



**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	<p>1. Lógica del programa errónea.</p> <p>2. Carga desconectada.</p> <p>3. Relé dañado por sobrecorriente.</p>	<p>1. Verifique que el LED de la salida (Qx) encienda en la placa.</p> <p>2. Revise el cableado de la carga (110/220V).</p> <p>3. Si el LED enciende pero el relé no suena ("clic"), el contacto puede estar soldado/dañado.</p>
Lectura de Corriente (CT) errónea	<p>1. CT mal conectado.</p> <p>2. Rango excedido.</p>	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)**