfoque de bajo nivel, pero ofrece una capa de abstracción estandarizada que simplifica el desarrollo de firmware sin depender de bibliotecas propietarias como las de los fabricantes (por ejemplo, STM32 HAL o STM32Cube).

Su diseño modular, portátil y transparente la hace especialmente atractiva para proyectos educativos, de investigación, o para desarrolladores que desean tener un control total sobre el hardware y el código generado.

Características principales

- Compatibilidad con múltiples familias de microcontroladores:
 - STM32 (F0, F1, F2, F3, F4, F7, L0, L1, L4)
 - LPC, EFM32, GD32, entre otros Cortex-M
 - Totalmente compatible con la familia STM32F429 (usada en la STM32F429 Discovery Kit)
- Código abierto y comunitario
 - Licencia: LGPL v3 (permite uso comercial bajo condiciones)
 - Comunidad activa y disponible en GitHub
 - Puede ser auditada, modificada y optimizada fácilmente
- Acceso directo al hardware
 - Cada periférico se maneja por medio de registros mapeados en memoria
 - Las funciones son explícitas y transparentes (por ejemplo, `gpio_set`, `timer_set_prescaler`, `usart_send_blocking`, etc.)
- Documentación en código
 - Los archivos fuente están ampliamente comentados
 - La estructura modular permite aprender cómo funciona cada periférico internamente

2.6. Comunicación UART/USART

La comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) y su variante USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver-Transmitter) son interfaces de comunicación serie ampliamente utilizadas en sistemas embebidos. Teóricamente, UART permite la transmisión de datos entre dispositivos mediante un protocolo asíncrono, en el que no se necesita una señal de reloj compartida. USART, en cambio, puede operar tanto de forma asíncrona como sincrónica, integrando un reloj externo si se requiere. Estos protocolos son fundamentales para la transmisión eficiente de datos con bajo costo en términos de hardware y recursos, especialmente útiles para tareas como la depuración, el monitoreo de sensores o la conexión con módulos externos (como Bluetooth, GPS o WiFi). Su simplicidad conceptual los hace esenciales en la base de cualquier sistema de comunicación embebido.

2.7. Protocolo de Comunicación SPI (Serial Peripheral Interface)

El SPI (Serial Peripheral Interface) es un protocolo de comunicación sincrónica que permite la transferencia rápida de datos entre un maestro y uno o varios dispositivos esclavos. Desde un punto de vista teórico, SPI se caracteriza por ser full-duplex y utilizar múltiples líneas (MOSI, MISO, SCK y SS) para establecer una conexión determinística y eficiente. Su estructura de comunicación basada en relojes compartidos lo convierte en una solución ideal para la interacción con periféricos de alta velocidad como memorias flash, sensores, pantallas LCD, entre otros. El modelo maestro-esclavo en SPI refleja una arquitectura jerárquica que, aunque simple, requiere una configuración precisa del hardware para garantizar una transmisión confiable.

2.7.1. SPI read

2.7.2. SPI write

2.8. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT es un protocolo de mensajería ligero basado en el modelo de publicación/suscripción, diseñado específicamente para comunicaciones eficientes en redes con recursos limitados, como ocurre en entornos de IoT (Internet of Things). Desde el punto de vista teórico, MQTT optimiza el uso del ancho de banda y la energía, y está estructurado sobre TCP/IP, lo que garantiza fiabilidad en la entrega de mensajes. Se organiza en torno a tres actores: el cliente publicador, el cliente suscriptor y el broker, que actúa como intermediario central en la distribución de los mensajes. Este protocolo permite desacoplar los emisores y receptores de información, favoreciendo escalabilidad, modularidad y resiliencia en sistemas distribuidos.

2.9. Internet de las Cosas (IoT)

El concepto de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se refiere a la interconexión digital de dispositivos físicos que recopilan, procesan y comparten datos a través de redes. En el plano teórico, IoT representa una extensión del paradigma de la computación ubicua, donde objetos cotidianos adquieren capacidades sensoriales y comunicativas para integrarse en sistemas inteligentes. Los dispositivos IoT suelen estar limitados en potencia de procesamiento, memoria y energía, por lo que se diseñan arquitecturas ligeras y eficientes. Estos sistemas emplean tecnologías como sensores MEMS, comunicación inalámbrica, protocolos como MQTT, y plataformas en la nube para ofrecer servicios como monitoreo remoto, automatización, mantenimiento predictivo, entre otros. El IoT plantea desafíos conceptuales en áreas como seguridad, interoperabilidad, gestión de datos y escalabilidad, lo que lo convierte en un campo de investigación multidisciplinario y en constante evolución.

2.10. Diseño del circuito

A continuación se presenta el diseño final del circuito:

2.10.1. Lista de componentes

2.10.2. Información adicional

IoT

Convertidor Analógico-Digital (ADC)

3. Desarrollo

3.1. Análisis del firmware

3.1.1. Diagrama de flujo del programa

3.1.2. Firmware

3.2. Análisis electrónico

3.2.1. Batería

3.3. Análisis de resultados

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

4.2. Recomendaciones

Bibliografía

1. Material de clase

5. Apéndices

5.1. Repositorio Git

Repositorio GitHub: https://github.com/Rossetas/MCU_Lab4