



# Proyecto de integración curricular

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecatrónica

**Tema:**

Diseño e implementación de un sistema modular de producción de verificación en un ambiente virtual para contribuir al aprendizaje de control y automatización.

**Autor:**

Quinga Morales, Kevin Daniel

**Tutor:**

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga - 2023



- Introducción
- Objetivos
- Hipótesis
- Diseño del entorno virtual
- Implementación del entorno virtual
- Programación y comunicación
- Pruebas y resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones

Sistemas Modulares de  
Producción – Didácticas



Entornos Virtuales de  
Aprendizaje



Laboratorios virtuales



## Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema modular de producción de verificación en ambientes virtuales para contribuir al aprendizaje de automatización y control.

## Objetivos Específicos

- Estudiar los componentes reales de la estación MPS de verificación, para seleccionar el mejor ambiente de virtualización.
- Crear los modelos CAD de los componentes de la estación didáctica de verificación.
- Integrar los modelos CAD de la estación didáctica de verificación en el ambiente virtual.
- Realizar las animaciones del ambiente virtual cercanas a la realidad.
- Programar la comunicación del ambiente virtual para recibir y enviar señales de control, según el programa de ingreso.

## HIPÓTESIS

¿El diseño e implementación de un sistema modular de producción de verificación en un ambiente virtual contribuirá en el proceso de aprendizaje de control y automatización en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

### ***Variable Independiente***

Ambiente virtual del sistema modular de producción de verificación.

### ***Variable Dependiente***

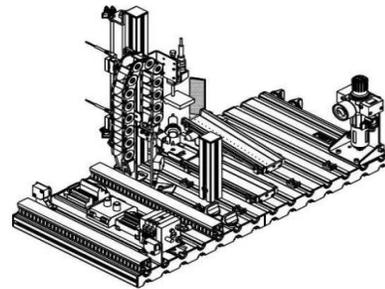
Contribución en el proceso de aprendizaje de control y automatización.

## Sistema modular de producción Festo MPS de verificación

### ESTACIÓN REAL



### MODELADO



### VIRTUALIZACIÓN



### COMUNICACIÓN

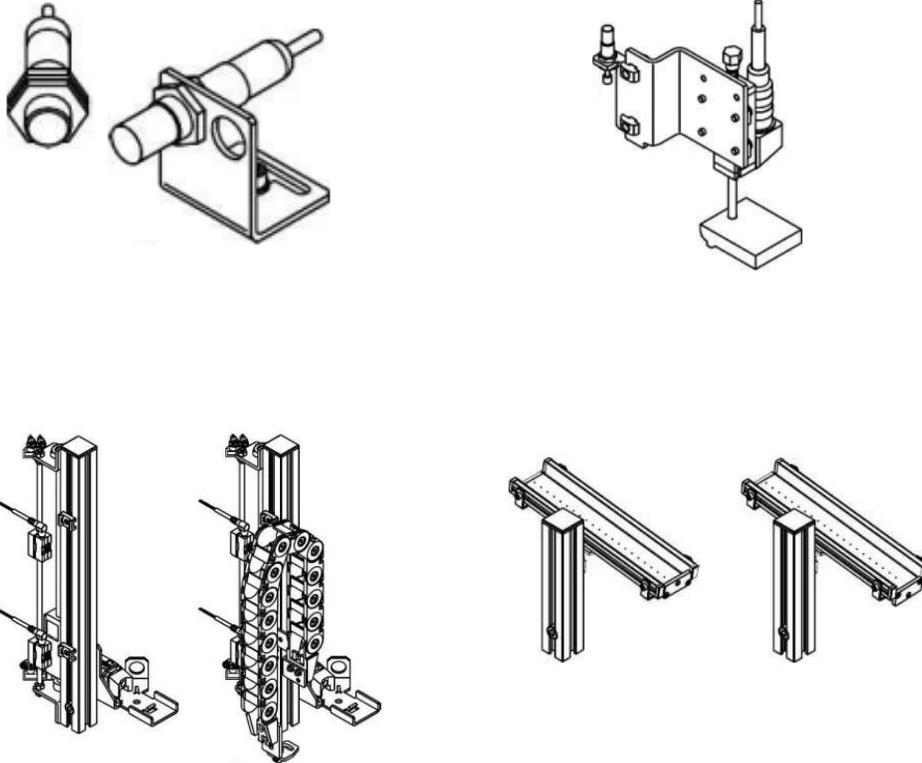


NetToPLCsim



## Módulos de la MPS de verificación

## Entradas y Salidas de la estación MPS de verificación



Dirección	Identificación	Descripción
I0.0	Part_AV	Pieza está disponible
I0.1	B1	Revisar si la pieza es negra – 0 = negra
I0.2	B2	Barrera de luz de Seguridad
I0.3	Comp	Revisar la altura de la pieza 1 = ok
I0.4	1B1	Cilindro ascensor está arriba
I0.5	1B2	Cilindro ascensor está abajo
I0.6	2B1	Cilindro de empuje está en posición trasera
I0.7	IP_FL	Barrera de Luz a la siguiente estación
Q0.0	1Y1	Solenoide de cilindro elevador arriba
Q0.1	1Y2	Solenoide de cilindro elevador abajo
Q0.2	2Y2	Solenoide del cilindro de empuje
Q0.3	3Y1	Solenoide de la rampa de aire
Q0.7	IP_N_FO	Barrera de Luz hacia la estación anterior

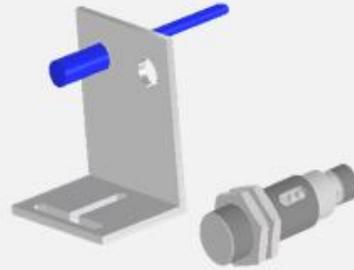
## Modelado 3D de los componentes de la estación

Estación MPS de Verificación

Componentes reales

Componentes CAD 3D

Módulo de detección



Módulo Elevador



Estación MPS de Verificación

Componentes reales

Componentes CAD 3D

Módulo de Medición



Módulo de Rampas



## Modelado 3D de los componentes de la estación

Estación MPS de Verificación

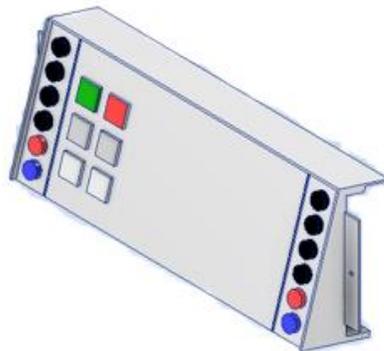
Componentes reales

Componentes CAD 3D

Unidad de Mantenimiento



Panel de Control



Estación MPS de Verificación

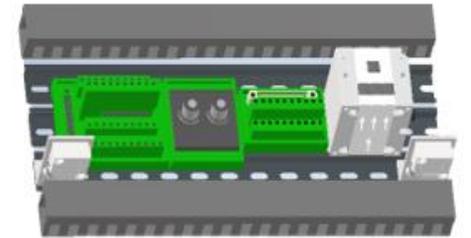
Componentes reales

Componentes CAD 3D

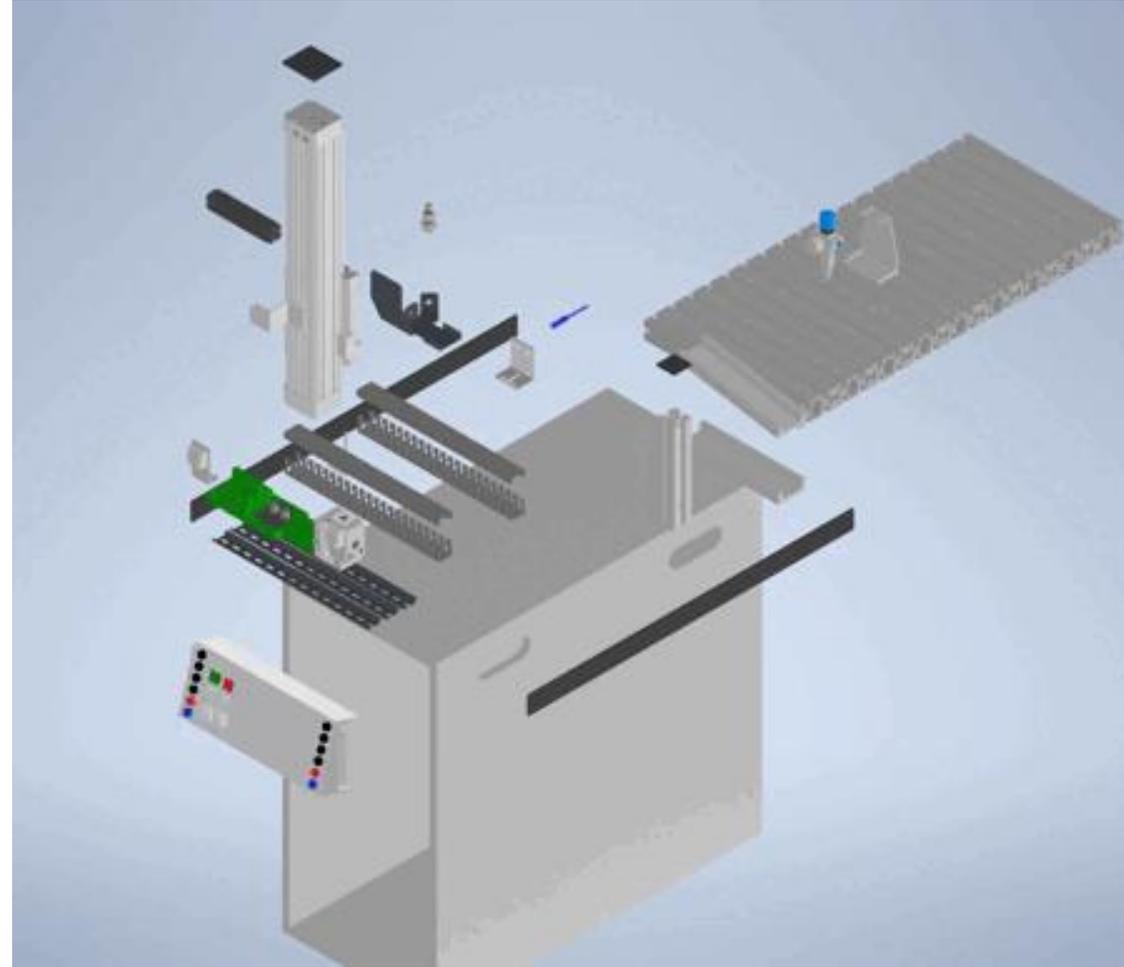
Chasis Rodante



Elementos electricos



## Modelado 3D de los componentes de la estación



## Implementación de Menú Principal



## Implementación de Menú Opciones

**← REGRESAR**

**CONTROLES**

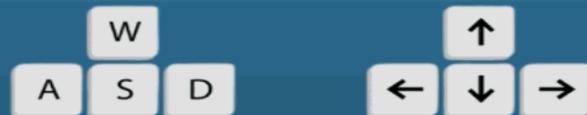
**CONEXIÓN**

**VARIABLES DEL PLC**

**CONFIGURACIÓN EN TIA PORTAL**

### MOVIMIENTOS

Para caminar utilice las siguientes teclas:



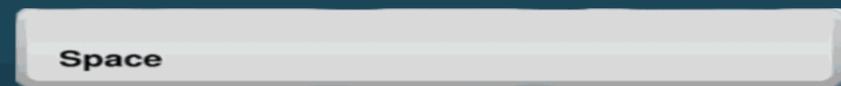
Para correr combine la tecla Shift con las teclas de caminar.



Para rotar la cámara, mantener pulsado el botón izquierdo del mouse y girar el mismo

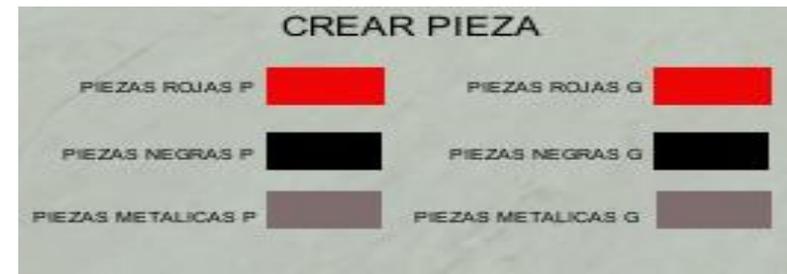
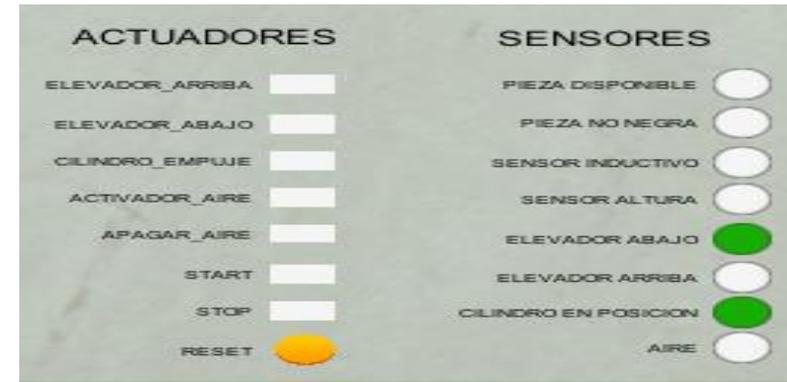
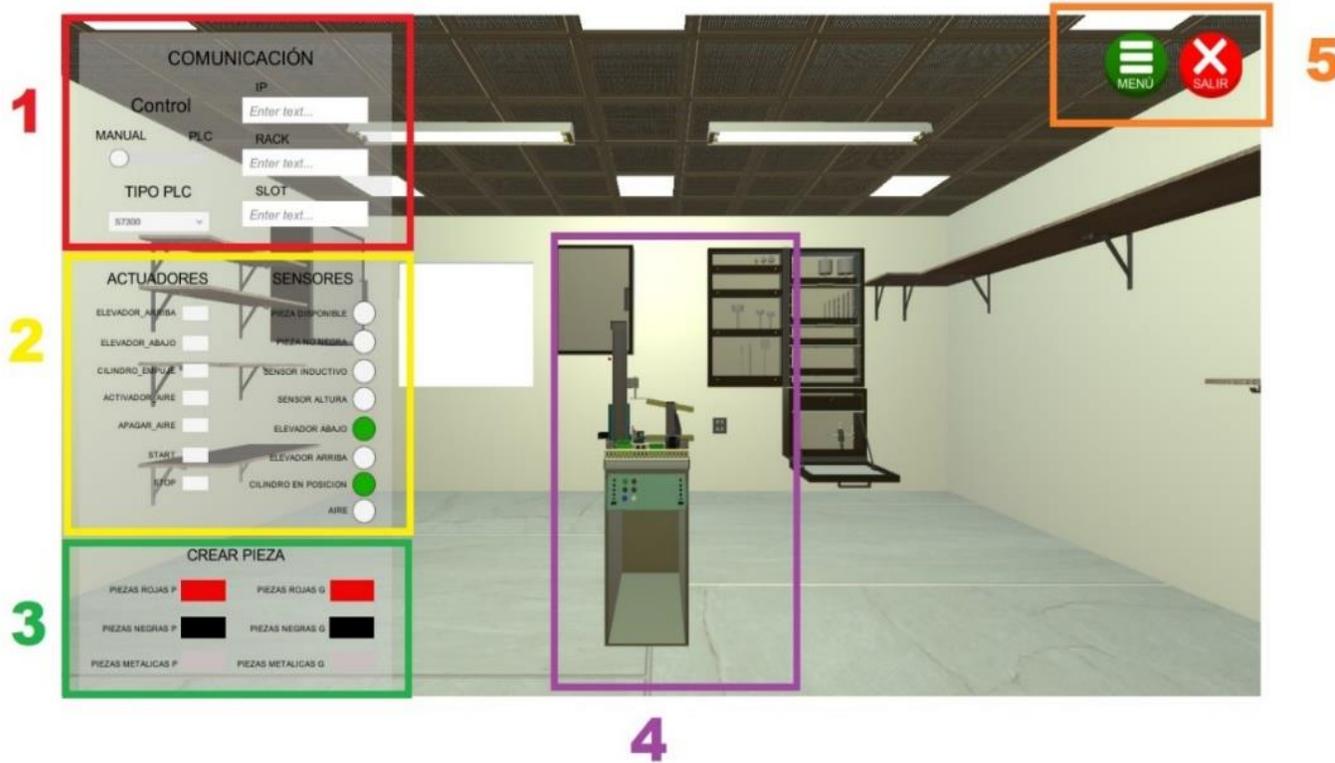


Para saltar presionar la tecla espacio



## Implementación de interfaz de usuario

### Implementación de interfaz del simulador



## Implementación de interfaz de usuario

## Implementación de interfaz de Reconocimiento de la estación



# PROGRAMACIÓN Y COMUNICACIÓN

DIRECCIÓN ESTACIÓN REAL	DIRECCIÓN ESTACIÓN VIRTUAL	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES ESTACIÓN REAL	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES ESTACIÓN VIRTUAL	DESCRIPCIÓN
I0.0	0.0	Part_AV	SENSOR_PIEZA_DISPONIBLE	SENSOR PIEZA DISPONIBLE
I0.1	0.1	B1	SENSOR_PIEZA_NO_NEGRA	SENSOR PIEZA NO NEGRA
I0.2	0.2	B2	SENSOR_INDUCTIVO	SENSOR INDUCTIVO
I0.3	0.3	Comp	SENSOR_ALTURA	SENSOR DE ALTURA
I0.4	0.4	1B1	ELEVADOR_ARRIBA	SENSOR DE ELEVADOR ESTÁ ARRIBA
I0.5	0.5	1B2	ELEVADOR_ABAJO	SENSOR DE ELEVADOR ESTÁ ABAJO
I0.6	0.6	2B1	CILINDRO_EMPUJE_POS	SENSOR DE CILINDRO DE EMPUJE EN POSICIÓN
I1.0	0.7	S1	START	BOTÓN START
I1.1	1.0	S2	STOP	BOTÓN STOP
Q0.0	1.1	1Y1	MOVER_ELEVADOR_ARRIBA	ACTIVA EL ACTUADOR DE ELEVADOR HACIA ARRIBA
Q0.1	1.2	1Y2	MOVER_ELEVADOR_ABAJO	ACTIVA EL ACTUADOR DE ELEVADOR HACIA ABAJO
Q0.2	1.3	2Y2	ACTIVAR_CILINDRO	ACTIVA EL ACTUADOR DE CILINDRO DE EMPUJE
Q0.3	1.4	3Y1	ACTIVAR_CAMA_AIRE	ACTIVAR CAMA DE AIRE

## Programación en Unity 3D para la comunicación

PASO 1

PASO 2

PASO 3

PASO 4

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using S7.Net;
using System;
using System.Threading;
using UnityEngine.UI;
```

```
public void LeerIP(string ip)
{
    IP_Address = ip;
    IF (IP_Address == "")
    {
        ELEMENTO.text = "PLC CONECTADO";
    }
}

public void LeerRACK(string rack)
{
    RACK = rack;
}

public void LeerSLOT(string slot)
{
    SLOT = slot;
}

public void TIPO_PLG (int val)
{
    IF (val == 0)
    {
        PLC_Type = CpuType.S7300;
    }
    IF (val == 1)
    {
        PLC_Type = CpuType.S71200;
    }
    IF (val == 2)
    {
        PLC_Type = CpuType.S71500;
    }
    IF (val == 3)
    {
        PLC_Type = CpuType.S7200;
    }
    IF (val == 4)
    {
        PLC_Type = CpuType.S7200Smart;
    }
    IF (val == 5)
    {
        PLC_Type = CpuType.S7400;
    }
    IF (val == 6)
    {
        PLC_Type = CpuType.Logo00A8;
    }
}
```

```
void Start()
{
    plc = new Plc(PLC_Type, IP_Address, Convert.ToInt16(RACK), Convert.ToInt16(SLOT));
    plc.Open();
}
```

```
// SENSOR DE PRESENCIA DE PIEZA
if (SENSOR_PRESENCIA_SENSOR == true)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.0", true);
}

if (SENSOR_PRESENCIA_SENSOR == false)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.0", false);
}

// SENSOR DETECTAR SI LA PIEZA ES NEGRA
if (COLOR_NO_NEGRO == true)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.1", true);
}

if (COLOR_NO_NEGRO == false)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.1", false);
}

// SENSOR INDUCTIVO DETECTA SI LA PIEZA ES METALICA
if (INDUCTIVO_INDUCTIVO == true)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.2", true);
}

if (INDUCTIVO_INDUCTIVO == false)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.2", false);
}

// SENSOR REVISAR LA ALTURA DE LA PIEZA
if (TAMAÑO_TAMAÑO == true)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.3", true);
}

if (TAMAÑO_TAMAÑO == false)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.3", false);
}
```

```
// SENSOR ELEVADOR EN LA POSICION DE ABAJO
if (ABAJO_ABAJO == true)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.5", true);
}

if (ABAJO_ABAJO == false)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.5", false);
}

// SENSOR CILINDRO DE EMPUJE EN POSICION
if (CIL_POSICION_CIL_POSICION == true)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.6", true);
}

if (CIL_POSICION_CIL_POSICION == false)
{
    plc.Write("DB1.DBX0.6", false);
}

// SENSOR IOT

// ACTUADOR ELEVADOR HACIA ARRIBA
bool MOV_ARRIBA = (bool)plc.Read("DB1.DBX1.1");
if (MOV_ARRIBA == true)
{
    MECANISMO_ELEVADOR_ARRIBA();
}

// ACTUADOR ELEVADOR HACIA ABAJO
bool MOV_ABAJO = (bool)plc.Read("DB1.DBX1.2");
if (MOV_ABAJO == true)
{
    MECANISMO_ELEVADOR_ABAJO();
}

// ACTUADOR CILINDRO DE EMPUJE
bool EMPUJE = (bool)plc.Read("DB1.DBX1.3");
if (EMPUJE == true)
{
    CILINDRO_ACTIVAR_VASTAGO();
}
```

```
// ACTUADOR CILINDRO DE EMPUJE
bool EMPUJE = (bool)plc.Read("DB1.DBX1.3");
if (EMPUJE == true)
{
    CILINDRO_ACTIVAR_VASTAGO();
}

// ACTUADOR CAMA DE AIRE
bool CAMA_AIRE = (bool)plc.Read("DB1.DBX1.4");
if (CAMA_AIRE == true)
{
    AIRE_ON(AIRE);
}
else
{
    AIRE_OFF(AIRE);
}

// DESACTIVAR CAMA DE AIRE
bool CAMA_AIRE_OFF = (bool)plc.Read("DB1.DBX1.5");
if (CAMA_AIRE == false)
{
    AIRE_OFF(AIRE);
}
}
```

LIBRERIA

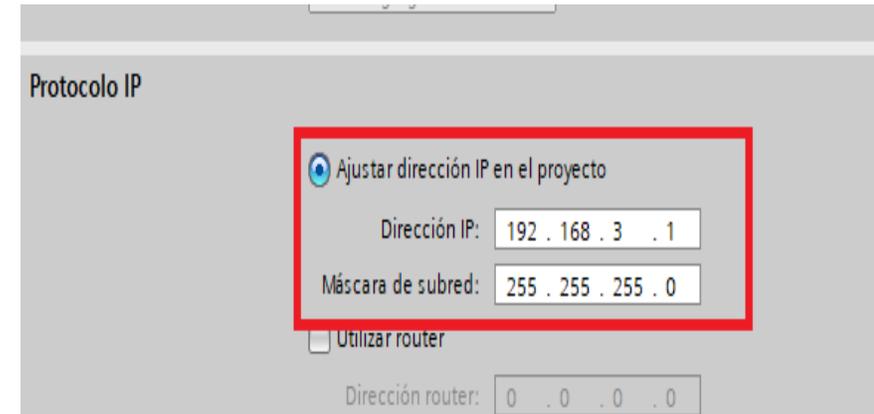
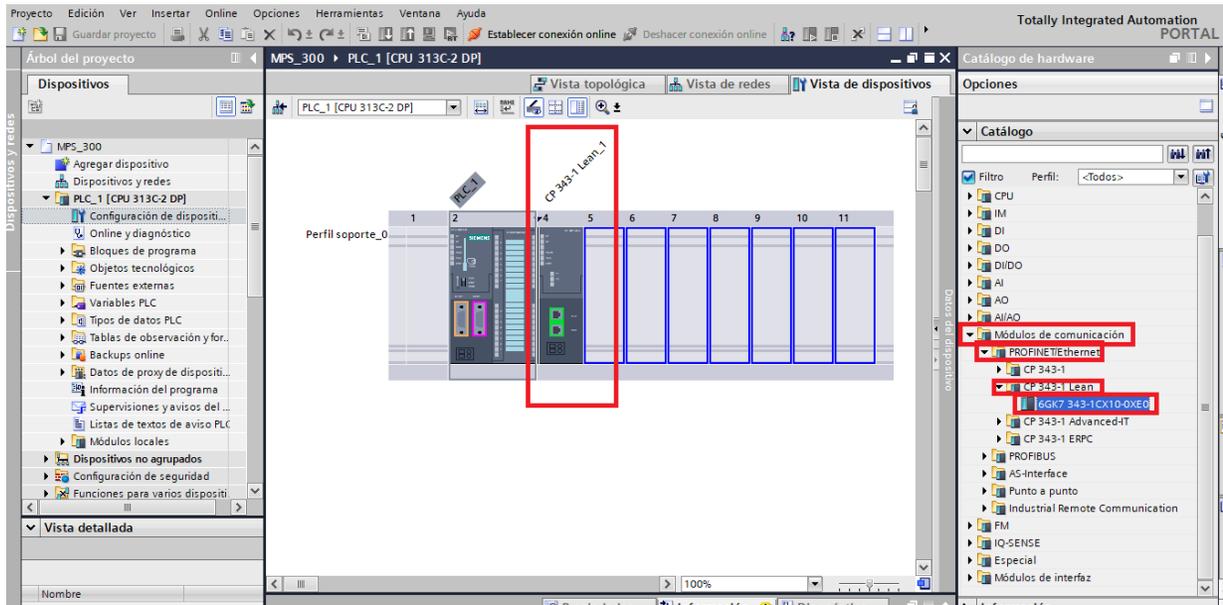
DECLARACION  
VARIABLES

INSTANCIA DEL CONTROLADOR

PROGRAMACIÓN DE SENSORES Y  
ACTUADORES

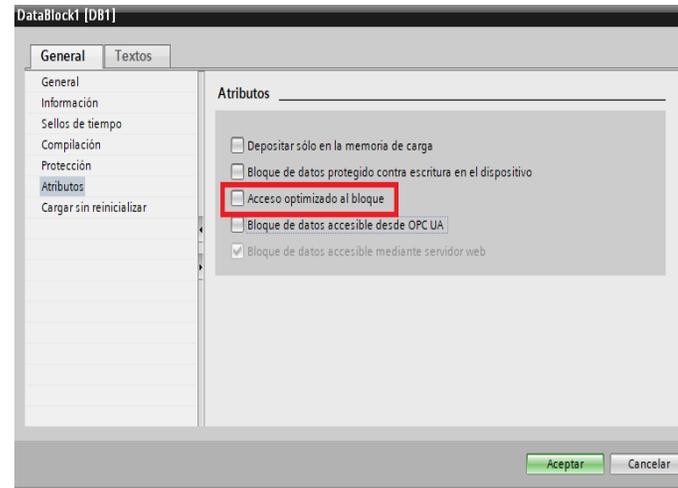
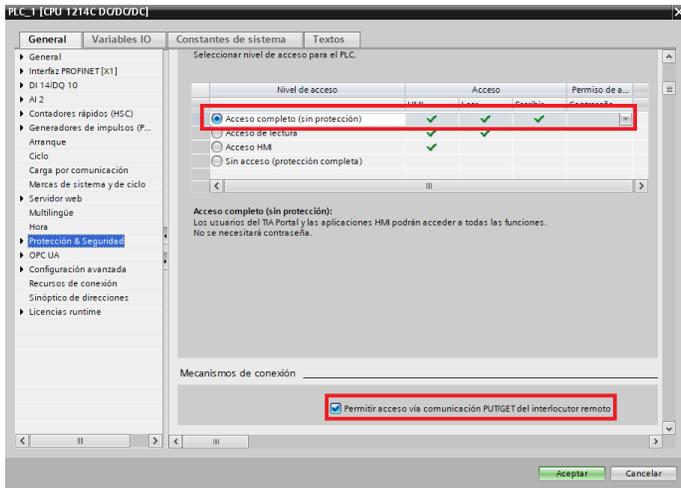
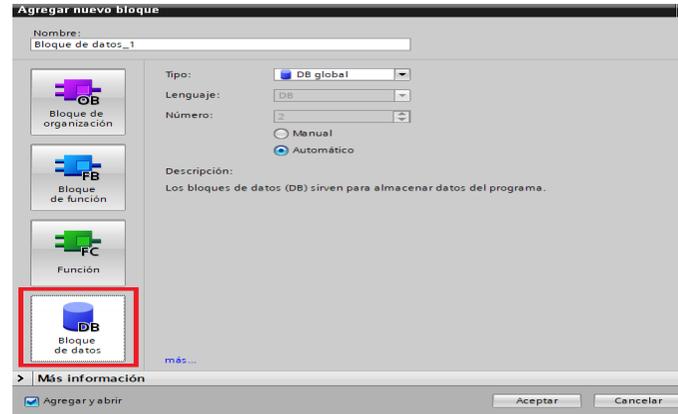
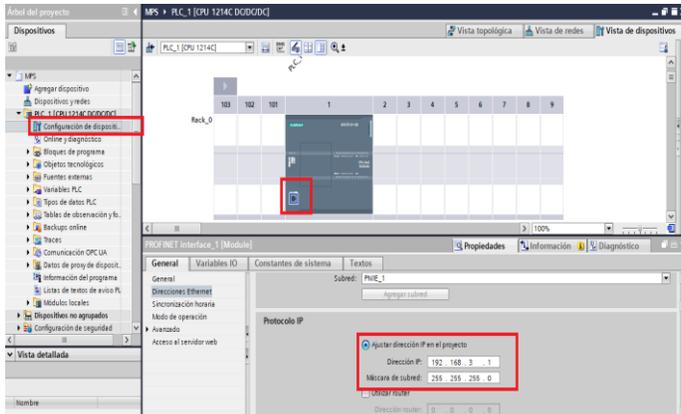
## Programación en TIA Portal

### Configuración de protocolo de comunicación para s7-300



## Programación en TIA Portal

### Configuración de protocolo de comunicación para s7-1200 y S7-1500



1. Configuración IP de dispositivo.
2. Solo se puede acceder a las bases de datos globales.
3. El acceso optimizado al bloque debe estar desactivado.
4. El nivel de acceso debe ser "full" y el "mecanismo de conexión" debe permitir GET/PUT.

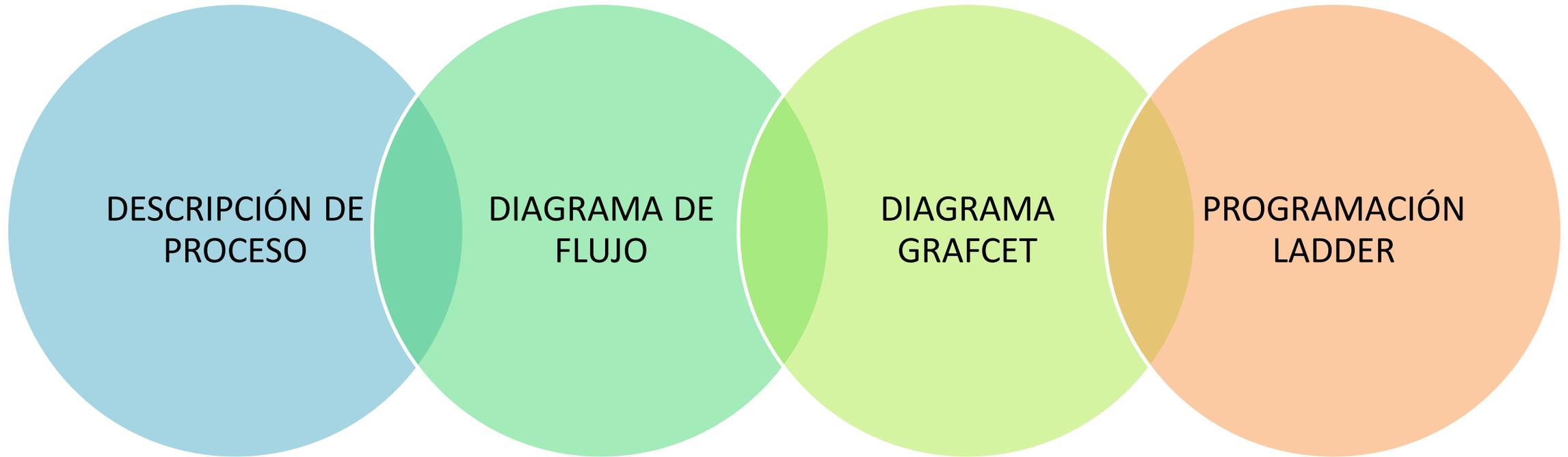
## Programación en TIA Portal

### Bloque de Datos - Variables

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de a..	Instantá...	Re...	Ac...	Es...	V...	Valor ...	Comentario
1	Static					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	SENSOR_PIEZA_DISPONIBLE	Bool	0.0	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR DE PIEZA DISPONIBLE
3	SENSOR_PIEZA_NO_NEGRA	Bool	0.1	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR DE PIEZA NO NEGRA
4	SENSOR_INDUCTIVO	Bool	0.2	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR BARRERA DE LUZ DE SEGURIDAD
5	SENSOR_ALTURA	Bool	0.3	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR DE ALTURA DE PIEZA
6	ELEVADOR_ARRIBA	Bool	0.4	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR DE ELEVADOR EN POSICIÓN ARRIBA
7	ELEVADOR_ABAJO	Bool	0.5	false	TRUE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR DE ELEVADOR EN POSICIÓN ABAJO
8	CILINDRO_EMPUJE_POS	Bool	0.6	false	TRUE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SENSOR DE CILINDRO EN POSICIÓN
9	START	Bool	0.7	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	BOTÓN START
10	STOP	Bool	1.0	false	FALSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	BOTÓN STOP
11	MOVER_ELEVADOR_ARRIBA	Bool	1.1	false	--	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACCIONAR ELEVADOR HACIA ARRIBA
12	MOVER_ELEVADOR_ABAJO	Bool	1.2	false	--	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACCIONAR ELEVADOR HACIA ABAJO
13	ACCIONAR_CILINDRO	Bool	1.3	false	--	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACCIONAR CILINDRO DE EMPUJE
14	ACTIVAR_CAMA_AIRE	Bool	1.4	false	--	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ACTIVAR CAMA DE AIRE
15	DESACTIVAR_CAMA_AIRE	Bool	1.5	false	--	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DESACTIVAR CAMA DE AIRE

## Programación en TIA Portal

*Descripción del proceso de automatización para verificación de piezas rojas y metálicas*



## Programación en TIA Portal

Descripción del proceso de automatización para verificación de piezas rojas y metálicas



## PROCESO DE VERIFICACIÓN



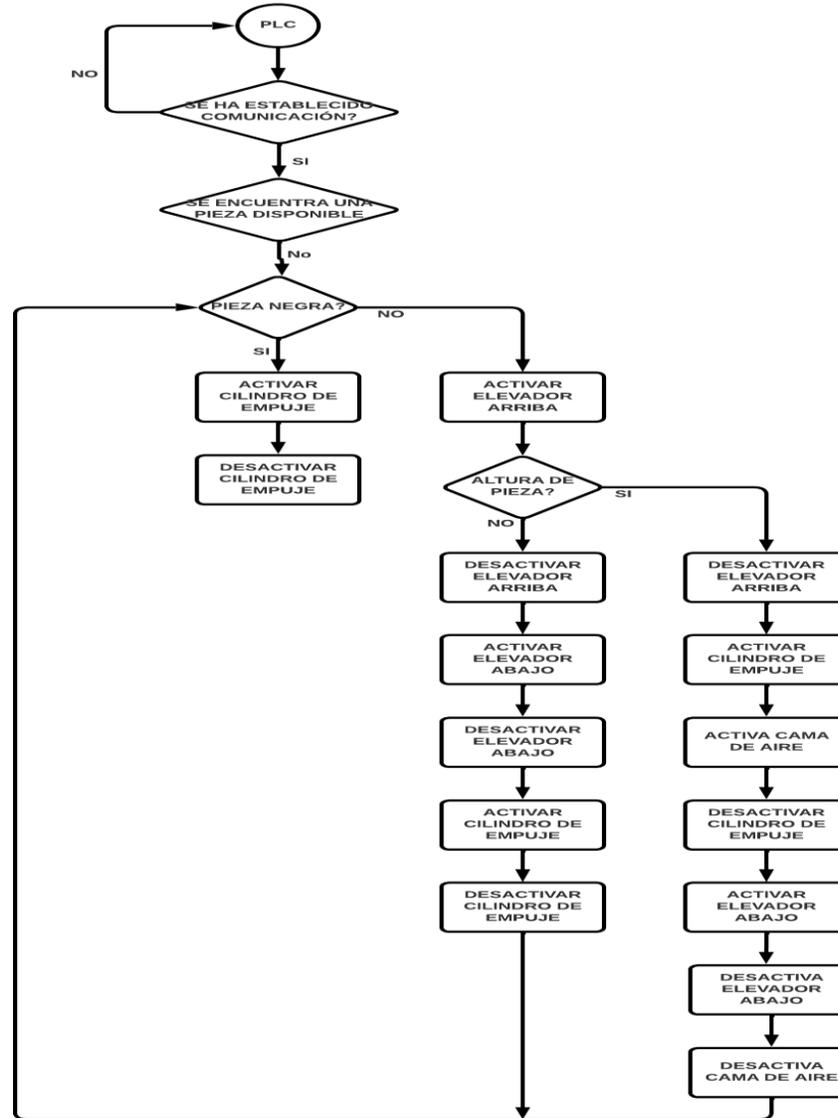
PIEZAS ROJAS Y METALICAS  
QUE CUMPLEN CON EL  
TAMAÑO



TODAS LAS PIEZAS  
NEGRAS, ADEMÁS LAS  
PIEZAS ROJAS Y METALICAS  
QUE NO CUMPLEN CON EL  
TAMAÑO

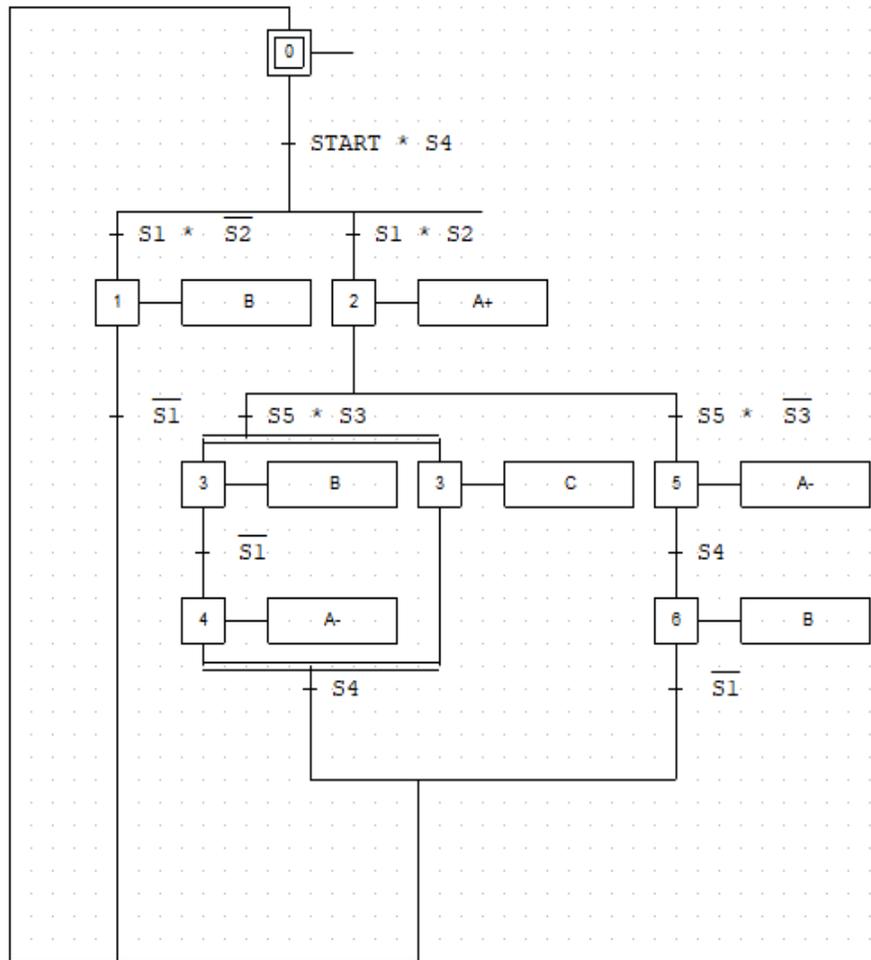
## Programación en TIA Portal

*Diagrama de flujo para el proceso de automatización para verificación de piezas rojas y metálicas*



## Programación en TIA Portal

### Diagrama GRAFCET para el proceso de automatización para verificación de piezas rojas y metálicas



ENTRADAS	
START	I0.0
STOP	I0.1
S1	I0.2
S2	I0.3
S3	I0.4
S4	I0.5
S5	I0.6
S6	I0.7

SALIDAS	
A+	Q0.0
A-	Q0.1
B	Q0.2
C	Q0.3
	Q0.4
	Q0.5
	Q0.6
	Q0.7

#### ENTRADAS

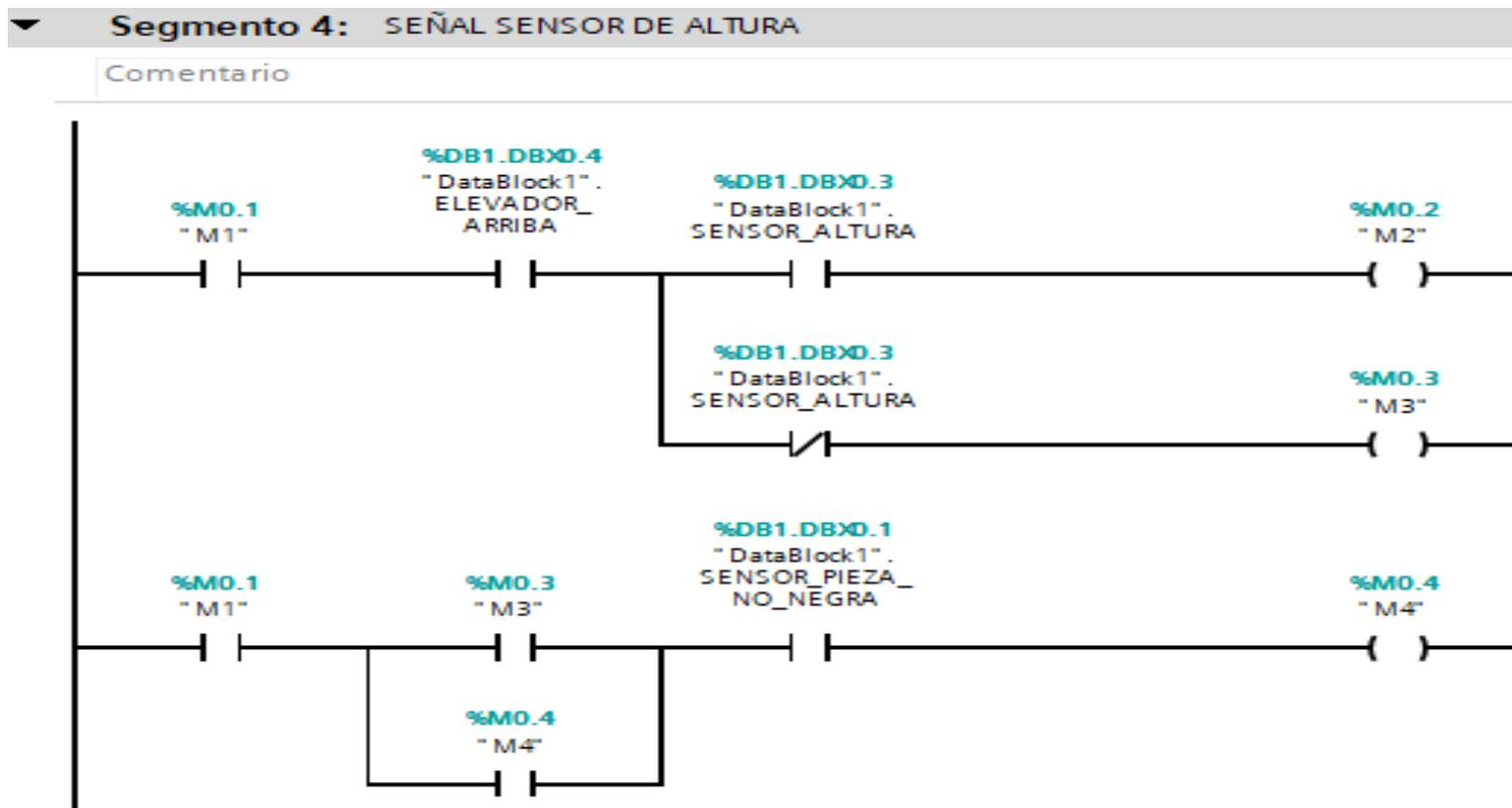
Nomenclatura	Descripción
START	Botón Start
STOP	Botón Start
S1	Sensor de proximidad capacitivo
S2	Sensor de proximidad óptico
S3	Sensor de altura
S4	Sensor fin de carrera inferior
S5	Sensor fin de carrera superior
S6	Sensor de empuje en posición trasera

#### SALIDAS

Nomenclatura	Descripción
A+	Activar elevador hacia arriba
A-	Activar elevador hacia abajo
B	Activar cilindro de empuje
C	Activar cama de aire

## Programación en TIA Portal

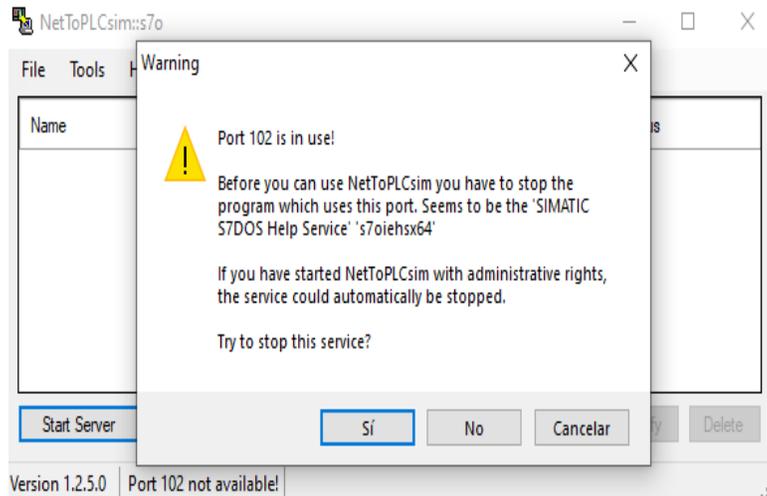
### Programación Ladder proceso de automatización para verificación de piezas rojas y metálicas



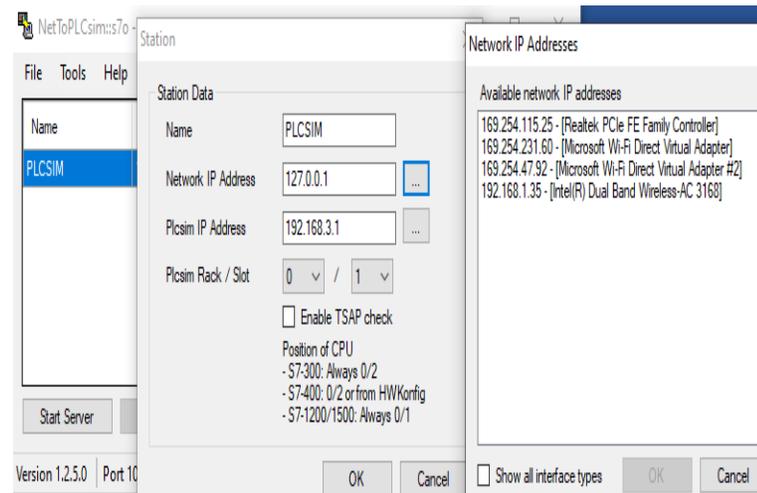
## Configuración NetToPLCsim

**Programación Ladder proceso de automatización para verificación de piezas rojas y metálicas**

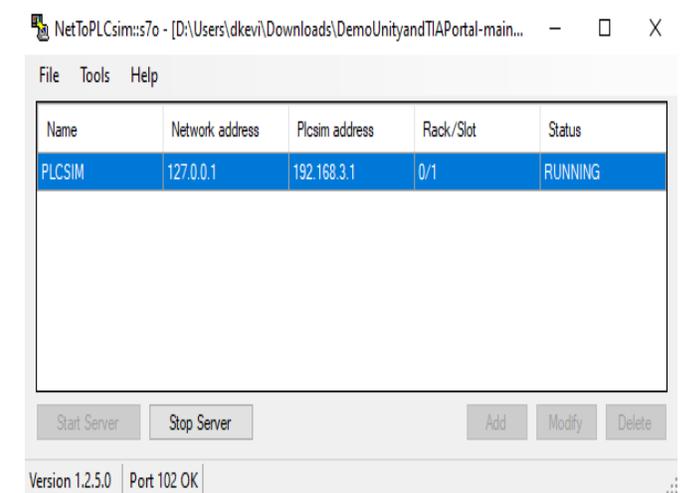
### Permisos para uso del puerto 102



### Configuración del servidor

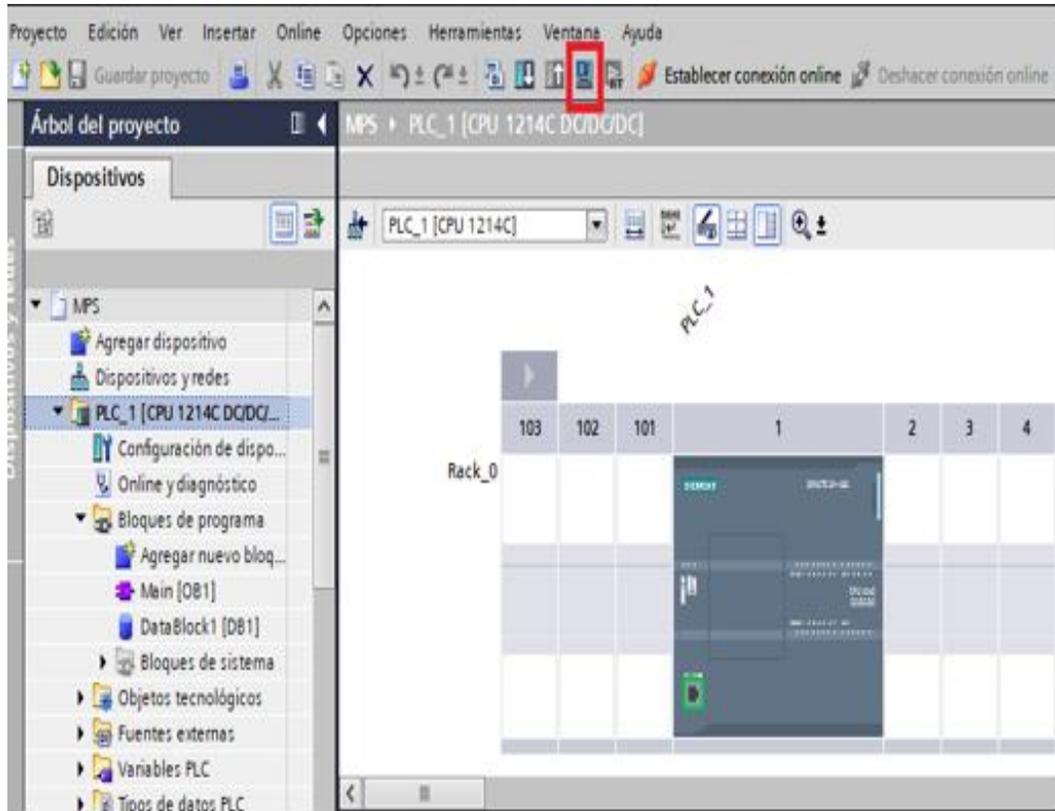


### Establecer conexión

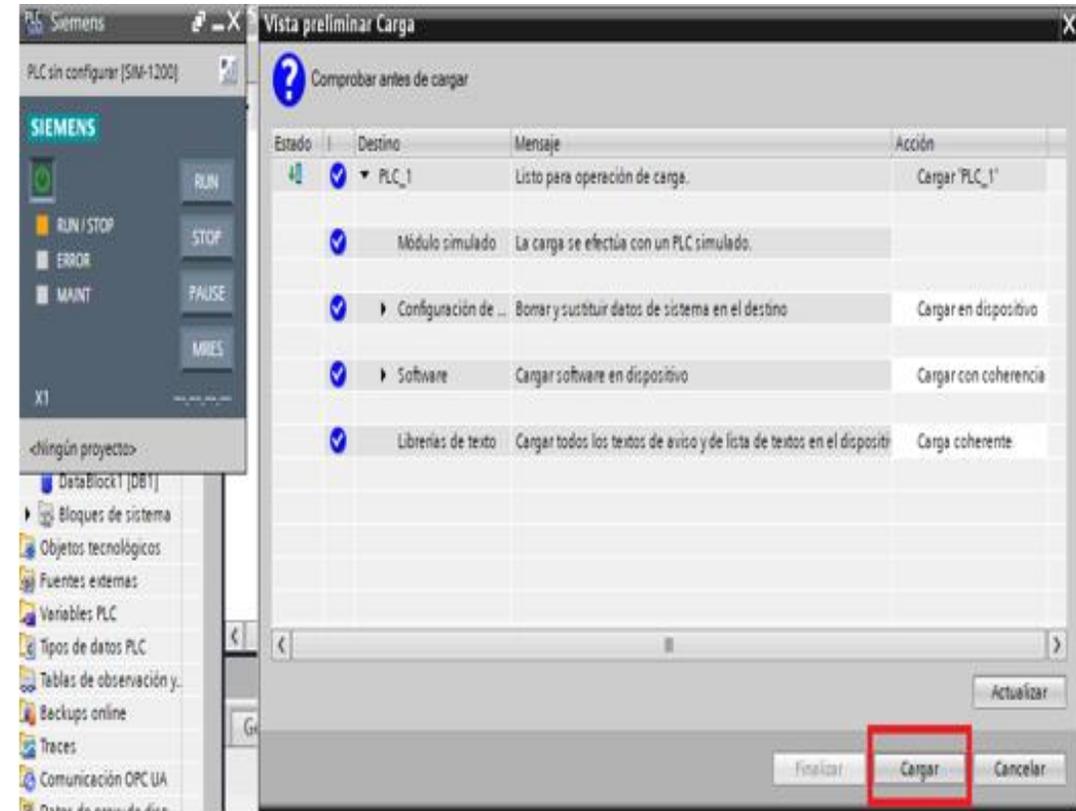


## Adquisición de datos

### Simulación y carga de programa a PLCSIM



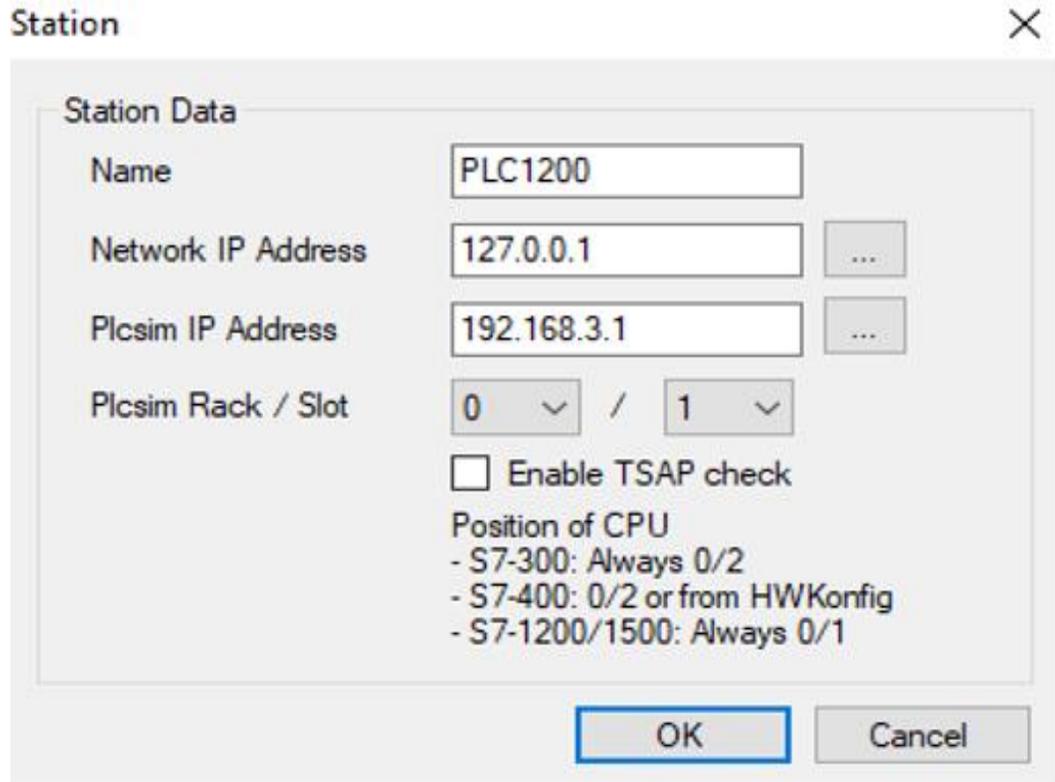
a)



b)

## Adquisición de datos

### Configuración de comunicación entre el entorno virtual y TIA Portal



a)



b)

## Resultados de la prueba de funcionamiento Manual

### Prueba de funcionamiento de actuadores en modo manual

Actuadores	Número de pruebas	Número de aciertos	Número de desaciertos	Porcentaje de aciertos
Elevador hacia arriba	10	10	0	100%
Elevador hacia abajo	10	10	0	100%
Cilindro de empuje	10	10	0	100%
Cama de aire	10	10	0	100%
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

Prueba de funcionamiento de actuadores en modo manual.

Sensores	Número de pruebas	Número de aciertos	Número de desaciertos	Porcentaje de aciertos
Sensor de Proximidad capacitivo	10	10	0	100%
Sensor de Proximidad óptico	10	10	0	100%
Sensor analógico de desplazamiento lineal	10	10	0	100%
Sensor fin de carrera inferior	10	10	0	100%
Sensor fin de carrera superior	10	10	0	100%
Sensor de proximidad magnético	10	10	0	100%
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

## Resultados de la prueba de comunicación entre el entorno virtual y TIA Portal

Se realizaron las pruebas de comunicación bilateral con un total de 20 pruebas.

Adquisición de señales	Numero de pruebas	Funciona	No funciona	Porcentaje
Desde TIA Portal hacia el entorno virtual	10	7	3	70%
Desde el entorno virtual hacia TIA Portal	10	10	0	100%
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>85%</b>

## Resultados de la prueba de adquisición de señales entre el entorno virtual y TIA Portal

Se realizaron las pruebas de adquisición de señales con tres tipos de PLC con diferentes valores de dirección IP y de puerta de enlace.

PLC	Número de pruebas	Conectado	No Conectado	Porcentaje de conectividad
S7-300	5	4	1	80%
S7-1200	5	5	0	100%
S7-1500	5	5	0	100%
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>93.33%</b>

## Resultados de la prueba de funcionamiento Modo Automático

### Prueba de funcionamiento de actuadores en modo automático

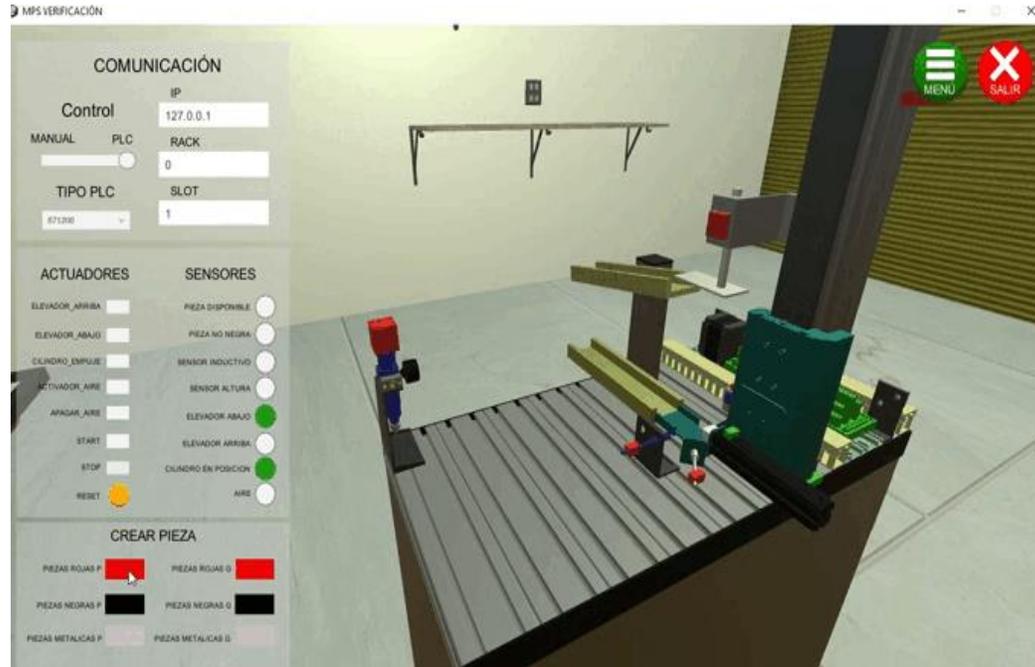
Actuadores	Número de pruebas	Número de aciertos	Número de desaciertos	Porcentaje de aciertos
Elevador hacia arriba	10	10	0	100%
Elevador hacia abajo	10	10	0	100%
Cilindro de empuje	10	10	0	100%
Cama de aire	10	10	0	100%
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

### Prueba de funcionamiento de sensores en modo automático

Sensores	Número de pruebas	Número de aciertos	Número de desaciertos	Porcentaje de aciertos
Sensor de Proximidad capacitivo	10	10	0	100%
Sensor de Proximidad óptico	10	10	0	100%
Sensor analógico de desplazamiento lineal	10	10	0	100%
Sensor fin de carrera inferior	10	10	0	100%
Sensor fin de carrera superior	10	10	0	100%
Sensor de proximidad magnético	10	10	0	100%
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>

## Prueba de funcionamiento de secuencias

La prueba se realizó con la programación de automatización antes propuesta con la utilización de un PLC S7-1200



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO

Pieza	Comportamiento de la estación virtual	Verificación
Pieza Negra Pequeña	Rechaza todas las piezas de color negro sin importar el tamaño.	✓
Pieza Roja Pequeña	Activa el elevador hasta el sensor de tamaño, no cumple el tamaño, entonces baja el elevador y rechaza la pieza en la bandeja inferior.	✓
Pieza Metálica Pequeña	Activa el elevador hasta el sensor de tamaño, no cumple el tamaño, entonces baja el elevador y rechaza la pieza en la bandeja inferior.	✓
Pieza Negra Grande	Rechaza todas las piezas de color negro sin importar el tamaño	✓
Pieza Roja Grande	Activa el elevador hasta el sensor de tamaño, Si cumple el tamaño, activa el cilindro de empuje y la cama de aire de la bandeja superior. Regresa a la posición inicial-	✓
Pieza Metálica Grande	Activa el elevador hasta el sensor de tamaño, Si cumple el tamaño, activa el cilindro de empuje y la cama de aire de la bandeja superior. Regresa a la posición inicial-	✓

## Prueba de Rendimiento

La prueba se realizó con tres equipos diferentes con las siguientes características

Equipo	Procesador	Memoria RAM	Almacenamiento	Tarjeta de video
Laptop HP Pavilion 15	Intel Core i7-7500U CPU 2.70 GHz	16 Gb	1 TB + 480 GB SSD	NVIDIA GeForce 940 MX
Laptop Asus ZenBook 14	Intel Core i7-10900U CPU 2.70 GHz	16 Gb	500 GB SSD	NVIDIA GeForce 1060
CPU Lenovo	Intel Core i7-8700 CPU 3.2 GHz	8 Gb	500 GB SSD y 500 GB HDD	Intel UHD Graphics 630

# PRUEBAS Y RESULTADOS

Datos porcentuales del consumo del sistema en funcionamiento manual de la estación.

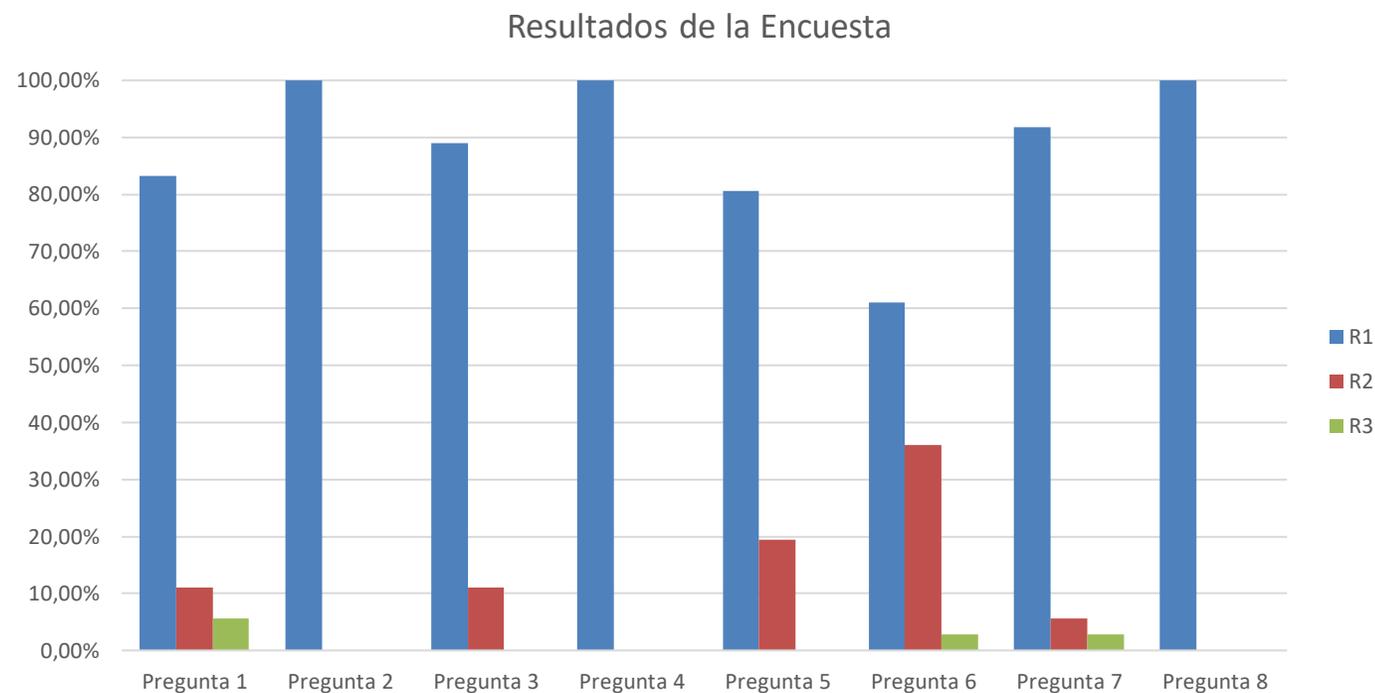
Equipo	FPS (Promedio)	CPU (%)	RAM (GB)	GPU (%)
Laptop HP Pavilion 15	120	50%	7.8 GB	96%
Laptop Asus ZenBook 14	135	28%	8.2 GB	96%
CPU Lenovo	150	25%	6.7 GB	98%

Datos porcentuales del consumo del sistema en funcionamiento automático de la estación.

Equipo	FPS (Promedio)	CPU (%)	RAM (GB)	GPU (%)
Laptop HP Pavilion 15	80	80%	9.5 GB	98%
Laptop Asus ZenBook 14	110	52%	10 GB	98%
CPU Lenovo	125	50%	7.8 GB	99%

## Encuesta de validación del entorno virtual de la estación de verificación

- El 100% (36 personas) consideran a los entornos virtuales como una herramienta de aporte a la educación.
- El 80.6% (29 personas) de los encuestados experimentaron una complejidad baja al usar el entorno en modo manual y el 61.1% (22 personas) en modo automático.
- El 100% (36 personas) consideran que la estación MPS de Verificación virtual se asemeja a la real.
- El 91.7% (33 personas) indicaron que, el uso del entorno virtual de verificación sería adecuado implementarlo para nivel de educación de pregrado.



## Validación de la encuesta mediante Alfa de Cronbach

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right]$$

Donde:

$\alpha$ : Alfa de Cronbach  $k$ : Número de ítems

$V_i$ : Varianza de cada ítem

$V_t$ : Varianza del total

Datos:

Número de ítems  $k = 7$

Sumatoria de varianza de cada ítem  $V_i = 1.048$

Varianza del total  $V_t = 2.778$

$$\alpha = \frac{7}{7-1} \left[ 1 - \frac{1.048}{2.778} \right]$$

$$\alpha = \mathbf{0.727}$$

Con un resultado de 0.727 que corresponde al 72.7% se concluyó que el instrumento tiene un nivel muy bueno de fiabilidad.

Rangos del Alfa de Cronbach.

Índice	Nivel de Fiabilidad	Valor de Alfa de Cronbach
1	Excelente	$0.9 < \alpha < 1$
2	Muy Bueno	$0.7 < \alpha < 0.9$
3	Bueno	$0.5 < \alpha < 0.7$
4	Regular	$0.3 < \alpha < 0.5$
5	Deficiente	$0 < \alpha < 0.3$

# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- El entorno virtual de la estación de verificación cuenta con un **98%** de confiabilidad según las pruebas de aceptación de fábrica, garantizando el correcto funcionamiento del software.
- Además se validó la encuesta con un **72.7%** que corresponde a un nivel muy bueno de fiabilidad, afirmando la hipótesis alternativa, el diseño e implementación de un sistema modular de producción de verificación en un ambiente virtual contribuirá en el proceso de aprendizaje de control y automatización en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Características	Ponderación de las Características	% Valoración obtenida de las pruebas preliminares sobre el 100%	% Ponderación Obtenida	Valoración total (100%)
Funcionamiento Modo Manual	15%	100%	15%	<b>98%</b>
Comunicación	30%	93.33%	28%	
Adquisición de datos	30%	85%	25.5%	
Funcionamiento Modo Automático	20%	100%	20%	
Utilización de recursos	10%	95%	9.5%	

- En este trabajo se diseñó e implementó un sistema modular de producción de verificación en un entorno virtual que permite al usuario interactuar con el entorno ofreciendo una experiencia similar a la real, conocer sobre su funcionamiento, identificar sus componentes, comunicarse con TIA Portal y desarrollar soluciones de automatización de procesos de verificación, con la finalidad de generar destrezas en el proceso de aprendizaje de automatización y control.
- Se logró crear los modelos CAD de los componentes de la estación de verificación mediante el software Autodesk Inventor, permitiendo el diseño de la estación lo más parecido a la real, además mediante la utilización del software Unity 3D y Visual Studio como herramientas de desarrollo se logró la integración de los modelos CAD, simulación de los movimiento de los actuadores y la programación de sensores para el envío y recepción de señales desde el entorno virtual de la estación de verificación hacia TIA Portal.
- Se pudo establecer la comunicación del entorno virtual de la estación de verificación y el programa TIA Portal utilizando protocolo de comunicación Ethernet, empleando la librería de código abierto S7.Net como un complemento entre el motor gráfico Unity 3D y el entorno virtual, proporcionando la posibilidad de simular soluciones de automatización de procesos de verificación.
- Se evaluó la conexión del entorno virtual con tres tipos de PLC virtuales S7-300, S7-1200 y S7-1500, con un total de quince pruebas con diferentes direcciones de IP y direcciones de enlace, teniendo como resultado 93.33% de conexiones exitosas.

- Los resultados del funcionamiento mediante las pruebas de desarrollador demuestran que el entorno virtual de verificación tiene una confiabilidad del 98% en la ejecución y verificación del cumplimiento de requisitos tanto de funcionalidad, comunicación, adquisición de señales, y rendimiento del sistema.
- Los resultados obtenidos de la encuesta de validación demuestran que el entorno virtual de verificación cuenta con una fiabilidad muy buena del 72.7% por parte de los usuarios. Se tomó como muestra estudiantes, egresados y graduados de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.
- El mayor porcentaje de las personas entrevistadas (91.7%) indicaron que el entorno virtual tendría un alto impacto en la educación universitaria, debido a que consideran al entorno virtual como una herramienta educativa que contribuye al aprendizaje en las asignaturas de automatización mecatrónica, PLC y Redes Industrial.
- Se logró determinar mediante la prueba de rendimiento realizada en los equipos probados, que el modo automático del entorno virtual de verificación requiere mayor procesamiento en CPU de hasta el 80%, 9.5 Gb de consumo en RAM y 98% de GPU, con una media de 80 FPS debido al intercambio de datos de comunicación entre el Entorno virtual y el PLC virtual en TIA Portal, diferencia notable con el modo manual en donde el consumo máximo llega a 50% CPU, 7.8 Gb de RAM y 96% en GPU, con una media de 120 FPS.

- Como resultado de este trabajo, se considera para futuros proyectos la implementación de nuevas estaciones modulares de producción que permita la generación de un entorno global de estaciones de automatización y control, con la finalidad de contribuir de mejor manera el aprendizaje y desarrollo de destrezas de programación a propuestas de automatización.
- En trabajos futuros se puede mejorar el rendimiento del entorno virtual con la utilización de hardware más robusto en memoria gráfica y procesamiento para el aumento de fluidez y calidad de imagen del simulador.
- Durante el proceso de adquisición de señales al crear el bloque de datos se debe designar las variables en el orden que se indica que se muestra en el capítulo de implementación, para garantizar la dirección de los sensores y actuadores.
- Es importante leer el manual de usuario para familiarizarse con la interfaz de usuario, controles, modos de funcionamiento, configuración de dispositivos y protocolos de comunicación antes de realizar la interacción con el entorno virtual.
- Se recomienda utilizar el entorno virtual de la estación de verificación a la par con la estación real del Laboratorio de Mecatrónica, para generar un grado mayor de aprendizaje en el área de la automatización y control de procesos industriales.
- Para el uso en el Laboratorio de Mecatrónica, la universidad cuenta con la licencia de TIA Portal V11 que es compatible con el entorno virtual, mientras que para uso doméstico del entorno virtual se recomienda usar el software TIA Portal V16 que consta con una licencia gratuita por 21 días.



***GRACIAS***



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA