



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MODULAR DE PRODUCCIÓN DE CLASIFICACIÓN EN
AMBIENTES VIRTUALES PARA CONTRIBUIR AL APRENDIZAJE DE AUTOMATIZACIÓN**

AUTOR: ARÉVALO ORTIZ, NÉSTOR WILFRIDO

DIRECTORA: ING. CONSTANTE PRÓCEL, PATRICIA NATALY

LATACUNGA, MARZO 2023



OBJETIVO

**FUNDAMENTOS
TEÓRICOS**

**DISEÑO E
IMPLEMENTACIÓN**

**PRUEBAS Y
RESULTADOS**

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**



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



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los componentes reales de la estación MPS de clasificación para poder seleccionar el mejor ambiente de virtualización.
- Modelar los componentes reales de la estación MPS de clasificación mediante un software CAD para su virtualización.
- Realizar las animaciones del ambiente virtual cercanas a la realidad.
- Programar el ambiente virtual para recibir y enviar señales de control, según el programa de ingreso.



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Realidad virtual

Tecnología que permite a los usuarios sumergirse en un entorno, escena u objetos que tiene la apariencia de ser real.



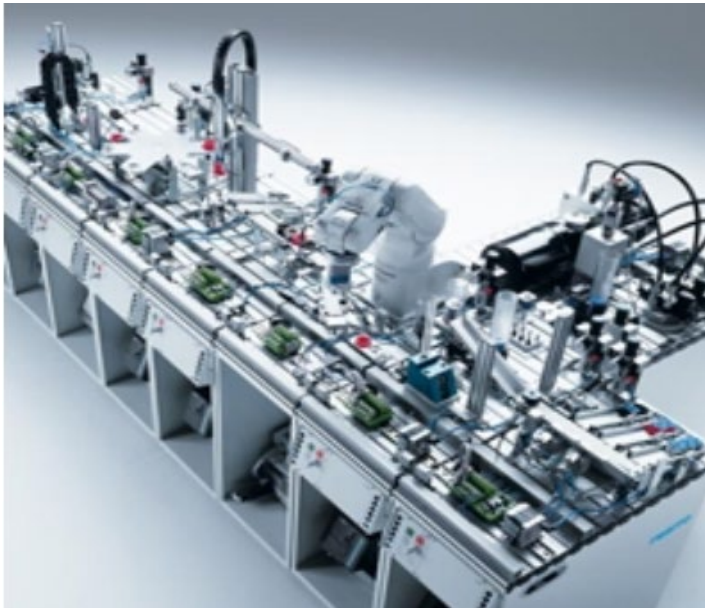
Realidad virtual en la educación

Permiten la integración de características físicas o de interés a un entorno, creando experiencias educativas que interactúan de forma mixta con el usuario y el entorno mediante el uso de un sistema informático.



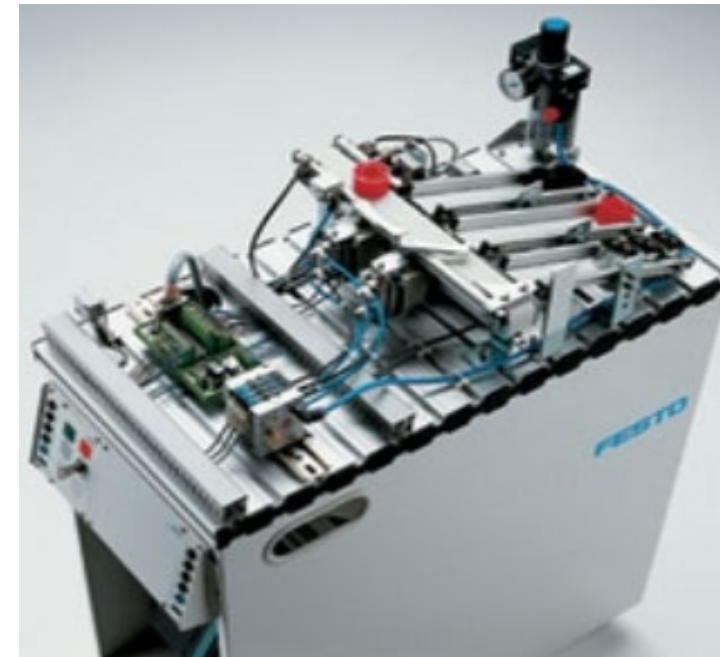
Sistema de Producción Modular MPS

Entornos de aprendizaje desarrollada para el área de mecatrónica y automatización.



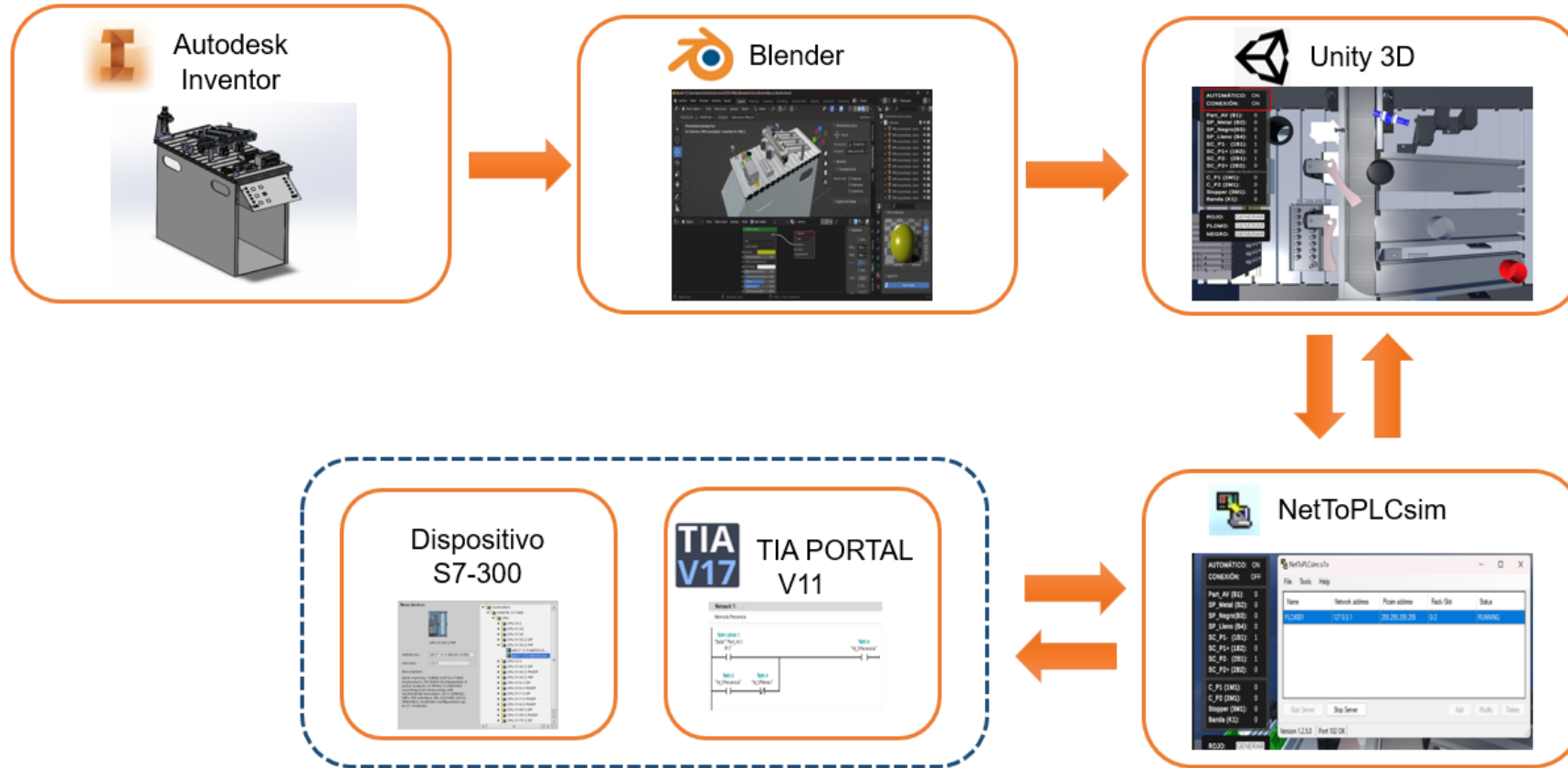
MPS de clasificación

Se trata de un módulo didáctico enfocado en el proceso de clasificación de piezas mediante sus propiedades físicas.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Esquema de la creación del ambiente virtual



Componentes de la estación MPS de clasificación (Sensores)



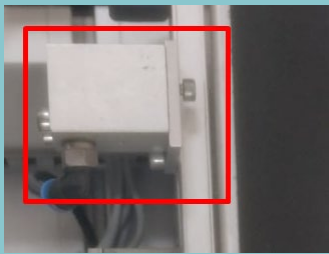
Nomenclatura	Descripción
Part_AV	Sensor óptico de estación disponible
B2	Sensor inductivo para detección de piezas metálicas.
B3	Sensor óptico de detección de piezas no negras
B4	Sensor óptico de detección de rampa llena.

Nomenclatura	Descripción
1B1	Sensor de posición inicial del clasificador 1.
1B2	Sensor de posición final del clasificador 1.
2B1	Sensor de posición inicial del clasificador 2.
2B2	Sensor de posición final del clasificador 2.

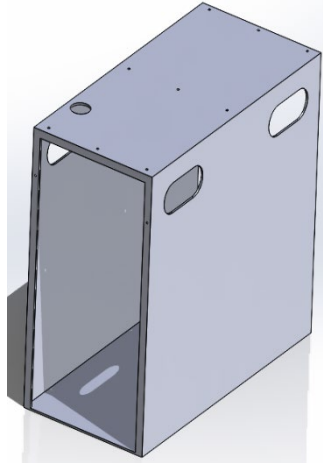


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

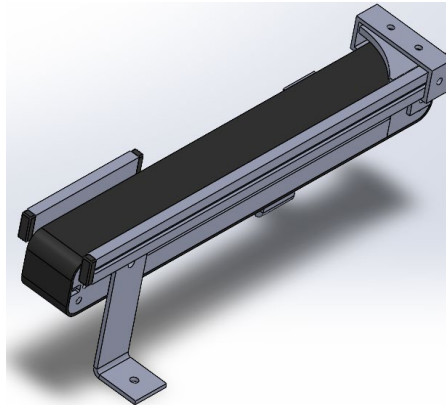
Componentes de la estación MPS de clasificación (Actuadores)

Nomenclatura	Descripción	Figura
K1	Banda transportadora	
1M1	Clasificador 1	
2M2	Clasificador 2	
3M1	Stopper	

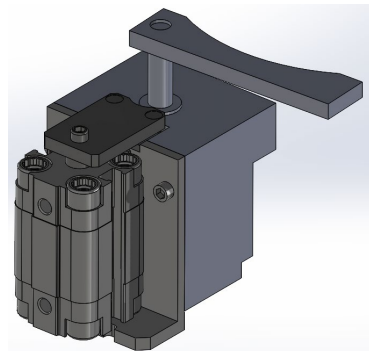
Modelado CAD



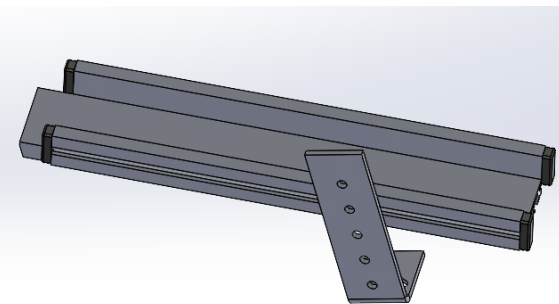
Chasis MPS



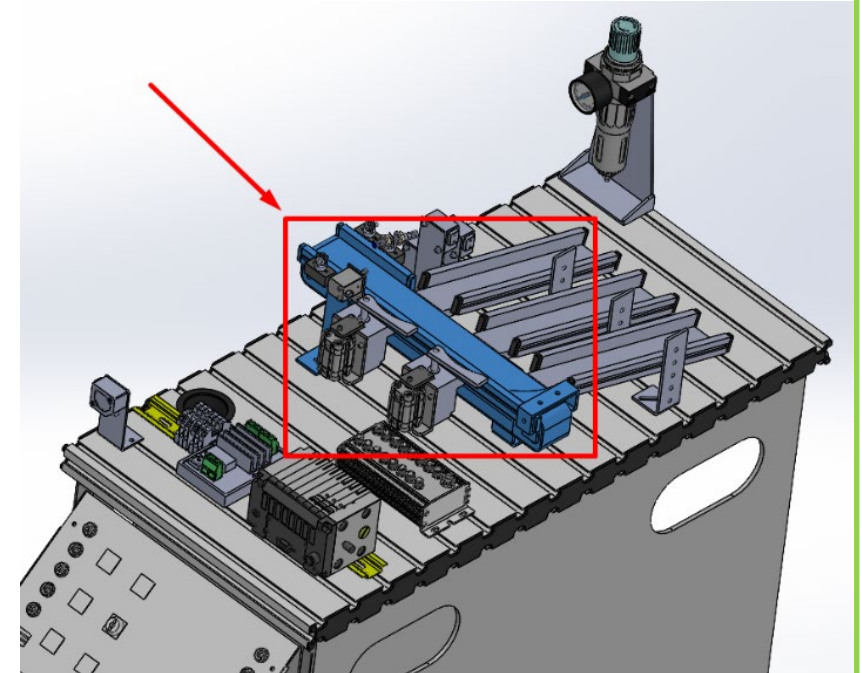
Banda transportadora



Cilindro y desvíos

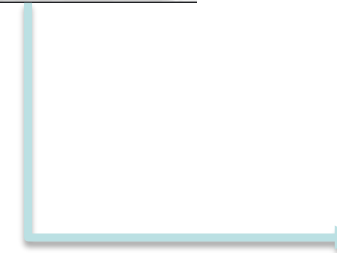
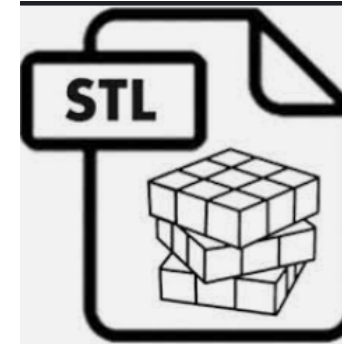
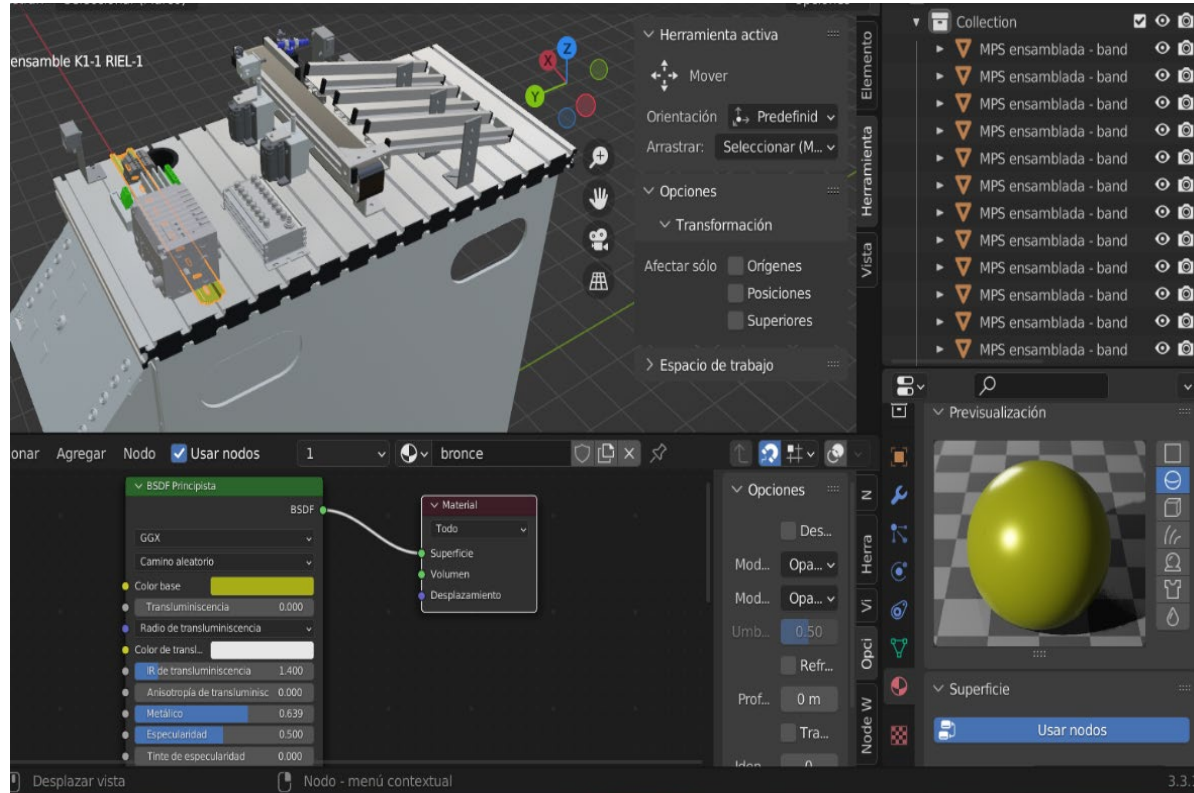


Planos inclinados

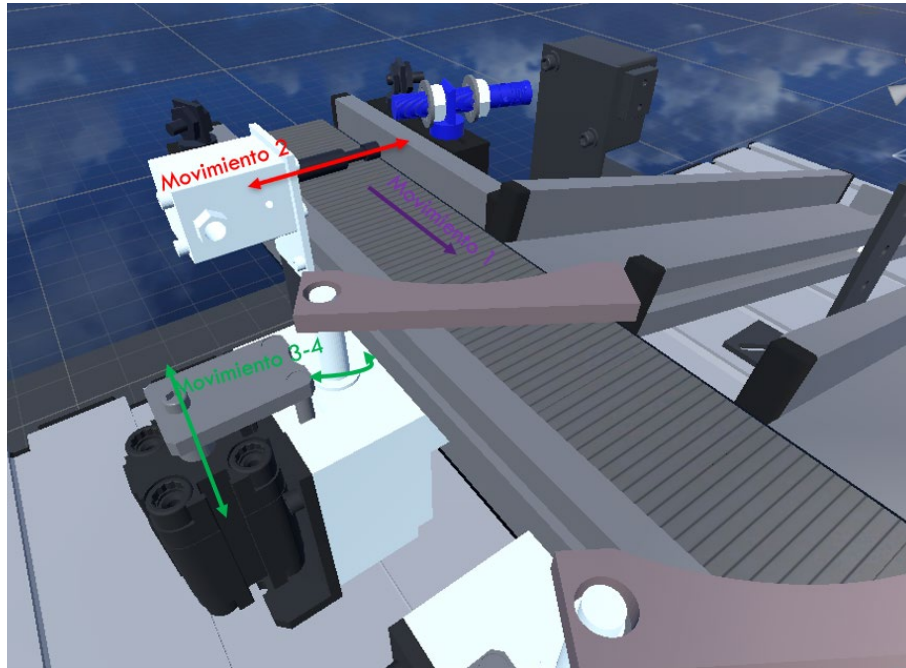


MPS de clasificación

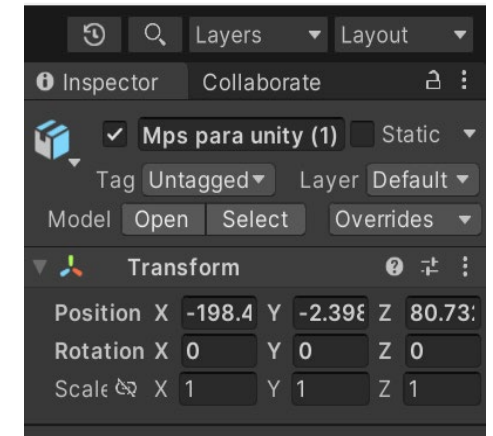
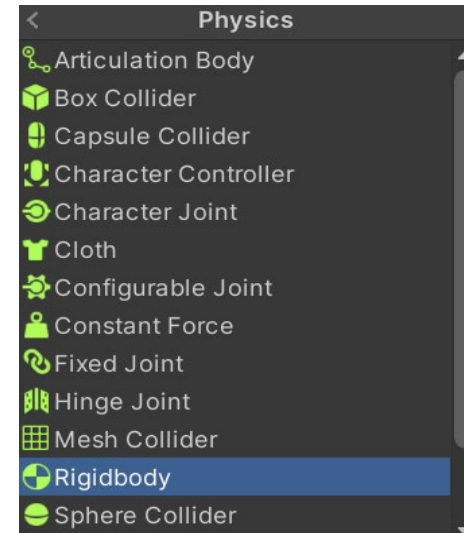
Renderizado



Creación del entorno virtual

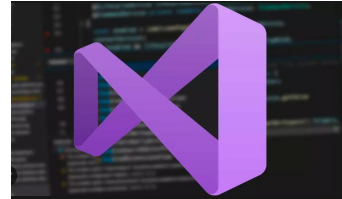


Movimientos fundamentales de la MPS de clasificación



Propiedades físicas para modelos 3D

Visual Studio



Scripts

```
// MOV 1
if (mov1 == 1 && a1 == false)
{
    To1 += Time.deltaTime;
    float speedN;
    if (To1 >= ToM)
    {
        muevel.transform.localEulerAngles = new Vector3(-90, 0, Mathf.Lerp(90, movValue, 1));
        despl.transform.localPosition = new Vector3(despl.transform.localPosition.x, Mathf.Lerp(0.78f, 1.442f, 1), despl.transform.localPosition.z);

        a1 = true;
        To1 = 0;
    }
    else
    {
        speedN = 1 * (To1 / ToM);
        muevel.transform.localEulerAngles = new Vector3(-90, 0, Mathf.Lerp(90, movValue, speedN));
        despl.transform.localPosition = new Vector3(despl.transform.localPosition.x, Mathf.Lerp(0.78f, 1.442f, speedN), despl.transform.localPosition.z);
    }
}

if (mov1 == 0 && a1 == true)
{
```



Programación de la comunicación entre el motor gráfico y el software de programación

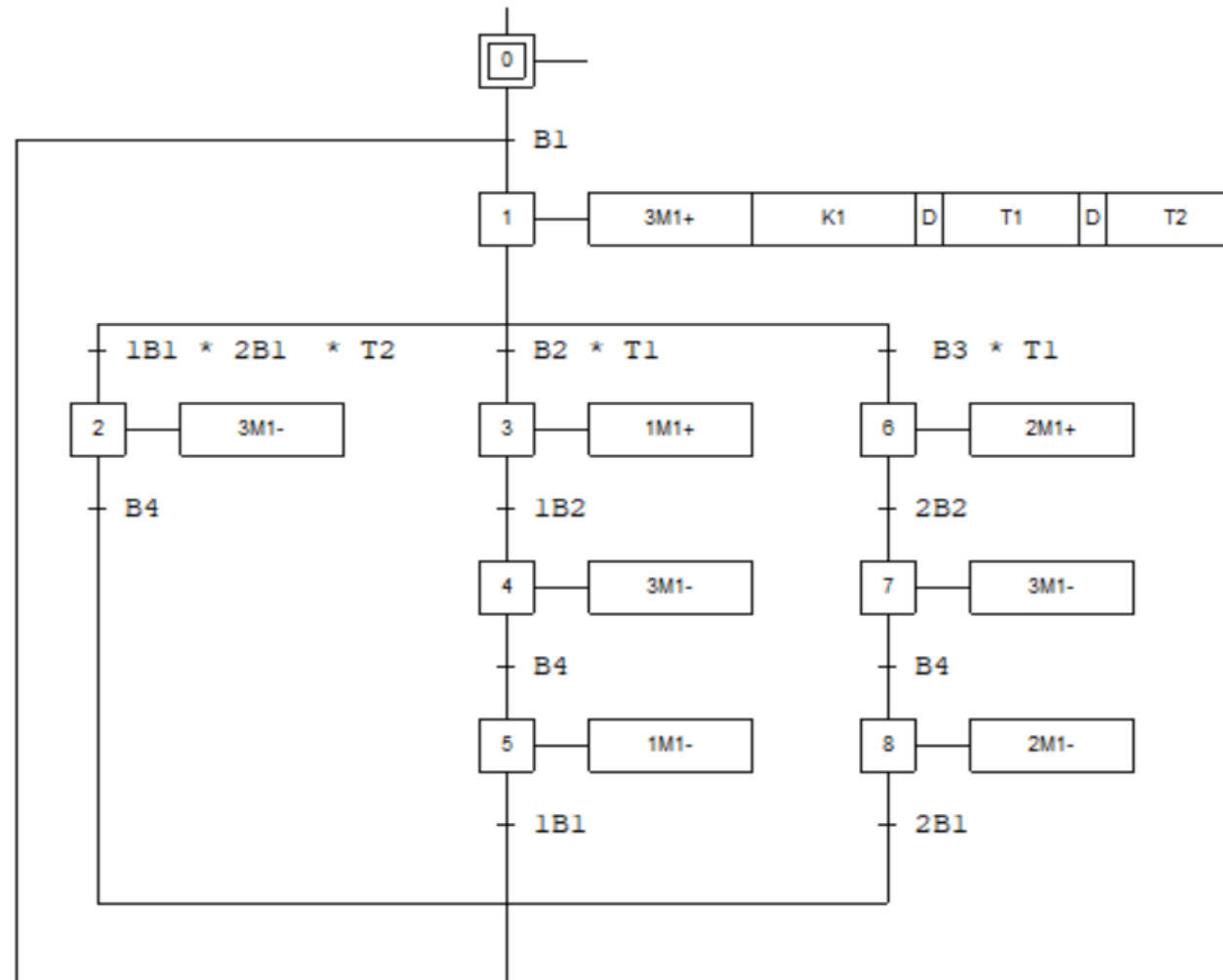


```
referencia
void Conectar()
{
    int connectionResult = CLIENT.ConnectTo(ip, 0, 2); //ip = "127.0.0.1";
    if (connectionResult != 0)
    {
        Debug.LogError("Connection error");
        settings.conexionPLC = false;
        return;
    }
    else
    {
        print("PLC Connected!");
        settings.conexionPLC = true;
    }
}
```

```
Comunicacion Actualizar()
byte[] buffer = new byte[2];
int readResult = CLIENT.DBRead(1, 0, buffer.Length, buffer);
if (readResult != 0)
{
    Debug.LogError("ERROR LEER DATOS");
    return;
}
if (S7.GetBitAt(buffer, 1, 1) == true) { settings.mov1 = 1; } else { settings.mov1 = 0; }
if (S7.GetBitAt(buffer, 1, 2) == true) { settings.mov2 = 1; } else { settings.mov2 = 0; }
if (S7.GetBitAt(buffer, 1, 3) == true) { settings.piston = 1; } else { settings.piston = 0; }
if (S7.GetBitAt(buffer, 1, 4) == true) { settings.cinta = 1; } else { settings.cinta = 0; }
byte[] writeBuffer = new byte[2];
class settings
if (settings.start == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 0, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 0, false); }
if (settings.colorObject == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 1, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 1, false); }
if (settings.colorB2 == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 2, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 2, false); }
if (settings.colorB3 == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 3, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 3, false); }
if (settings.Piezas == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 4, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 4, false); }
if (settings.mov1P == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 5, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 5, false); }
if (settings.mov1N == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 6, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 6, false); }
if (settings.mov2P == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 7, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 0, 7, false); }
if (settings.mov2N == 1) { S7.SetBitAt(writeBuffer, 1, 0, true); } else { S7.SetBitAt(writeBuffer, 1, 0, false); }
int writeResult = CLIENT.DBWrite(1, 0, writeBuffer.Length, writeBuffer);
```

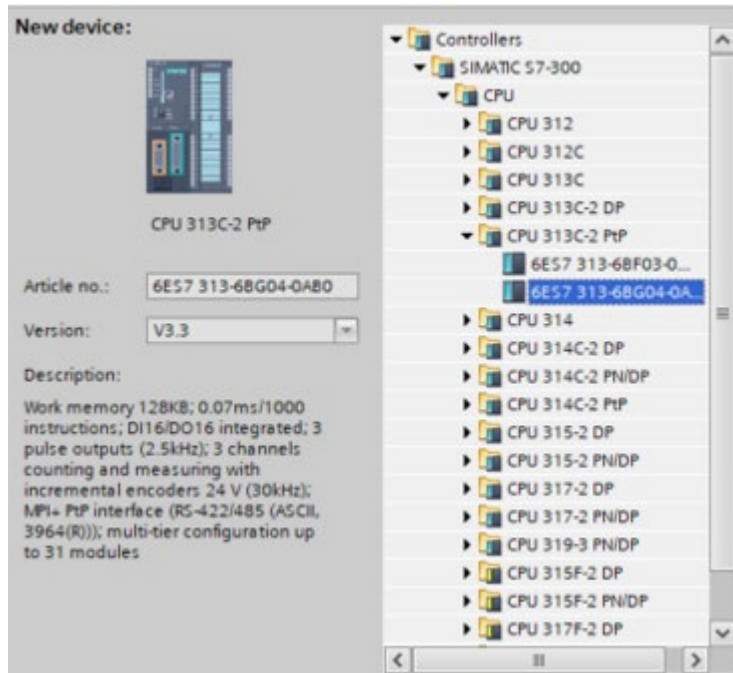


Diagrama GRAFCET del proceso de clasificación de piezas

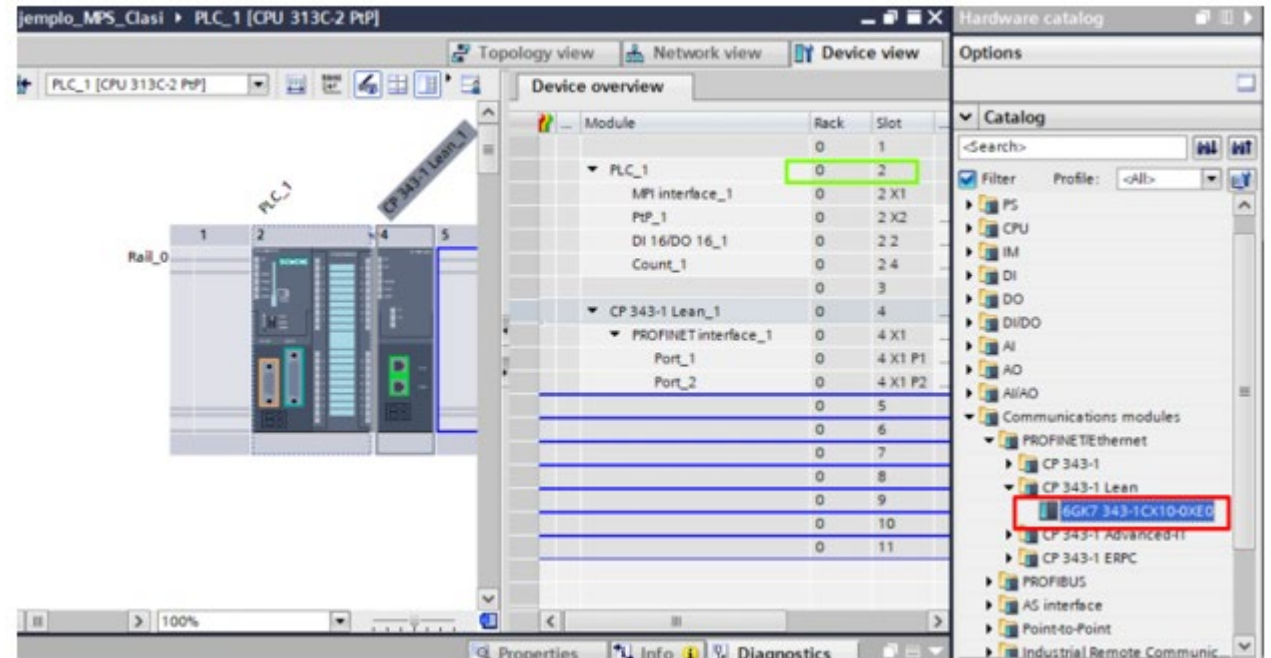


Configuración del software de programación

1



2



Configuración del software de programación

3

MPS_Clasí

Totally Integrated Automation

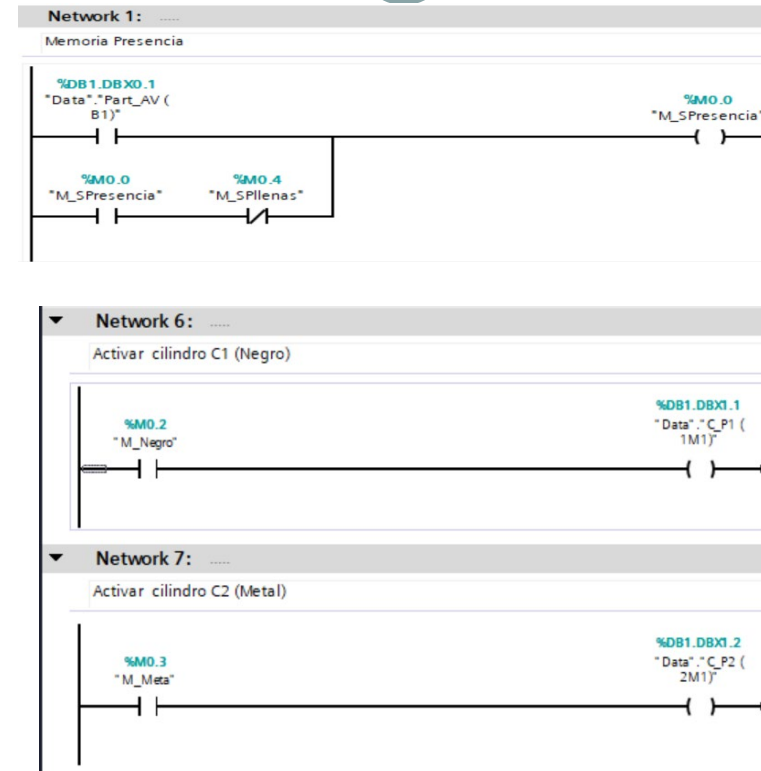
...asi ▶ PLC_1 [CPU 313C-2 PtP] ▶ Program blocks ▶ Data_block_1 [DB1]

Keep actual values Snapshot

Data_block_1

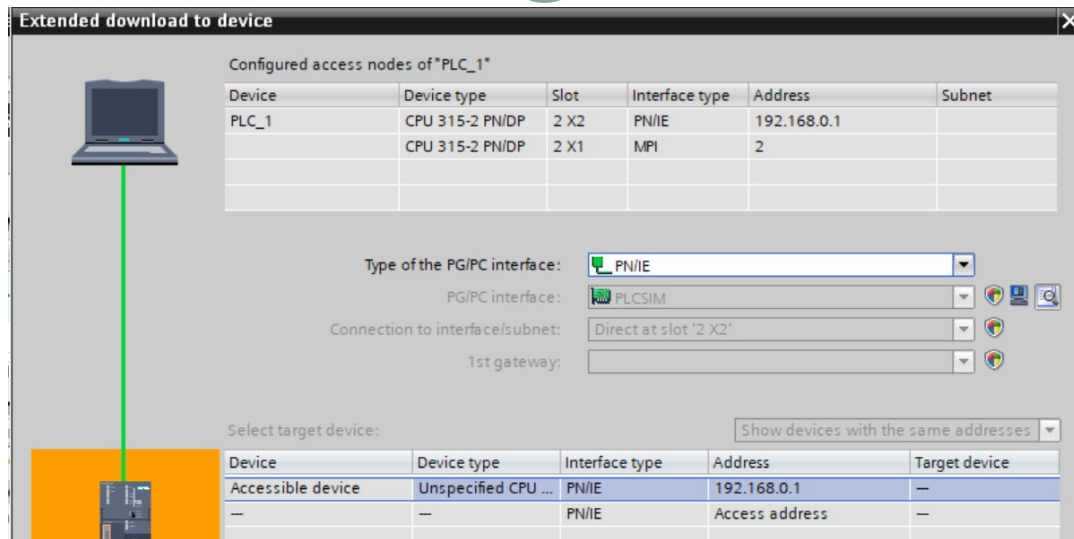
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	...
1	Static					
2	STAR	Bool	0.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	PartAV_(B1)	Bool	0.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	SP_Metal(B2)	Bool	0.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	SP_Negro(B3)	Bool	0.3	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	SP_Lleno(B4)	Bool	0.4	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	SC_P1+(1B2)	Bool	0.5	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	SC_P1-(1B1)	Bool	0.6	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	SC_P2+(2B2)	Bool	0.7	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	SC_P2-(2B1)	Bool	1.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	C_P1(1M1)	Bool	1.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	C_P2(2M1)	Bool	1.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Stopper(3M1)	Bool	1.3	false	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Banda(K1)	Bool	1.4	false	<input checked="" type="checkbox"/>	

4

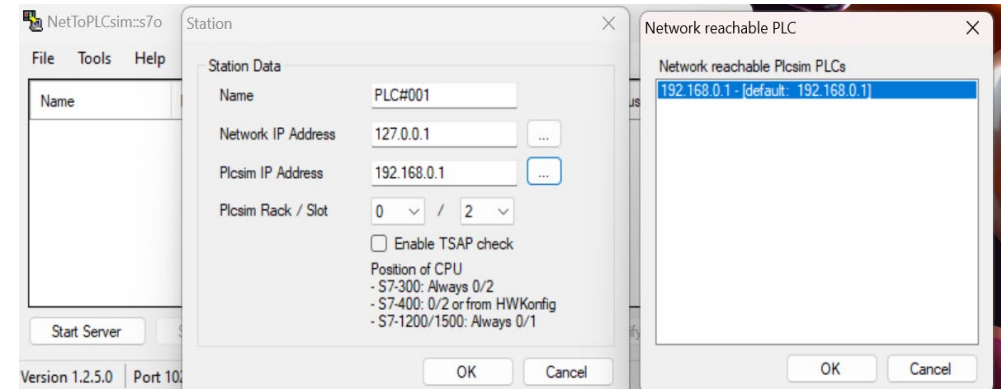


Configuración del software de programación

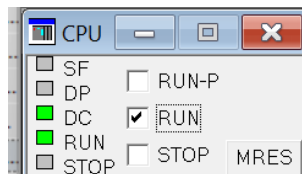
5



7

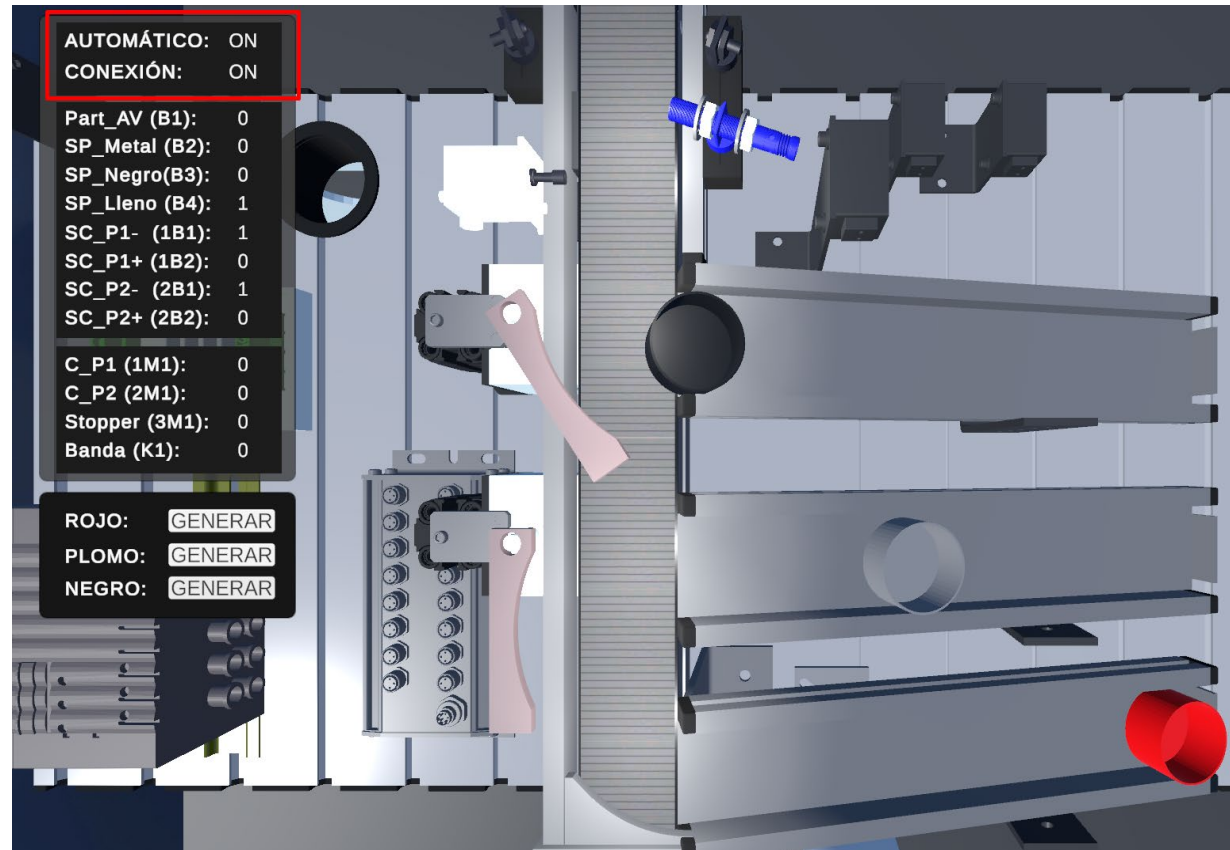


6



Configuración del software de programación

8



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas Funcionales

Características	Portátil 1	Portátil 2	C. Laboratorio
Marca	ASUS	DELL	LENOVO
Procesador	AMD Ryzen 9 5900HS con Radeon Graphics 3.30 GHz	Intel(R) Core(TM) i7- 7500U CPU @ 2.70GHz	Intel(R) Core(TM) i7- 8700H CPU @ 3.20GHz
Memoria	16,0 GB RAM	8GB RAM	8GB RAM
Sistema Operativo	Windows 11 Pro 64 bits	Windows 10 Home 64 bits	Windows 10 Pro 64 bits
Tarjeta gráfica	NVIDIA GeForce GTX 3060	AMD RADEON GRAPHICS	NVIDIA GeForce GTX 1050



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de funcionamiento del motor gráfico



a) Escena de la MPS



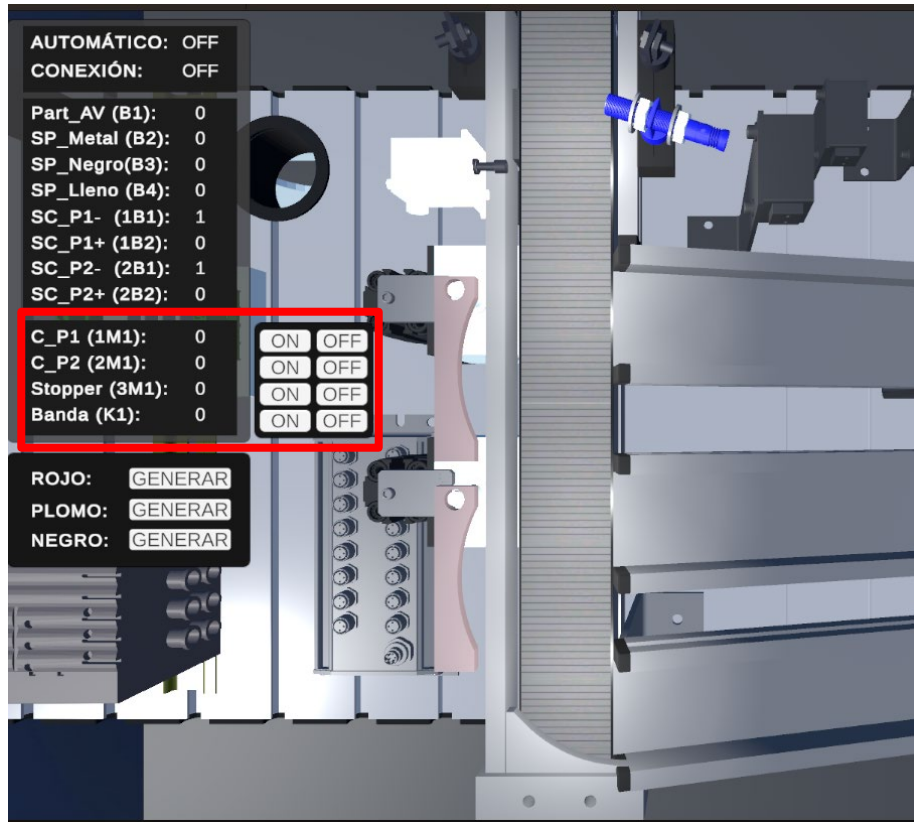
b) Escena de información



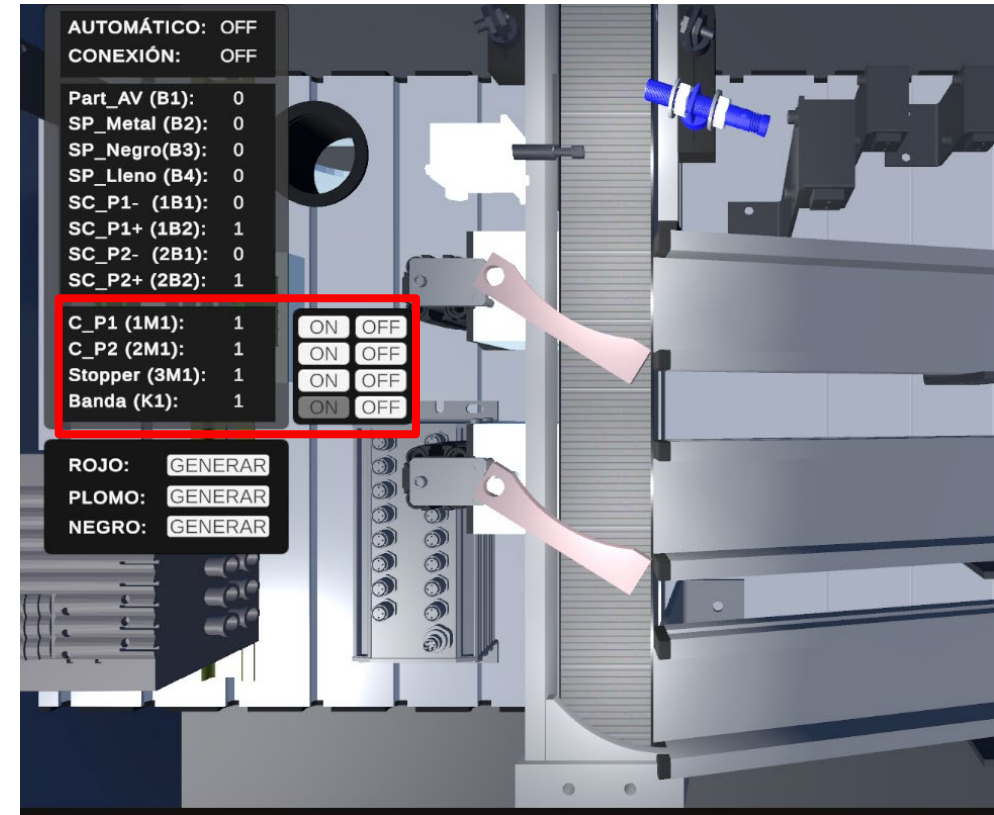
c) Escena Menú, cambio de modo de uso



Funcionamiento modo manual (Actuadores)

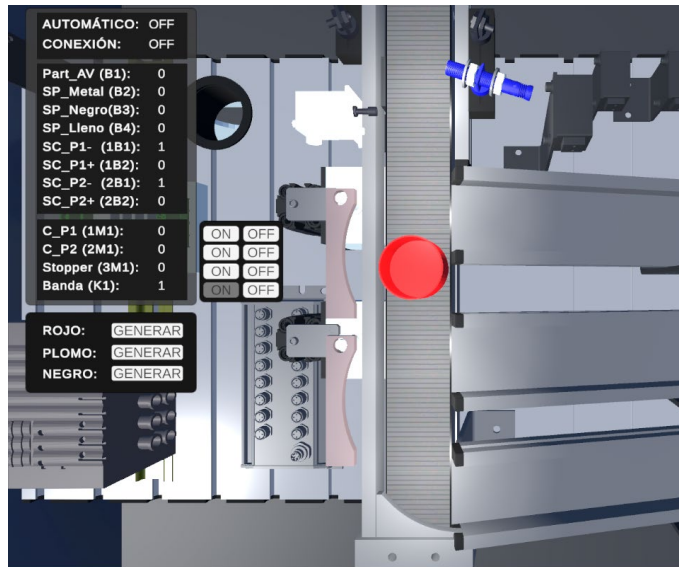


a) Actuadores inactivos

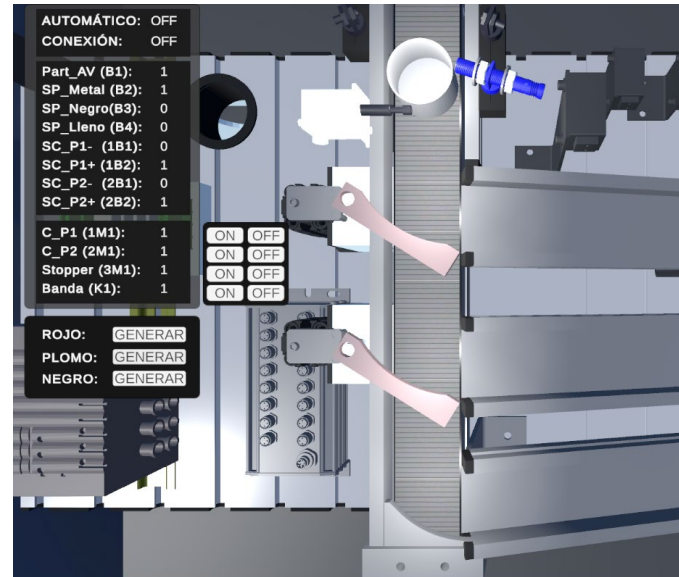


b) Actuadores activos

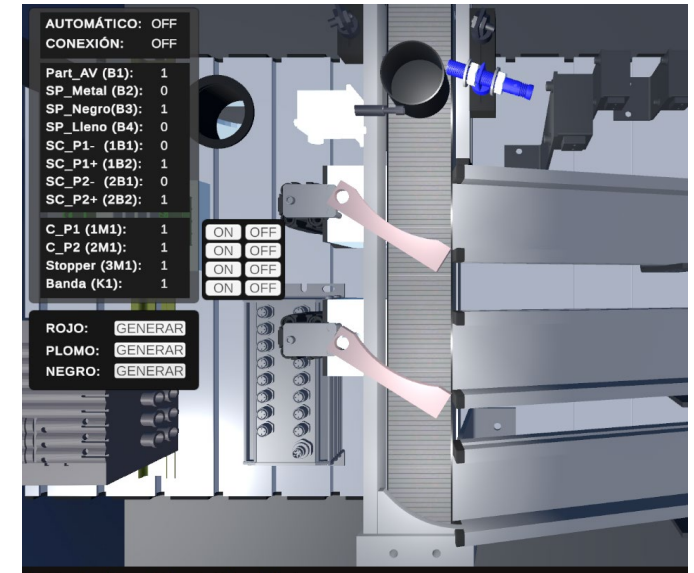
Funcionamiento modo manual (Sensores)



Caso 1. Generar pieza roja

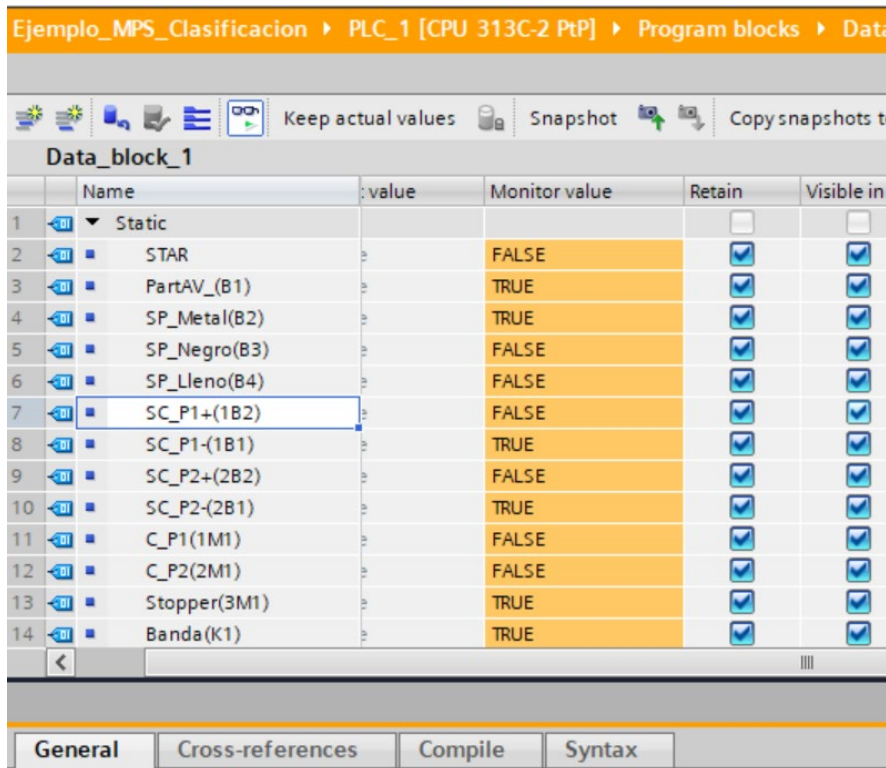


Caso 2. Generar pieza de metal



Caso 3. Generar pieza negra

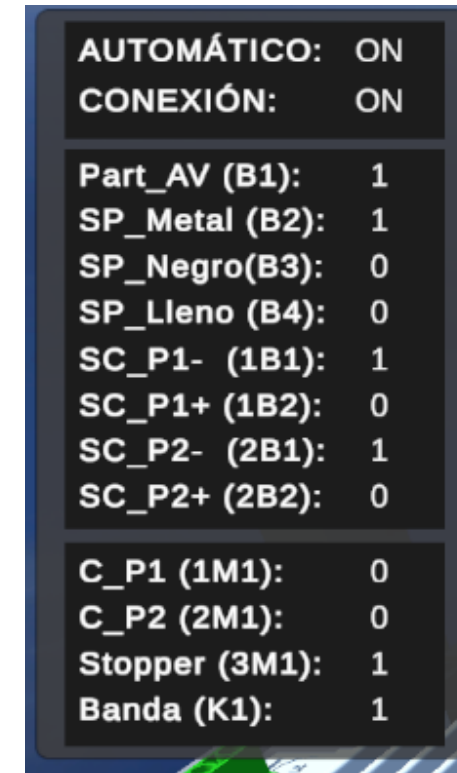
Funcionamiento modo Automático (Envío y recepción de datos)



The screenshot shows the 'Data_block_1' configuration window in Siemens SIMATIC Manager. The table below represents the data shown in the interface:

Name	value	Monitor value	Retain	Visible in
Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
STAR		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PartAV_(B1)		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SP_Metal(B2)		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SP_Negro(B3)		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SP_Lleno(B4)		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SC_P1+(1B2)		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SC_P1-(1B1)		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SC_P2+(2B2)		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SC_P2-(2B1)		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
C_P1(1M1)		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
C_P2(2M1)		FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stopper(3M1)		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Banda(K1)		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

a) Variables en el software de programación

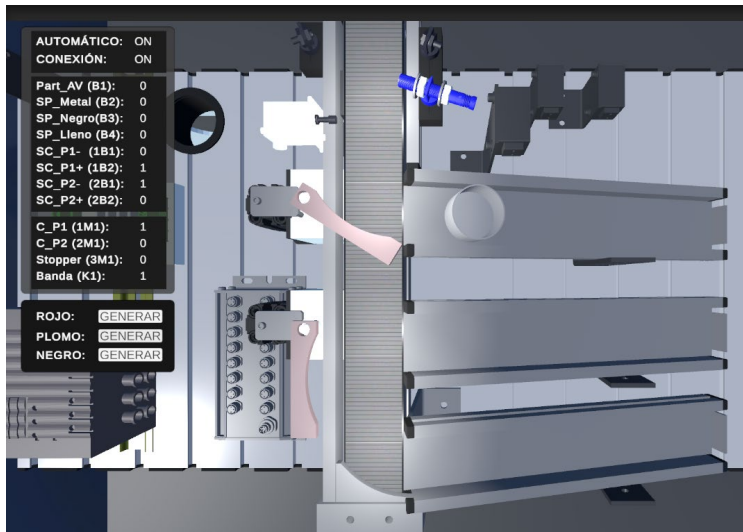


The screenshot shows a virtual environment with the following variable values:

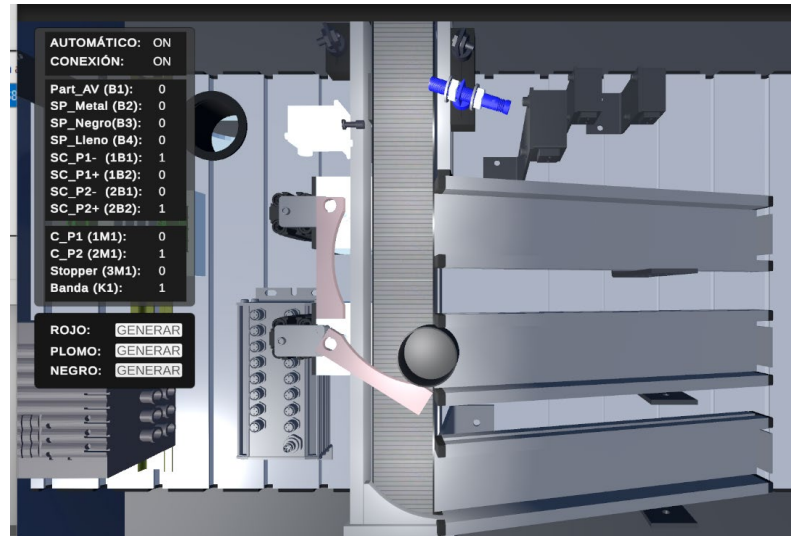
AUTOMÁTICO:	ON
CONEXIÓN:	ON
Part_AV (B1):	1
SP_Metal (B2):	1
SP_Negro(B3):	0
SP_Lleno (B4):	0
SC_P1- (1B1):	1
SC_P1+ (1B2):	0
SC_P2- (2B1):	1
SC_P2+ (2B2):	0
C_P1 (1M1):	0
C_P2 (2M1):	0
Stopper (3M1):	1
Banda (K1):	1

b) Variables en el entorno virtual

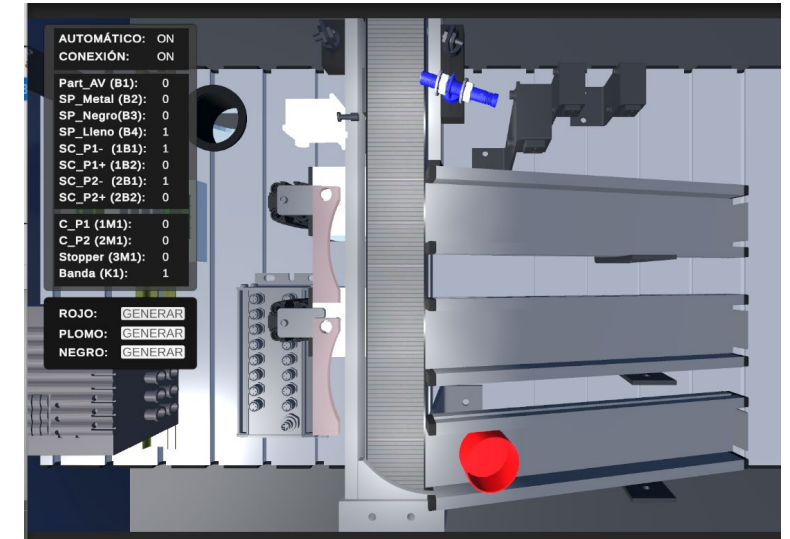
Funcionamiento modo Automático



Caso 1. Clasificación pieza de metal



Caso 2. Clasificación pieza color negro



Caso 3. Clasificación pieza color rojo

PRUEBAS Y RESULTADOS

Confiabilidad del entorno virtual

Modo de operación	Componentes	Funciona	No funciona	N° Pruebas
Manual	Sensores	18	0	18
	Actuadores	18	0	18
Automático	Conexión	17	1	18
	Sensores	18	0	18
	Actuadores	14	4	18
Total		85	5	90

Modo de operación	Componentes	Funciona (%)	No funciona (%)
Manual	Sensores	100	0
	Actuadores	100	0
Modo automático	Conexión	94,44	5,56
	Sensores	100	0
	Actuadores	77,78	22,22
Total		94,44	5,56

La confiabilidad del ambiente virtual es de 94,44%.



PRUEBAS Y RESULTADOS

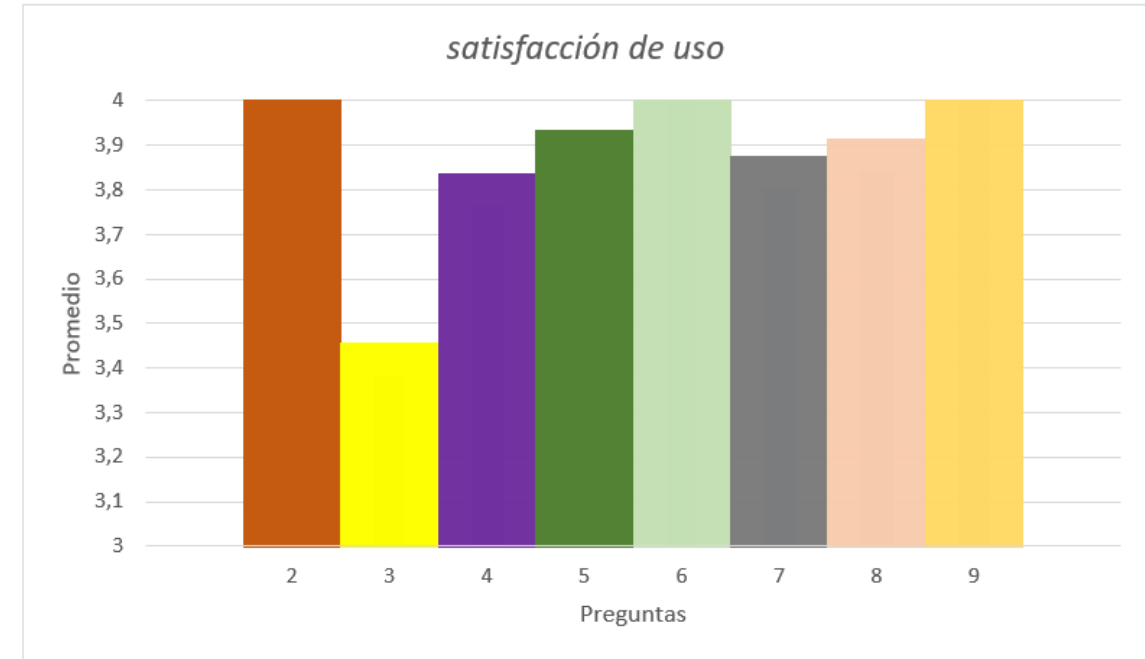
Análisis de uso

A un grupo de estudiantes se expuso el funcionamiento del entorno virtual de la estación MPS de clasificación, posteriormente manipularon el ambiente virtual para finalmente llenar una encuesta con el objetivo de medir la satisfacción por parte de los usuarios hacia el ambiente virtual.



Análisis de uso

Nº	Pregunta	Promedio
1	¿Cuál es su rol actual en la universidad?	
2	¿Considera usted que los ambientes virtuales son útiles para contribuir en la enseñanza y mejorar el aprendizaje de los estudiantes?	4
3	¿Qué nivel de complejidad tuvo para comprender el funcionamiento de la Estación MPS de Clasificación simulada?	3,38
4	¿Considera usted que el entorno virtual de la Estación MPS de Clasificación es útil para identificar los componentes que posee la estación real?	3,76
5	¿Qué tan útil es este sistema para reforzar conocimientos sobre los diagramas de escalera y sistemas de control?	3,86
6	¿El ambiente virtual de la Estación MPS de Clasificación muestra facilidad en su control y operación?	4
7	¿Cuál es su calificación para el funcionamiento del modo de operación manual de la Estación MPS de Clasificación?	3,8
8	¿Cuál es su calificación para el funcionamiento del modo de operación automático de la Estación MPS de Clasificación?	3,84
9	¿Recomienda usted el uso del entorno virtual de la Estación MPS de Clasificación como herramienta de aprendizaje?	4
10	¿Cuál es su opinión y/o recomendación acerca del entorno virtual de la Estación MPS de Clasificación?	



Fiabilidad de la encuesta

Para validar la fiabilidad del test se utiliza Alfa de Cronbach (α) ya que este método ayuda a medir la ausencia de errores medida en un test en este caso si los resultados del cuestionario son confiables o no.

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} \left(1 - \frac{\sum S^2}{S_T^2} \right)$$

Encuestados	Items										Suma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
E1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E6	4	4	1	4	3	4	3	3	4	4	34
E7	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	36
E8	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	36
E9	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	36
E10	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E11	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E12	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E13	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E14	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E15	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E16	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E17	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E18	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E19	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E20	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E21	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E22	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	38
E23	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	38
E24	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	37
E25	4	4	1	4	3	4	3	3	4	4	34
E26	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40

Encuestados	Items										Suma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
E27	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E28	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E29	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E30	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E31	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E32	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E33	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E34	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E35	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	39
E36	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E37	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E38	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E39	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E41	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E42	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E43	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E44	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
E45	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	39
E46	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	39
E47	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	39
E48	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	39
E49	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	35
E50	4	4	1	4	3	4	3	3	4	3	33
Varianza	0	0	0,57	0	0,1204	0	0,16	0,1344	0	0,1056	2,9376



Fiabilidad de la encuesta

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum S^2}{S_T^2} \right)$$

$$\alpha = 0,72908$$

$$0,7 \leq 0,72908 < 0,8 \quad \text{Aceptable}$$

se acepta la encuesta debido a que el valor calculado se encuentra en el rango de $0,7 \leq \alpha < 0,8$ y la valoración da su aceptación.



Validación de la Hipótesis

¿El diseño e implementación de un Sistema modular de producción de clasificación en ambientes virtuales contribuirá al aprendizaje de automatización de los estudiantes?

Debido a que se logra comprobar la fiabilidad de la encuesta mediante Alfa de Cronbach (α) se aceptan los datos obtenidos mediante la encuesta y junto con las pruebas de funcionamiento del ambiente virtual se concluye que la estación modular de producción de clasificación virtual contribuye con el aprendizaje de automatización, aceptando la hipótesis.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En este trabajo se diseñó e implementó un sistema modular de producción de clasificación donde se identificaron los componentes importantes de la estación real creando sus modelos 3D a través de Autodesk Inventor, el desarrollo del entorno virtual para las animaciones y comunicación se realiza mediante Unity.
- El ambiente virtual desarrollado en Unity permite una interacción entre los actuadores y sensores virtuales, con la cual el usuario a través de la simulación de un PLC S7 300 y la programación de un diagrama Ladder crea sus rutinas para el control del proceso de clasificación.
- El ambiente virtual creado permite a los estudiantes manipular la estación MPS de clasificación, con el fin de adquirir conocimientos sobre neumática, sistemas de control clásico, control de PLC, sensores inductivos, actuadores y la automatización de procesos.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La aceptación por parte de los estudiantes hacia la MPS de clasificación virtualizada es favorable ya que de los 50 encuestados gran mayoría concluye que la estación contribuye con el aprendizaje.
- El test determinó un grado de satisfacción positivo hacia el entorno virtual de la MPS de clasificación por parte de los estudiantes, la fiabilidad del test se logró comprobar con Alfa de Cronbach ya que el resultado es $\alpha=0,73862261$ encontrándose en un valor entre $0,7 \leq \alpha < 0,8$ el que acepta al test.
- La comunicación entre el software de programación y el entorno virtual se realizó con la ayuda de NetToPLCSim y Sharp 7, siendo NetToPLCSim el que permite conectar el S7 PLCSIM a una red virtual y Sharp 7 accede a esa red para enviar y recibir datos para el controlar la MPS virtualizada.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- Es conveniente utilizar la estación virtualizada en las computadoras del Laboratorio de Mecatrónica, pero para un aprendizaje autónomo más completo en su modo automático se puede trabajar con una versión de prueba por 21 días de TIA Portal.
- Cuando se desarrolle un diagrama Ladder para utilizar la estación MPS virtualizada, se debe considerar las direcciones de memoria de los sensores y actuadores que se almacenaron en un bloque datos globales.
- En el software de programación se debe usar la CPU pertenecientes a los modelos S7 300 y cuando se simule el PLC en S7-PLCSIM, colocar el controlador en modo Run para posteriormente configurar el Rack y Slot de NetToPLCSim en 0 y 2.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- Revisar el manual de usuario de la estación MPS de clasificación para comprender y aprender de los componentes y el funcionamiento del entorno virtual en sus diferentes modos.
- Debido a que la estación en su modo automático trabaja con TIA portal V11 es recomendable tener un procesador I3, 8GB de RAM o superiores.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA