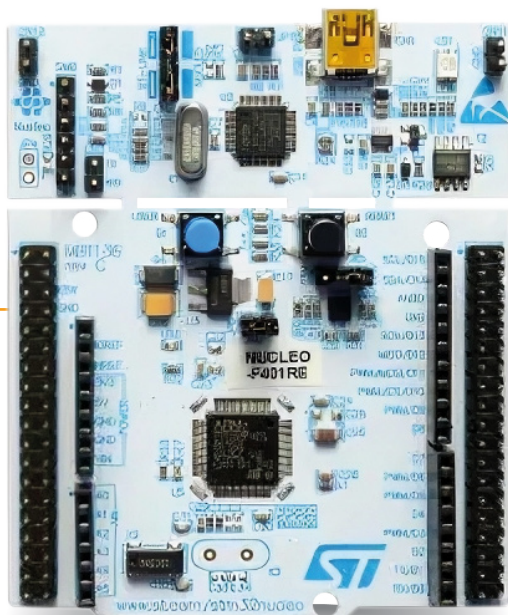


PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES CORTEX-M4 CON MBED

CON EJEMPLOS PRÁCTICOS



**Editorial
Unillanos**

**CÉSAR AUGUSTO ROMERO MOLANO / FRAN YÓBER GARZÓN MENDOZA
CARLOS ARTURO BELTRÁN CASTRO**

PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES CORTEX-M4 CON MBED

**Editorial
Unillanos**



Romero, César Augusto

**Programación de Microcontroladores Cortex - M con MBED / César Augusto Romero,
Fran Yober Garzón Mendoza y Carlos Arturo Beltrán Castro.**

Primera edición. Villavicencio: Editorial Universidad de los Llanos, 2026.

104 páginas: gráficas, tablas, diagramas; 27 cm.

ISBN: 978-628-7717-11-4

ISBN Digital: 978-628-7717-12-1

Incluye bibliografía.

Microcontroladores. 2. Programación (Microcontroladores)

CDD 04.16 edición 22

Catalogación en la fuente – Universidad de los Llanos. Sistema de Bibliotecas

Primera edición 2026

Programación de Microcontroladores Cortex - M con MBED

© César Augusto Romero Molano  <https://orcid.org/0000-0001-9797-0115>

© Fran Yober Garzón Mendoza.  <https://orcid.org/0009-0006-6004-017X>

© Carlos Arturo Beltrán Castro.  <https://orcid.org/0009-0000-0624-7520>

© **Universidad de los Llanos**

Coordinación editorial: Ana María Lombana Gracia

Diseño de portada y diagramación: Sergio Espinosa Gómez

Corrección de estilo: Metabiblioteca

Editorial Unillanos

Calle 37 # 41-02 Barzal - Sede San Antonio

editorialunillanos@unillanos.edu.co

www.editorial.unillanos.edu.co

Villavicencio, Meta

Impresión

359 Estudio Creativo - Villavicencio - Meta

Descargo de responsabilidad: la información contenida en este libro es producto del autor y por consiguiente no compromete la posición de la Universidad de los Llanos. Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio, formato o propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Unillanos.

PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES CORTEX-M4 CON MBED

César Augusto Romero Molano, Esp. Ing.

Docente Escuela de Ingeniería Universidad de los Llanos

Fran Yober Garzón Mendoza

Ingeniero electrónico

Carlos Arturo Beltrán Castro

Estudiante y miembro del grupo de investigación GITECX

PREFACIO

Este libro nace de la necesidad de ofrecer a los estudiantes de tecnología e ingeniería una guía práctica para dominar la programación de microcontroladores Cortex-M4 utilizando el entorno Mbed OS. Su enfoque es aprender haciendo: cada concepto teórico se acompaña de ejemplos funcionales, montajes electrónicos y códigos probados en la tarjeta Nucleo-F401RE.

Objetivos del libro

- Facilitar el aprendizaje autónomo mediante proyectos progresivos, desde entradas y salidas básicas hasta sistemas con RTOS.
- Proporcionar material didáctico aplicable a problemas reales en áreas como la robótica, automatización y en Internet de las cosas.
- Fomentar la experimentación mediante el uso de códigos modulares fácilmente adaptables a nuevos contextos de aplicación.

Guía de lectura

Este libro está diseñado para acompañar paso a paso el proceso de aprendizaje. Según el perfil, se tienen las siguientes recomendaciones:

Para estudiantes:

- Avanzar capítulo por capítulo, realizando los montajes sugeridos y ejecutando los ejemplos de código.
- Experimentar modificando los códigos proporcionados para entender el impacto de los cambios y afianzar los conceptos.

Para docentes:

- Utilizar los capítulos como base para clases teóricas o laboratorios prácticos.
- Los montajes y ejemplos pueden adaptarse como retos individuales o en grupo.
- Se puede integrar actividades de evaluación a partir de los ejercicios propuestos y ampliarlos con nuevas funcionalidades.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	13
1.1.	Tipos de datos	13
1.2.	Especificadores de almacenamiento	14
1.3.	Introducción a Nucleo-F401RE	15
1.4.	Keil Studio	17
1.4.1.	Pasos para crear un proyecto y programar la Nucleo-F401RE	17
2.	Entrada y salida digital.....	22
2.1.	Lectura de un botón para mostrar el problema de los rebotes	23
2.1.1.	Introducción	23
2.1.2.	¿Qué son los rebotes en un botón?	23
2.2.	Enviar datos al bus de salida (Pines micro) e impresión en el Puerto serial	26
2.3.	Decodificación display siete segmentos	28
2.4.	Contador libre en display siete segmentos de 0 a 9999	31
2.4.1.	Pero ¿Qué son los hilos?	31
2.5.	Función para Presentación de números en el rango 0 a 9999	35
3.	Interrupciones	41
3.1.	Introducción	42
3.2.	Uso de las interrupciones con la librería Mbed	42
3.3.	Resistencia pull down.....	43
3.4.	Resistencia pull up.....	44
3.5.	Flanco de subida y bajada.....	44
4.	Transmisión y recepción de datos seriales.....	48
4.1.	Transmisión de datos seriales.....	50
4.2.	Recepción de un dato serial por el microcontrolador	51
4.3.	Recepción de una cadena de datos seriales por el microcontrolador	52
5.	Entrada analógica.....	56
5.1.	Lectura pin analógico y visualización en puerto serial	57
5.2.	Lectura de sensor LM35.....	59

6.	Timer y modulación por ancho de pulso PWM.....	63
6.1.	Medición del tiempo transcurrido usando timer	65
6.2.	Generación de una señal con periodo 20 ms	67
7.	Display LCD de 16 columnas y dos filas HD44780	70
7.1.	Display LCD HD44780	72
7.2.	Transmisión de caracteres por serial y visualización en LCD HD44780	77
8.	Control de motor de paso unipolar	81
8.1.	Implementación paso completo básico.....	83
8.2.	Implementación paso completo doble.....	84
9.	Sensor Ultrasónico HC-SR04	87
9.1.	Sensor Ultrasónico HC-SR04	88
9.2.	Sensor Ultrasónico HC-SR04 con RTOS	91
10.	Comunicación I2C y SPI.....	94
10.1.	Medición de temperatura usando Max6675, thermocouple-k.....	95
10.2.	Medición de temperatura usando RTOS	97
10.3.	Control por comunicación serial de potenciómetro digital X9C103	98

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Características de cada tipo de dato	14
1.2. Características de los especificadores de almacenamiento	15
3.1. Descripción de métodos para el manejo de interrupciones.....	26
4.1. Descripción de los métodos para la comunicación serie.....	49
5.1. Descripción de métodos para AnalogIn	57
6.1. Descripción de los métodos para PWM	64
7.1. Descripción de los métodos para la librería TextLCD	71
8.1. Diferencias entre paso completo y paso doble.....	82
10.1. Descripción de los métodos para SPI.....	95

ÍNDICE DE CÓDIGOS

2.1 Lectura de botón.....	24
2.2. Enviar datos al bus de salida e impresión en el puerto serial.....	26
2.3. Decodificación de un display 7 segmentos	28
2.4. Contador libre en display 7 segmentos de 0 a 9999	32
2.5. Función para la representación de un número en el rango de 0 a 9999	36
3.1. Lectura de botón usando interrupciones	45
4.1. Transmisión de datos seriales.....	50
4.2. Recepción de un solo dato por el puerto serial	51
4.3. Recepción de una cadena de datos	53
5.1. Lectura de un pin análogo y visualización en el puerto serial	58
5.2. Lectura de temperatura con LM35	60
6.1 Medición del tiempo transcurrido usando temporizador.....	65
6.2. Generación de una señal PWM.....	68
7.1. Cabecera de la librería para LCD.....	72
7.2. Métodos de la librería LCD	74
7.3. Uso de display LCD	76
7.4. Envío y visualización de caracteres por serial	78
8.1. Motor paso completo	83
8.2. Motor paso medio	84
9.1. Lectura de distancia con sensor HC-SR04.....	88
9.2. Lectura de distancia con sensor HC-SR04 usando RTOS	91
10.1. Termocupla	96
10.2. Medición de temperatura usando RTOS	97
10.3. Potenciómetro digital	99

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Nucleo-F401RE.....	16
1.2. Menú de selección general Keil Studio.....	17
1.3. Menú de selección de New en Keil Studio.....	18
1.4. Pasos para crear un proyecto.....	18
1.5. Verificación del proyecto activo	18
1.6. Herramientas de ejecución de código	19
1.7. Selección de tarjeta.....	19
1.8. Carga de archivo ejecutable	20
2.1. Configuración de botón.....	23
2.2. Rebotes osciloscopio.....	25
2.3. Ledes Controlados por DIP-switch.....	26
2.4. Montaje del display 7 segmentos	29
2.5. Montaje de 4 displays 7 segmentos	31
3.1. Configuración botón para Pull down.....	43
3.2. Configuración botón para Pull up.....	44
3.3. Flanco de subida y bajada	44
3.4. Implementación para visualización pulsos botón	46
4.1. Montaje con un módulo bluetooth HC-05	51
5.1. Configuración potenciómetro para entrada analoga	59
5.2. Conexión para el sensor Lm35.....	61
6.1. Uso de la señal PWM para controlar la posición de un servo-motor.....	66
6.2. Pin compatible con PWM	66
6.3. Implementación del servo	67
7.1. Conexiones de la LCD 16X2	77
7.2. Conexiones de la pantalla LCD.....	79
8.1. Motor paso 28BYJ-48 y driver ULN2003.....	84
9.1. Momentos del ultrasónico	90
9.2. Implementación del sensor ultrasónico	90
10.1. Max6675 utilizando una thermocoupla-k.....	97
10.2. Potenciómetro digital X9C103	102