



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LAS AMÉRICAS (ITLA)**

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

<b>DESCRIPCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>ADVERTENCIAS DE PELIGRO ELÉCTRICO.....</b>	<b>7</b>
<b>PRECAUCIONES DE HARDWARE (ESP32).....</b>	<b>7</b>
<b>USO EDUCATIVO Y LIMITACIONES.....</b>	<b>8</b>
<b>CONDICIONES AMBIENTALES .....</b>	<b>8</b>
<b>CONEXIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>Alimentación (Power Supply):.....</b>	<b>8</b>
<b>Entradas (Inputs):.....</b>	<b>9</b>
<b>Entradas Analógicas (AI):.....</b>	<b>9</b>
<b>Salidas (Outputs): .....</b>	<b>9</b>
<b>Comunicaciones: .....</b>	<b>9</b>
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....</b>	<b>12</b>
<b>DIMENSIONES Y MECÁNICA.....</b>	<b>13</b>
<b>SOLUCIÓN DE PROBLEMAS (TROUBLESHOOTING) .....</b>	<b>14</b>
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....</b>	<b>16</b>
<b>DISPOSICIÓN FINAL Y RECICLAJE (WEEE) .....</b>	<b>16</b>
<b>INFORMACIÓN LEGAL Y CRÉDITOS .....</b>	<b>17</b>

## MANUAL DE USO DEL PLC 4 UNI

A continuación, presento el texto estructurado para el manual, integrando la información técnica de los documentos.

### DESCRIPCIÓN

El **PLC 4 UNI** es un controlador lógico programable (PLC) de carácter educativo y código abierto, desarrollado bajo la supervisión del Instituto Tecnológico de Las Américas (ITLA). Este dispositivo está diseñado para cerrar la brecha entre la automatización industrial clásica y el Internet de las Cosas (IoT).

Su núcleo de procesamiento es el microcontrolador **ESP32-S3**, lo que le otorga capacidades nativas de comunicación inalámbrica (Wi-Fi y Bluetooth) junto con la robustez necesaria para el control de procesos. El equipo permite a estudiantes y profesionales experimentar con lenguajes de programación estándar (como Ladder y FBD) y protocolos industriales modernos (Modbus TCP, MQTT), proporcionando un entorno seguro y accesible para el aprendizaje de la mecatrónica y la automatización.

El sistema integra funciones avanzadas como la medición de consumo eléctrico (energía) y entradas/salidas versátiles configurables, haciéndolo ideal para laboratorios de docencia y prototipado de proyectos inteligentes.

## DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

### A - C

- **ADC (Analog-to-Digital Converter):** Conversor Analógico-Digital. Circuito que convierte una señal analógica (voltaje continuo) en un valor digital numérico que el procesador puede leer.
- **ADE7953:** Circuito integrado especializado de *Analog Devices* utilizado en el PLC 4 UNI para la medición de energía eléctrica (voltaje, corriente, potencia activa) vía I2C.
- **AI (Analog Input / Entrada Analógica):** Señal de valor continuo empleada para representar magnitudes variables como temperatura, presión o nivel de voltaje (0-10V, 4-20mA).
- **AO (Analog Output / Salida Analógica):** Señal continua de salida que permite el control proporcional de equipos como variadores de frecuencia o válvulas.
- **API (Application Programming Interface):** Conjunto de reglas y herramientas que permiten que diferentes aplicaciones de software (como el IDE y el PLC) se comuniquen entre sí.
- **CT (Current Transformer):** Transformador de Corriente. Sensor utilizado para medir corriente alterna de forma no intrusiva, transformando una corriente alta en una señal pequeña segura para el PLC.

### D - F

- **DI (Digital Input / Entrada Digital):** Señal binaria que solo admite dos estados lógicos: 1 (activo/24V) o 0 (inactivo/0V).
- **DO (Digital Output / Salida Digital):** Señal binaria de salida utilizada para accionar dispositivos externos en modo ON/OFF, como relés o luces piloto.
- **ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework):** Kit de desarrollo oficial de Espressif para programar el microcontrolador ESP32-S3 a bajo nivel.
- **ESP32-S3:** Microcontrolador de alto rendimiento y bajo costo con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, que actúa como el "cerebro" del PLC 4 UNI.

- **Firmware:** Software que reside de forma permanente en el hardware del PLC, encargado de controlar los periféricos y ejecutar la lógica del usuario.

## G - L

- **GPIO (General Purpose Input/Output):** Pin genérico en un chip cuyo comportamiento (entrada o salida) se puede controlar por software.
- **HMI (Human Machine Interface):** Interfaz Hombre-Máquina. Pantalla o software que permite a un operador interactuar con el PLC para visualizar datos o enviar comandos.
- **I2C (Inter-Integrated Circuit):** Protocolo de comunicación serial de corto alcance utilizado internamente para comunicar el ESP32 con el chip de energía (ADE7953).
- **IDE (Integrated Development Environment):** Entorno de Desarrollo Integrado. Software en PC donde se escribe, compila y carga el código al PLC (ej. Arduino IDE, PLC4uni Studio).
- **IoT (Internet of Things):** Internet de las Cosas. Red de dispositivos físicos conectados que intercambian datos a través de internet, característica clave de este PLC.
- **JSON (JavaScript Object Notation):** Formato de texto ligero y legible utilizado para empaquetar los datos enviados por el PLC vía MQTT.
- **Ladder (LD):** Lenguaje de programación gráfico (Escalera) basado en esquemas de contactos eléctricos, estándar en la industria de automatización.

## M - P

- **Modbus RTU:** Protocolo de comunicación industrial estándar, robusto y sencillo, que funciona sobre la capa física RS-485 para conectar el PLC con otros equipos industriales.
- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):** Protocolo de mensajería ligero diseñado para enviar datos de sensores a la nube con un consumo mínimo de ancho de banda.

- **NPN (Sink / Sumidero):** Configuración de sensor donde la salida conecta la carga a Tierra (GND/Negativo) cuando se activa. Requiere que la entrada del PLC provea la corriente (Source).
- **OTA (Over-The-Air):** Tecnología que permite actualizar el firmware del PLC de forma inalámbrica a través de Wi-Fi, sin conectar cables.
- **PCB (Printed Circuit Board):** Placa de Circuito Impreso. La base física donde se sueldan y conectan los componentes electrónicos.
- **PLC (Programmable Logic Controller):** Controlador Lógico Programable. Equipo electrónico robusto diseñado para controlar procesos industriales en tiempo real.
- **PNP (Source / Fuente):** Configuración de sensor donde la salida envía voltaje positivo (+24V) cuando se activa. Requiere que la entrada del PLC drene la corriente (Sink).

## R - Z

- **RS-485:** Estándar de transmisión de datos serial diferencial, muy inmune al ruido eléctrico, utilizado para largas distancias en entornos industriales.
- **S/S (Sink/Source):** Terminal común en las entradas del PLC que permite seleccionar la referencia de voltaje para hacerlo compatible tanto con sensores NPN como PNP.
- **Scan Cycle (Ciclo de Escaneo):** Proceso repetitivo donde el PLC lee entradas, ejecuta el programa de usuario y actualiza las salidas físicas.
- **USB-C:** Conector estándar reversible utilizado en el PLC para alimentación de 5V y programación de datos desde el PC.

## ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES

Antes de instalar, cablear o poner en marcha el **PLC 4 UNI**, lea atentamente las siguientes advertencias. El incumplimiento de estas instrucciones puede resultar en daños irreparables al equipo, riesgos eléctricos o lesiones personales.

### ADVERTENCIAS DE PELIGRO ELÉCTRICO

- **Voltaje de Alimentación Crítico:** Este equipo está diseñado exclusivamente para alimentarse con **24 VDC**. Conectar directamente 110/220 VAC a las entradas de alimentación (24V+, GND) causará la destrucción inmediata de la fuente interna y riesgo de incendio. Verifique la polaridad antes de encender.
- **Separación de Circuitos:** Mantenga separados físicamente los cables de baja tensión (sensores, RS-485, USB) de los cables de potencia (Salidas a Relé, Alimentación AC). No los pase por las mismas canaletas para evitar interferencias electromagnéticas y riesgos de cortocircuito.

### PRECAUCIONES DE HARDWARE (ESP32)

- **Niveles Lógicos de 3.3V:** El núcleo del sistema (ESP32-S3) opera a **3.3V**. Aunque las entradas digitales están protegidas y adaptadas para 24V, los pines expuestos de expansión o comunicación interna no toleran 5V ni 24V. **No inyecte señales de 5V directamente** en los pines del microcontrolador si decide soldar expansiones.
- **Entradas Analógicas (ADC):**
  - Para las entradas de **0-10V**, asegúrese de no exceder los 10V DC, ya que esto podría dañar el divisor de tensión interno y el pin del ADC.
  - Para las entradas de **4-20mA**, respete la polaridad del lazo de corriente. Invertir la conexión podría dañar la resistencia *shunt* de precisión interna.

## USO EDUCATIVO Y LIMITACIONES

- **No Certificado para Soporte Vital:** El **PLC 4 UNI** es una herramienta educativa y de prototipado. **NO** debe utilizarse en aplicaciones críticas de seguridad, soporte vital, o control de maquinaria peligrosa donde una falla del software o hardware pueda resultar en lesiones graves o muerte.
- **Parada de Emergencia (E-STOP):** Para cualquier práctica que involucre partes móviles (motores, pistones), es obligatorio instalar un botón de **Parada de Emergencia** físico cableado en serie con la alimentación de los actuadores, o configurado en la entrada designada para cortar las salidas por software.
- **Manipulación de la PCB:** Si utiliza el equipo sin la carcasa superior, tome precauciones contra la **descarga electrostática (ESD)**. Toque una superficie metálica conectada a tierra antes de manipular la placa electrónica.

## CONDICIONES AMBIENTALES

- **Humedad y Polvo:** La carcasa estándar tiene un grado de protección **IP20**. No exponga el equipo a goteos de agua, lluvia o ambientes con polvo metálico conductivo. Instálelo dentro de un gabinete si el entorno es hostil.
- **Ventilación:** Aunque el ESP32 es eficiente, los reguladores de voltaje y los relés generan calor. No cubra los orificios de ventilación de la carcasa.

## CONEXIONES

El panel frontal del PLC 4 UNI dispone de diversas interfaces de conexión mediante borneras desmontables y puertos estándar. A continuación se detalla el pinesado y la función de cada grupo:

### **Alimentación (Power Supply):**

- **V+ / GND:** Entrada de alimentación principal de **24 VDC**. El sistema cuenta con protecciones y reguladores internos para el funcionamiento del microcontrolador.



- **USB-C:** Puerto para programación del firmware, depuración serial y alimentación lógica (5V) durante el desarrollo.

### **Entradas (Inputs):**

- **Entradas Digitales (DI):** 8 entradas optoacopladas para señales de **24 VDC**. Admiten configuración **PNP** (lógica positiva) o **NPN** (lógica negativa) mediante un terminal común. Cuentan con filtrado por hardware para evitar rebotes.

### **Entradas Analógicas (AI):**

- **0-10V:** Para sensores de voltaje estándar.
- **4-20mA:** Para instrumentación industrial (loops de corriente). Resolución mínima de 12 bits.
  - **Medición de Energía:** Interfaz para Transformador de Corriente (CT) y voltaje AC para el cálculo de potencia activa y consumo (kWh).

### **Salidas (Outputs):**

- **Salidas Digitales (DO):** 8 salidas para actuación.
  - **Relé:** Contactos secos para manejar cargas de hasta 5A (AC/DC).
  - **Transistor (NPN/PNP):** Salidas de alta velocidad para PWM o señales de control.
- **Salidas Analógicas (AO):** Salidas de 0-10V y 4-20mA para el control proporcional de actuadores o variadores de frecuencia.

### **Comunicaciones:**

- **RS-485:** Terminales (A+, B-) para comunicación serial industrial bajo protocolo **Modbus RTU**.
- **Wi-Fi / Bluetooth:** Antena integrada en el módulo ESP32-S3 para conectividad inalámbrica (Modbus TCP, MQTT).

**Tabla de asignación de pines**

<b>N.º Pin</b>	<b>Nombre GPIO</b>	<b>Etiqueta en Diagrama (Net Label)</b>	<b>Descripción / Función Probable</b>
<b>1</b>	GND	GND	Tierra (Ground)
<b>2</b>	3V3	+3.3V	Alimentación 3.3V
<b>3</b>	EN	EN	Enable (Reset del Chip)
<b>8</b>	IO15	IN_NPN2D	Entrada NPN Directa 2
<b>9</b>	IO16	<i>(Cableado sin etiqueta visible)</i>	Posiblemente vinculado a entradas NPN
<b>10</b>	IO17	micro_rs485_tx	Transmisión Serial RS-485
<b>11</b>	IO18	micro_rs485_rx	Recepción Serial RS-485
<b>12</b>	IO8	IN_PNP1D	Entrada PNP Directa 1
<b>13</b>	IO19	USB-	Señal USB Diferencial Negativa (D-)
<b>14</b>	IO20	USB+	Señal USB Diferencial Positiva (D+)
<b>16</b>	IO46	Out_4-20mA_2	Salida de Corriente 2 (4-20mA)
<b>17</b>	IO9	IN_PNP2D	Entrada PNP Directa 2

N.º Pin	Nombre GPIO	Etiqueta en Diagrama (Net Label)	Descripción / Función Probable
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)
28	IO35	PNP_OUT2	Salida Transistor PNP 2
29	IO36	PNP_OUT3	Salida Transistor PNP 3

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

## 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)
--------------------------	---

## DIMENSIONES Y MECÁNICA

El **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.

## SOLUCIÓN DE PROBLEMAS (TROUBLESHOOTING)

Síntoma	Causa Probable	Solución Sugerida
<b>El LED PWR no enciende</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuente de alimentación desconectada.</li> <li>2. Polaridad invertida.</li> <li>3. Fusible PTC activado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verifique que lleguen 24VDC a las borneras 1 y 2.</li> <li>2. Corrija el cableado (+/-).</li> <li>3. Desconecte todo por 30 seg para rearmar el fusible.</li> </ol>
<b>No hay comunicación Wi-Fi</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Credenciales incorrectas.</li> <li>2. Señal débil.</li> <li>3. PLC en modo AP.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenga presionado BOOT 5 seg para reiniciar a fábrica.</li> <li>2. Acerque el PLC al router o instale una antena externa.</li> <li>3. Verifique si aparece la red PLC4UNI-SETUP.</li> </ol>
<b>Las entradas digitales no detectan señal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Configuración S/S incorrecta.</li> <li>2. Sensor dañado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verifique si el terminal S/S está conectado a GND (para sensores PNP) o a 24V (para NPN).</li> </ol>

Síntoma	Causa Probable	Solución Sugerida
		2. Mida el voltaje en la bornera de entrada con un multímetro.
Salida de Relé no activa la carga	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.
Lectura de Corriente (CT) errónea	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).

## 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.

## 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% reciclable. 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.



## 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)**