

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LAS AMÉRICAS (ITLA) Carrera de  
Mecatrónica**

**MANUAL DE USUARIO**

**PLC 4 UNI**

**Controlador Lógico Programable Educativo IoT**



**Modelo:** P4U-ESP32-S3-V1 **Revisión del Documento:** 1.0 **Fecha:** Septiembre 2025

**Desarrollado por:** equipo PLC4UNI

## TABLA DE CONTENIDO

- Descripción
- Definiciones, acrónimos y abreviaturas
- Advertencias y precauciones
- Advertencias de Peligro Eléctrico
- Precauciones de Hardware (ESP32)
- Uso Educativo y Limitaciones
- Condiciones Ambientales
- Conexiones
- Características técnicas
- Dimensiones y mecánica
- Solución de problemas (troubleshooting)
- Mantenimiento preventivo
- Disposición final y reciclaje (wEEE)
- Información legal y créditos

## MANUAL DE USO DEL PLC 4 UNI

### 1 DESCRIPCIÓN

El PLC 4 UNI es un controlador lógico programable (PLC) de uso académico y de código abierto, creado bajo la supervisión del Instituto Tecnológico de Las Américas (ITLA). Su propósito es servir como puente entre la automatización industrial tradicional y las nuevas aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT).

En su núcleo integra un microcontrolador ESP32-S3, lo que le proporciona conectividad inalámbrica nativa (Wi-Fi y Bluetooth) y al mismo tiempo la capacidad de trabajar de forma robusta en tareas de control. El equipo permite que estudiantes y profesionales programen empleando lenguajes estándar de automatización (como Ladder y FBD) y trabajen con protocolos industriales modernos (Modbus TCP, MQTT), ofreciendo un entorno didáctico, seguro y accesible para aprender mecatrónica y automatización.

Además, el sistema incorpora funciones avanzadas como medición de consumo eléctrico (energía) e I/O versátiles configurables, por lo que resulta especialmente adecuado para laboratorios de enseñanza y para el desarrollo rápido de prototipos de proyectos inteligentes.

### 2 DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

#### A - C

- ADC (Analog-to-Digital Converter): Conversor Analógico–Digital. Módulo que transforma una señal analógica (por ejemplo, un voltaje continuo) en un valor numérico digital que el microcontrolador puede procesar.
- ADE7953: Circuito integrado de Analog Devices utilizado en el PLC 4

UNI para la medición de parámetros eléctricos como voltaje, corriente y potencia activa, mediante comunicación I2C.

- AI (Analog Input / Entrada Analógica): Entrada que recibe señales de valor continuo para representar variables físicas (temperatura, presión, voltaje, etc.) en rangos típicos como 0-10 V o 4-20 mA.
- AO (Analog Output / Salida Analógica): Salida continua que permite generar señales proporcionales para controlar equipos como variadores de frecuencia o válvulas de control.
- API (Application Programming Interface): Conjunto de reglas, funciones y estructuras que permiten que diferentes programas (por ejemplo, el IDE y el PLC) intercambien información de forma estructurada.
- CT (Current Transformer): Transformador de corriente. Dispositivo que permite medir corriente alterna de manera indirecta, reduciendo corrientes elevadas a una señal pequeña y segura para el PLC.

## D - F

- DI (Digital Input / Entrada Digital): Entrada que solo admite dos estados lógicos, típicamente 0 (desactivado/0V) y 1 (activado/24V).
- DO (Digital Output / Salida Digital): Salida binaria usada para activar o desactivar dispositivos externos en modo ON/OFF, como contactores, relés o indicadores luminosos.
- ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework): Framework oficial de Espressif para desarrollar firmware sobre el ESP32-S3 a bajo nivel, con acceso directo a periféricos y funciones avanzadas.
- ESP32-S3: Microcontrolador de alto rendimiento con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, que actúa como unidad central de procesamiento del PLC 4 UNI.
- Firmware: Programa residente en la memoria del equipo, responsable de gestionar el hardware del PLC y ejecutar la lógica definida por el usuario.

## G - L

- GPIO (General Purpose Input/Output): Pin de propósito general cuya función (entrada o salida) se define por software, permitiendo una gran flexibilidad de uso.
- HMI (Human Machine Interface): Interfaz Hombre–Máquina. Puede ser una pantalla, panel táctil o aplicación que permite al operador visualizar datos del PLC y enviarle comandos.
- I2C (Inter-Integrated Circuit): Bus de comunicación serial de corto alcance que se usa internamente para enlazar el ESP32 con otros circuitos integrados, como el chip de medición de energía ADE7953.
- IDE (Integrated Development Environment): Entorno de desarrollo en PC que integra editor, compilador y herramientas de carga de programa al PLC (por ejemplo, Arduino IDE o PLC4uni Studio).
- IoT (Internet of Things): Internet de las Cosas. Ecosistema de dispositivos físicos conectados que comparten datos a través de redes IP. El PLC 4 UNI está preparado para este tipo de aplicaciones.
- JSON (JavaScript Object Notation): Formato ligero de intercambio de datos basado en texto, fácil de leer y parsear, utilizado para encapsular la información que el PLC envía, por ejemplo, a través de MQTT.
- Ladder (LD): Lenguaje de programación gráfico en forma de “escalera”, derivado de esquemas eléctricos de contactos, ampliamente estandarizado en la automatización industrial.

## M - P

- Modbus RTU: Variante del protocolo Modbus que se transmite sobre RS-485. Es un estándar industrial simple y robusto para intercambiar datos entre el PLC y otros equipos de campo.
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Protocolo liviano de publicación/suscripción optimizado para telemetría y envío de datos de

sensores hacia servidores o plataformas en la nube, utilizando poco ancho de banda.

- NPN (Sink / Sumidero): Tipo de salida de sensor donde, al activarse, se conecta la carga hacia el negativo (GND). Requiere que el PLC proporcione la corriente desde el lado positivo.
- OTA (Over-The-Air): Mecanismo que permite actualizar el firmware del PLC por medio de Wi-Fi, sin necesidad de conectar cables de programación físicos.
- PCB (Printed Circuit Board): Placa de circuito impreso sobre la que se montan y conectan todos los componentes electrónicos del PLC.
- PLC (Programmable Logic Controller): Controlador lógico programable. Dispositivo electrónico diseñado para supervisar y controlar procesos industriales en tiempo real con alta fiabilidad.
- PNP (Source / Fuente): Tipo de salida de sensor que entrega voltaje positivo (+24 V) cuando se activa, haciendo que la entrada del PLC actúe como sumidero de corriente.

## R - Z

- RS-485: Estándar de transmisión serial diferencial muy resistente al ruido eléctrico y apto para distancias largas, comúnmente usado en entornos industriales.
- S/S (Sink/Source): Terminal común en las entradas del PLC que permite seleccionar la referencia de conexión (sumidero o fuente), para admitir sensores NPN y PNP.
- Scan Cycle (Ciclo de Escaneo): Secuencia repetitiva en la que el PLC lee sus entradas, ejecuta el programa del usuario y actualiza las salidas físicas, una y otra vez.
- USB-C: Conector estándar reversible usado tanto para alimentar la lógica a 5 V como para programar y depurar el PLC desde un ordenador.

### 3 ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES

Antes de instalar, cablear o poner en operación el PLC 4 UNI, lea cuidadosamente estas indicaciones. Ignorar estas recomendaciones puede causar fallas irreparables en el equipo, riesgos eléctricos importantes e incluso lesiones personales.

### 4 ADVERTENCIAS DE PELIGRO ELÉCTRICO

- Voltaje de Alimentación Crítico: El PLC está diseñado únicamente para recibir alimentación de 24 VDC. Si se conecta directamente a 110/220 VAC en los terminales de alimentación (24V+, GND), se dañará de inmediato la fuente interna y se incrementa el riesgo de incendio. Compruebe siempre el voltaje y la polaridad antes de energizar.
- Separación de Circuitos: Mantenga separados los conductores de señales de baja tensión (sensores, RS-485, USB) de los cables de potencia (salidas a relé, alimentación AC de cargas). No comparta canaletas para evitar interferencias electromagnéticas y posibles cortocircuitos.

### 5 PRECAUCIONES DE HARDWARE (ESP32)

• Niveles Lógicos de 3.3V: El ESP32-S3 opera internamente a 3.3 V. Aunque las entradas digitales del PLC están acondicionadas para trabajar con 24 V, los pines de expansión o de comunicaciones directos del microcontrolador no soportan ni 5 V ni 24 V. Si se añaden módulos o expansiones soldadas, nunca aplique señales por encima de 3.3 V a dichos pines.

- Entradas Analógicas (ADC):
  - o En entradas de 0-10 V, no sobrepasar los 10 V DC para evitar la avería del divisor resistivo interno y la destrucción del pin ADC.
  - o En entradas de 4-20 mA, respetar la polaridad del lazo de corriente.

Coneectar el lazo invertido puede dañar la resistencia shunt de precisión integrada.

## 6 USO EDUCATIVO Y LIMITACIONES

- No Certificado para Soporte Vital: El PLC 4 UNI está concebido para fines formativos y de prototipado. NO debe utilizarse en aplicaciones donde una falla de hardware o software pueda provocar daños severos, lesiones graves o muerte (por ejemplo, equipos médicos de soporte vital o sistemas de seguridad críticos).
- Parada de Emergencia (E-STOP): En prácticas que incluyan actuadores con movimiento (motores, cilindros, etc.) es imprescindible disponer de un botón de Parada de Emergencia cableado físicamente en serie con la alimentación de los actuadores, o utilizar una entrada de E-STOP que desactive las salidas mediante lógica de seguridad.
- Manipulación de la PCB: Si se utiliza el PLC sin su cubierta superior, deben tomarse medidas para evitar descargas electrostáticas (ESD). Antes de manipular la PCB, toque una superficie metálica conectada a tierra para descargar la electricidad estática del cuerpo.

## 7 CONDICIONES AMBIENTALES

- Humedad y Polvo: La carcasa estándar corresponde aproximadamente a un grado de protección IP20. No se debe exponer el PLC a chorros de agua, lluvia ni a ambientes con polvo metálico o conductivo. En ambientes agresivos, instálelo dentro de un gabinete protector.
- Ventilación: Aunque el ESP32 tiene bajo consumo, los reguladores de voltaje y los relés generan calor durante el funcionamiento. Evite obstruir las rejillas u orificios de ventilación de la carcasa para garantizar un flujo de aire adecuado.

## 8 CONEXIONES

El panel frontal del PLC 4 UNI incluye varias interfaces accesibles mediante borneras desmontables y conectores estándar. A continuación se describe el uso general de cada grupo de terminales:

- Alimentación (Power Supply):

- o V+ / GND: Terminales de entrada para la alimentación principal de 24 VDC. Internamente existen protecciones y etapas de regulación para alimentar el microcontrolador y el resto de circuitos.

- o USB-C: Puerto utilizado para cargar y actualizar el firmware, visualizar el puerto serial durante la depuración y suministrar alimentación lógica (5 V) durante el desarrollo.

- Entradas (Inputs):

- o Entradas Digitales (DI): 8 entradas digitales optoacopladas para señales de 24 VDC. Se pueden configurar como PNP (lógica positiva) o NPN (lógica negativa) por medio de un terminal común. Incluyen filtrado por hardware para reducir rebotes y ruido.

- o Entradas Analógicas (AI):

- ♣ 0-10V: Diseñadas para sensores que entregan una señal de voltaje proporcional.

- ♣ 4-20mA: Para instrumentación industrial basada en lazos de corriente.

La resolución mínima es de 12 bits, permitiendo lecturas detalladas de la variable medida.

- o Medición de Energía: Conexiones dedicadas para el transformador de corriente (CT) y la medición de voltaje AC, necesarias para calcular potencia activa y energía consumida (kWh).

- Salidas (Outputs):

- o Salidas Digitales (DO): 8 salidas destinadas a la actuación de cargas.

- ♣ Relé: Contactos secos que permiten conmutar cargas AC o DC de hasta 5 A.
- ♣ Transistor (NPN/PNP): Salidas electrónicas de conmutación rápida, adecuadas para PWM o señales de control de alta frecuencia.
- o Salidas Analógicas (AO): Canales de salida en 0-10 V y 4-20 mA para control proporcional de dispositivos como variadores de frecuencia, válvulas modulantes u otros actuadores analógicos.
- Comunicaciones:
- o RS-485: Bornes (A+, B-) destinados a la comunicación serial industrial bajo Modbus RTU u otros protocolos compatibles sobre este estándar físico.
- o Wi-Fi / Bluetooth: Conectividad inalámbrica ofrecida por la radio integrada del ESP32-S3, que permite implementar protocolos como Modbus TCP, MQTT y otras aplicaciones IoT.

**Tabla de asignación de pines**

N.º Pin	Nombre GPIO	Etiqueta en Diagrama (Net Label)	Descripción / Función Probable
1	GND	GND	Tierra (Ground)
2	3V3	+3.3V	Alimentación 3.3V
3	EN	EN	Enable (Reset del Chip)
8	IO15	IN_NPN2D	Entrada NPN Directa 2
9	IO16	(Cableado sin etiqueta visible)	Posiblemente vinculado a entradas NPN

N.º Pin	Nombre GPIO	Etiqueta en Diagrama (Net Label)	Descripción / Función Probable
10	IO17	micro_rs485_tx	Transmisión Serial RS-485
11	IO18	micro_rs485_rx	Recepción Serial RS-485
12	IO8	IN_PNP1D	Entrada PNP Directa 1
13	IO19	USB-	Señal USB Diferencial Negativa (D-)
14	IO20	USB+	Señal USB Diferencial Positiva (D+)
16	IO46	Out_4-20mA_2	Salida de Corriente 2 (4-20mA)
17	IO9	IN_PNP2D	Entrada PNP Directa 2
18	IO10	IN_NPN2_OptoD	Entrada NPN Optoacoplada 2
19	IO11	IN_NPN1_OptoD	Entrada NPN Optoacoplada 1
20	IO12	IN_PNP2_OptoD	Entrada PNP Optoacoplada 2
21	IO13	IN_PNP1_OptoD	Entrada PNP Optoacoplada 1
22	IO14	IN_NPND	Entrada NPN Directa 1
23	IO21	PNP_OUT1	Salida Transistor PNP 1
24	IO47	ADC_IN_3V3	Entrada Analógica (ADC)
25	IO48	micro1_rs485_control	Control de Flujo RS-485 (DE/RE)
26	IO45	Out_4-20mA	Salida de Corriente 1 (4-20mA)
27	IO0	SCL	Reloj I2C (Para sensores/energía)

N.º Pin	Nombre GPIO	Etiqueta en Diagrama (Net Label)	Descripción / Función Probable
<b>28</b>	IO35	PNP_OUT2	Salida Transistor PNP 2
<b>29</b>	IO36	PNP_OUT3	Salida Transistor PNP 3
<b>30</b>	IO37	Opto_NPN	Salida NPN Optoacoplada 1
<b>31</b>	IO38	Opto_NPN2	Salida NPN Optoacoplada 2
<b>32</b>	IO39	OUT_RELAY1	Control Relé 1
<b>33</b>	IO40	OUT_RELAY2	Control Relé 2
<b>34</b>	IO41	NPN_OUT1	Salida Transistor NPN 1
<b>35</b>	IO42	NPN_OUT2	Salida Transistor NPN 2
<b>39</b>	IO1	SDA	Datos I2C (Para sensores/energía)

## 1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Parámetro	Especificación
Microcontrolador	Espressif <b>ESP32-S3</b> (Dual Core, 240 MHz)
Voltaje de Operación	24 VDC (Nominal)
Entradas Digitales	8 x Optoaisladas (Configurables PNP/NPN)
Salidas Digitales	8 x (Relé 5A / Transistor NPN-PNP)
Entradas Analógicas	4 x (0-10V / 4-20mA), Resolución 12-bits
Salidas Analógicas	0-10V / 4-20mA (Control proporcional)
Medición de Energía	IC dedicado (I2C/SPI) para medición de CT y Voltaje AC
Puertos de Comunicación	USB-C (Prog), RS-485 (Industrial), Wi-Fi (IoT)
Protocolos Soportados	Modbus RTU/TCP, MQTT, HTTP/HTTPS
Tiempo de Ciclo	< 10 ms (Ejecución de lógica)
Temperatura de Operación	Ambiente de laboratorio (aprox. -10°C a 60°C)

## 2 DIMENSIONES Y MECÁNICA

1 **PLC 4 UNI** utiliza una carcasa industrial de perfil bajo diseñada para montaje en armarios de control.

- **Modelo de Carcasa:** Serie 23-156C (Estándar Industrial).
- **Dimensiones Totales:**
  - **Largo (L):** 107.0 mm
  - **Ancho (W):** 87.7 mm
  - **Profundidad (H):** 59.0 mm (Incluyendo clip de sujeción).
- **Sistema de Montaje:**
  - **Riel DIN:** Compatible con riel estándar de **35 mm** (EN 50022).
  - **Fijación Mural:** Dispone de pestañas para tornillos en las esquinas traseras (opcional si se retira el clip).
- **Material de la carcasa:** Plástico (PLA/ABS) impreso en 3D o inyectado.

## 3 SOLUCIÓN DE PROBLEMAS (TROUBLESHOOTING)

Síntoma	Causa Probable	Solución Sugerida
<b>El LED PWR no enciende</b>	1. Fuente de alimentación desconectada. 2. Polaridad invertida. 3. Fusible PTC activado.	1. Verifique que lleguen 24VDC a las borneras 1 y 2. 2. Corrija el cableado (+/-). 3. Desconecte todo por 30 seg para rearmar el fusible.

Síntoma	Causa Probable	Solución Sugerida
<b>No hay comunicación Wi-Fi</b>	1. Credenciales incorrectas. 2. Señal débil. 3. PLC en modo AP.	1. Mantenga presionado BOOT 5 seg para resetear a fábrica. 2. Acerque el PLC al router o instale una antena externa. 3. Verifique si aparece la red PLC4UNI-SETUP.
<b>Las entradas digitales no detectan señal</b>	1. Configuración S/S incorrecta. 2. Sensor dañado.	1. Verifique si el terminal S/S está conectado a GND (para sensores PNP) o a 24V (para NPN). 2. Mida el voltaje en la bornera de entrada con un multímetro.
<b>Salida de Relé no activa la carga</b>	1. Lógica del programa errónea. 2. Carga desconectada. 3. Relé dañado por sobrecorriente.	1. Verifique que el LED de la salida (Qx) encienda en la placa. 2. Revise el cableado de la carga (110/220V). 3. Si el LED enciende pero el relé no suena ("clic"), el contacto puede estar soldado/dañado.
<b>Lectura de Corriente (CT) errónea</b>	1. CT mal conectado. 2. Rango excedido.	1. Asegúrese de que el transformador abrace <b>solo uno</b> de los cables de fase, no el cable completo (fase+neutro).

## 4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para garantizar la vida útil del equipo en el laboratorio:

1. **Limpieza:** Limpie la carcasa únicamente con un paño seco. No utilice solventes ni alcohol que puedan dañar el plástico ABS/PPO.
2. **Apriete de Borneras:** Las vibraciones pueden aflojar los tornillos. Verifique el apriete de las conexiones cada 6 meses.
3. **Inspección Visual:** Revise periódicamente que no haya cables pelados, signos de sobrecalentamiento (decoloración) en los conectores de relé o acumulación excesiva de polvo dentro de las ranuras de ventilación.

## 5 DISPOSICIÓN FINAL Y RECICLAJE (WEEE)

El **PLC 4 UNI** contiene componentes electrónicos que no deben desecharse en la basura común.

- **Símbolo del Contenedor Tachado:** Indica que al final de su vida útil, el producto debe ser llevado a un punto de recogida selectiva de residuos electrónicos (RAEE).
- **Componentes Reciclables:** La carcasa plástica (ABS/PC) es 100% recicitable. La PCB contiene metales valiosos (Cobre, Oro) recuperables en plantas especializadas.
- **Compromiso:** Como proyecto educativo, fomentamos la responsabilidad ambiental. Por favor, disponga de este equipo de manera responsable.

## 6 INFORMACIÓN LEGAL Y CRÉDITOS

- **Licencia de Hardware:** Este hardware se distribuye bajo la licencia **CERN OHL v1.2**. Usted es libre de estudiar, modificar y fabricar este diseño.
- **Licencia de Software:** El firmware base y las librerías se distribuyen bajo licencia **MIT**.

**Créditos:**

- Desarrollado por: [PLC4UNI]
- Institución: **Instituto Tecnológico de Las Américas (ITLA)**