



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

“Diseño e implementación del sistema modular de producción basado en la estación de distribución en un ambiente virtual para contribuir al aprendizaje de control y automatización”

Autor: Pérez Sánchez, Israel Alexander

Directora: Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly



CONTENIDO

Fundamentación teórica

Diseño y selección de componentes

Creación del entorno virtual

Comunicación entre el motor gráfico y software de programación

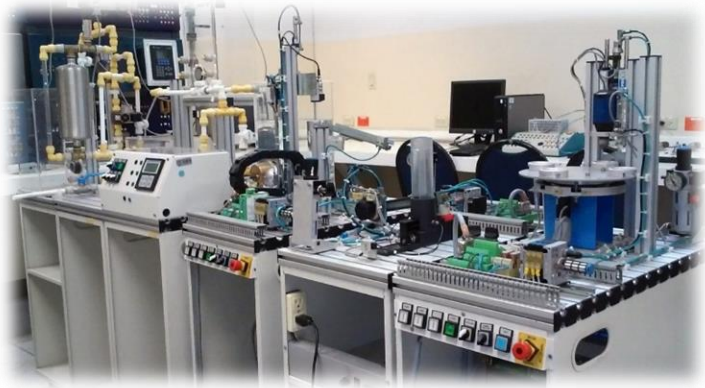
Pruebas y resultados

Conclusiones y recomendaciones



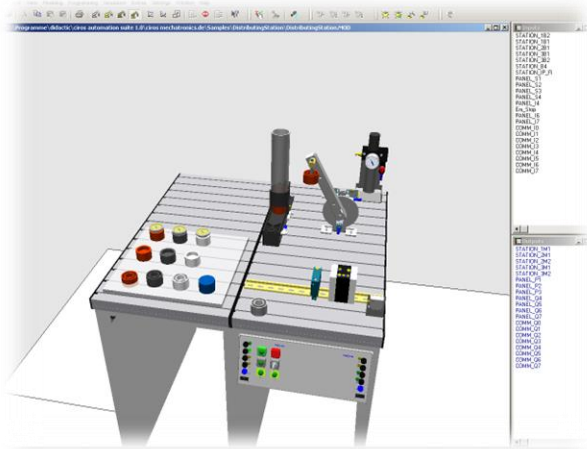
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

INTRODUCCIÓN



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un ambiente virtual con la estación de producción modular de distribución para contribuir al aprendizaje de control y automatización.

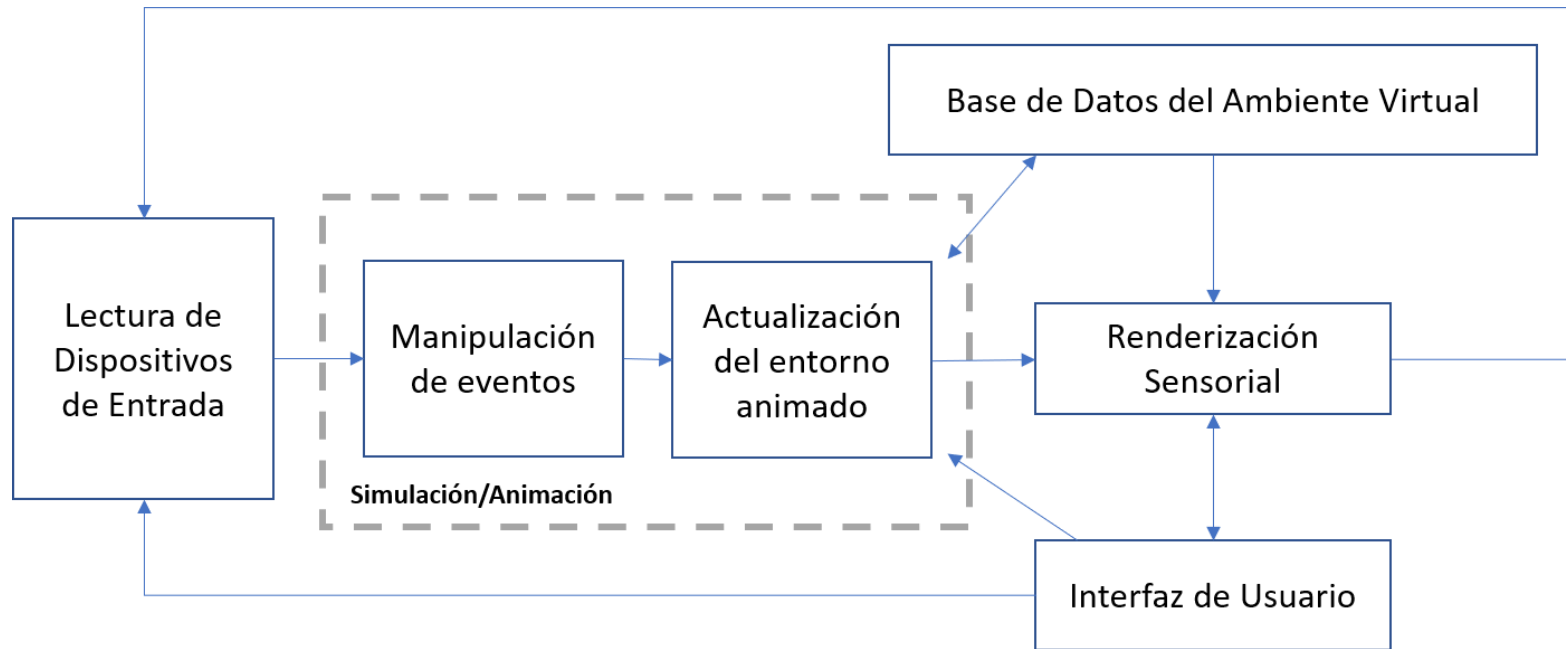
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los componentes reales de la estación didáctica MPS de distribución para seleccionar el mejor ambiente de virtualización.
- Modelar los elementos que componen la estación didáctica MPS de distribución a través de un software CAD.
- Integrar los modelos CAD de la estación didáctica MPS de distribución para su virtualización.
- Desarrollar las animaciones del entorno virtual cercanas a la realidad.
- Programar el ambiente virtual no inmersivo para recibir y enviar señales de control, según el programa de ingreso.



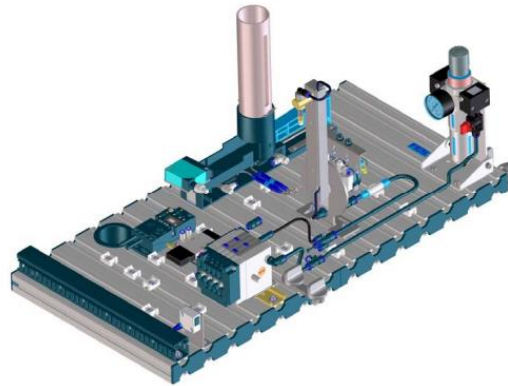
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE REALIDAD VIRTUAL



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

ESTACIÓN MPS DE DISTRIBUCIÓN



Estación	Funcionamiento	Módulos	Temas	PLC
Distribución	Distribuye y transporta las piezas	Almacén apilador Cinta	Electroneumática Distribución Transporte	16 DIN/16DOUT

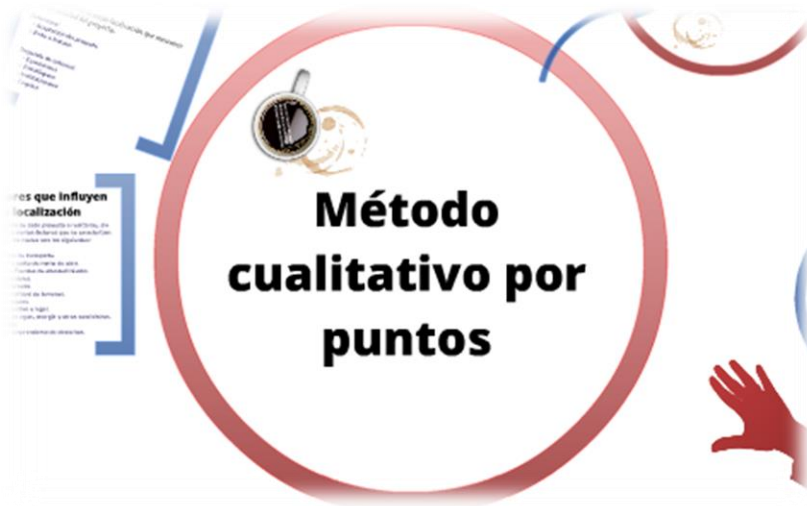


DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Modelado 3D



Motor gráfico



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

SELECCIÓN DEL SOFTWARE PARA MODELADO 3D

Factor	Peso	Lugar			
		SolidWorks		Autodesk Inventor	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Modelado	0,2	9	1,8	9	1,8
Simulación	0,2	9	1,8	8	1,6
Diseño	0,3	9	2,7	8	2,4
Requerimientos del sistema	0,1	8	0,8	9	0,9
Licenciamiento	0,2	7	1,4	10	2
Total	1		8,5		8,7
Selección		NO		SI	



DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

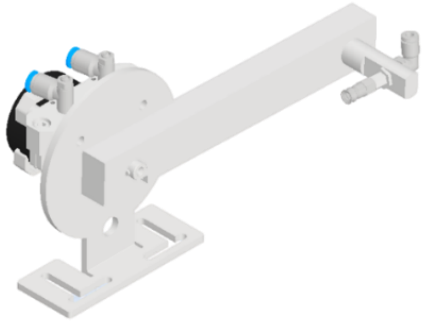
SELECCIÓN DEL MOTOR GRÁFICO PARA REALIDAD VIRTUAL

Factor	Peso	Lugar			
		Unity		Unreal Engine	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Importación modelos 3D	0,1	7	0,7	9	0,9
Propiedades físicas y funcionalidad	0,2	8	1,6	7	1,4
Realismo	0,2	7	1,4	9	1,8
Soporte para dispositivos E/S	0,2	9	1,8	7	1,4
Documentación	0,3	10	3	7	2,1
Total	1		8,5		7,6
Selección			SI		NO

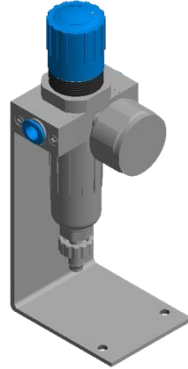


DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

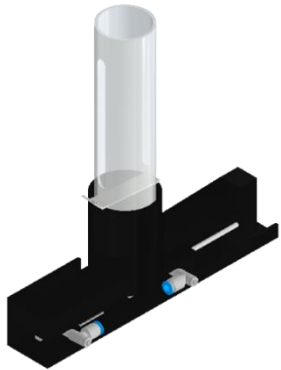
MODELADO DE LA ESTACIÓN MPS DE DISTRIBUCIÓN



Módulo cambiador



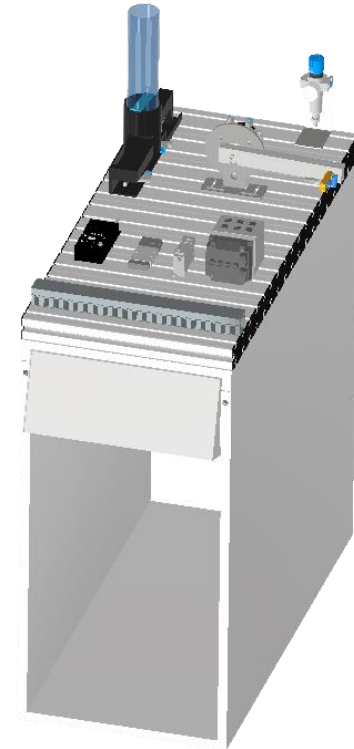
Unidad de mantenimiento



Módulo almacén de pila



Estructura



Estación MPS de distribución



CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

ETAPAS DE LA CREACIÓN



CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

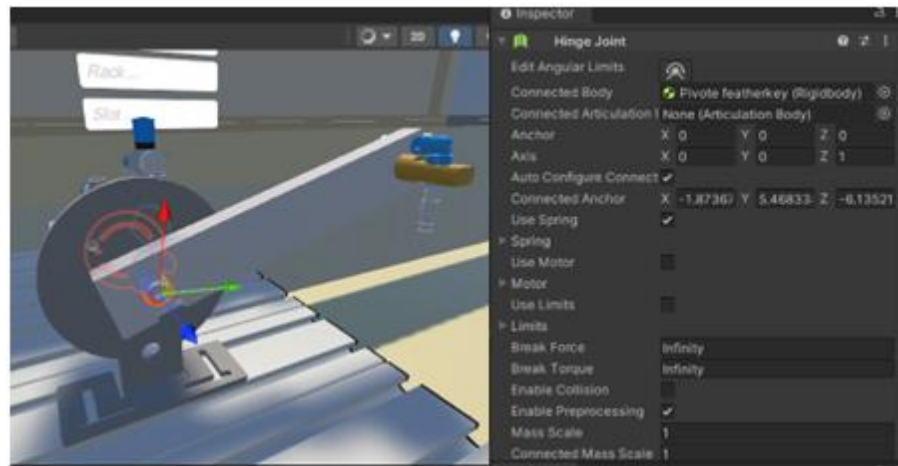
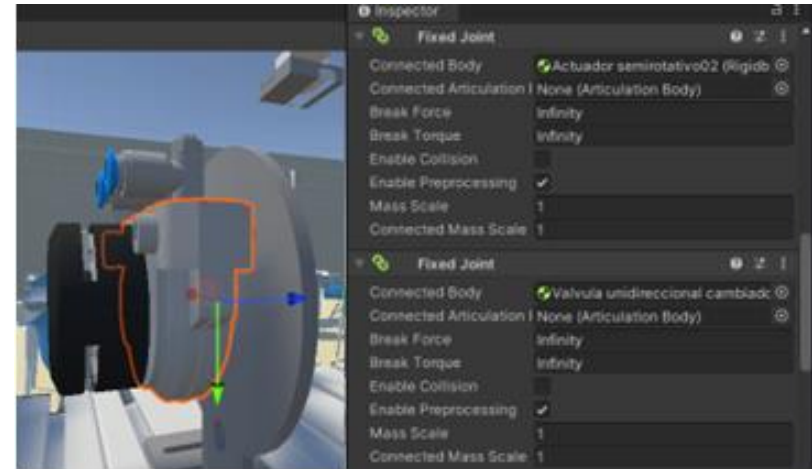
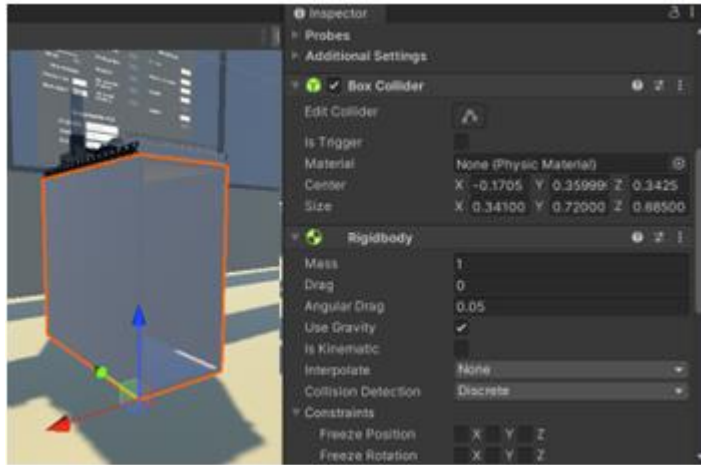
RECURSOS DE UNITY 3D

Conceptos básicos	Gameobjects
	Componentes
	Canvas
	Escenas
	Prefab
Motor de física	Rigidbody
	Colliders
	Joints



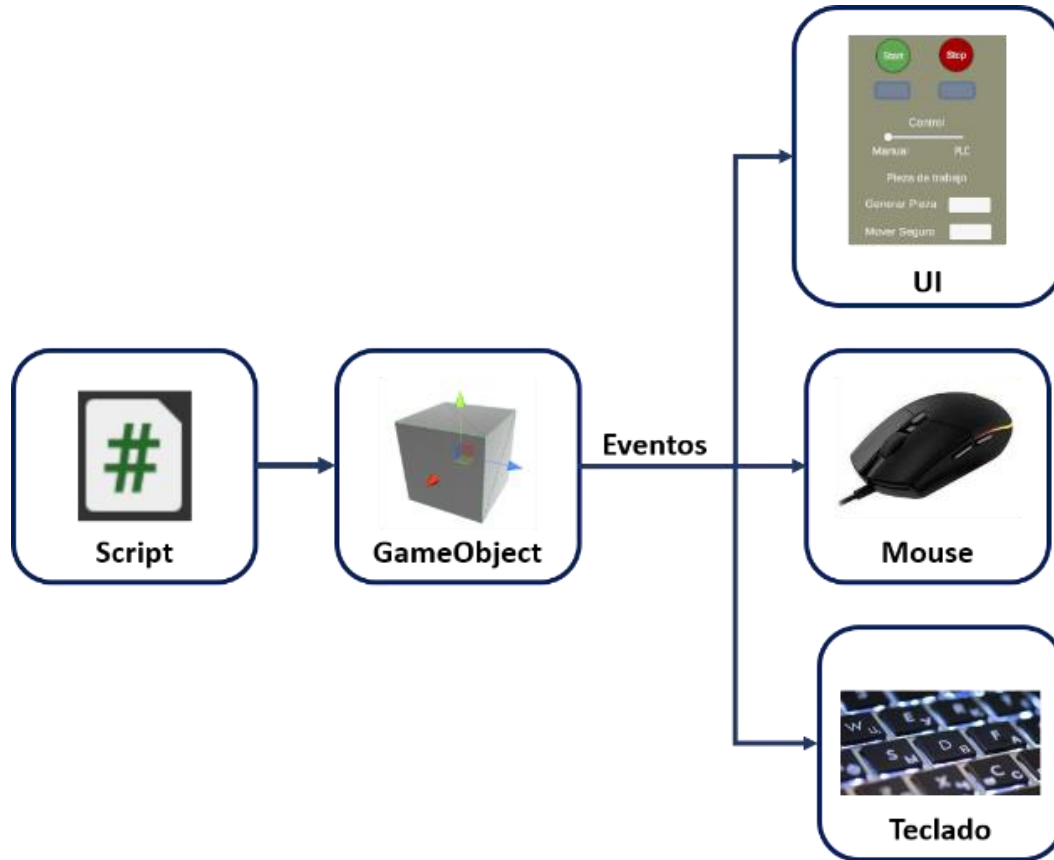
CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS



CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

GENERACIÓN DE MOVIMIENTOS



CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

ESCENAS



**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
SEDE LATACUNGA**

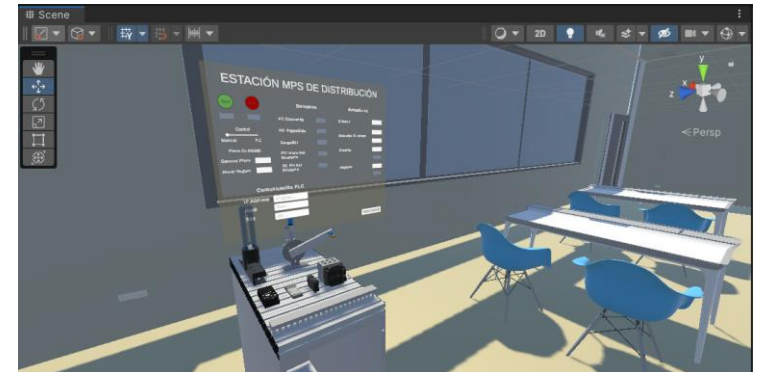


**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA
UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**SISTEMA MODULAR DE PRODUCCIÓN
ESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN**

ISRAEL PÉREZ

INICIO **SALIR**



Estacion MPS Distribución

ESTACIÓN MPS DE DISTRIBUCIÓN

Sensores		Actuadores	
Retraído	<input checked="" type="checkbox"/>	Cilindro	<input type="checkbox"/>
Expandido	<input type="checkbox"/>	Actuador giratorio	<input type="checkbox"/>
Magazine	<input type="checkbox"/>	Succión	<input type="checkbox"/>
Accionamiento giratorio inicio	<input checked="" type="checkbox"/>	Soplado	<input type="checkbox"/>
Accionamiento giratorio magazine	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Control

Manual PLC

Pieza de trabajo

Generar Pieza

Mover Seguro

Comunicación PLC

IP Address

Rack

Slot

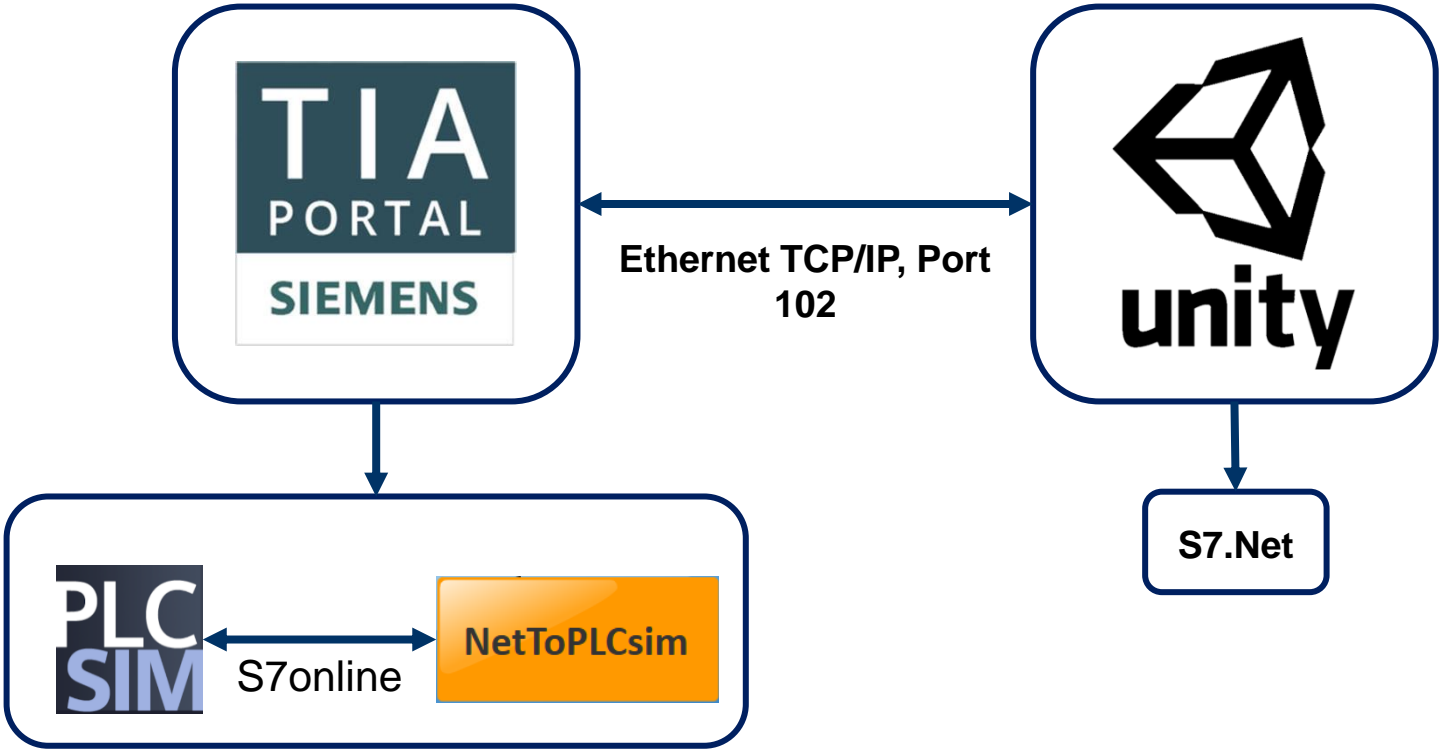
PLC

Mensaje

MENÚ **SALIR**



COMUNICACIÓN ENTRE EL MOTOR GRÁFICO Y SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN



Librería S7.Net

```
3 using UnityEngine;  
4 using S7.Net;  
5 using System;
```

```
//Plc es un componente que proviene de la libreria S7.Net  
Plc plc;
```

```
//Inicializar la variable plc que recibe la información del Plc con el que se pretende trabajar (tipo, ip address, rack, slot)  
plc = new Plc(comunicacion.cpuType, comunicacion.ip, Convert.ToInt16(comunicacion.rack), Convert.ToInt16(comunicacion.slot));
```

```
//Abre la comunicación con el PLC  
plc.Open();
```

```
//Desconexión con el PLC  
plc.Close();
```

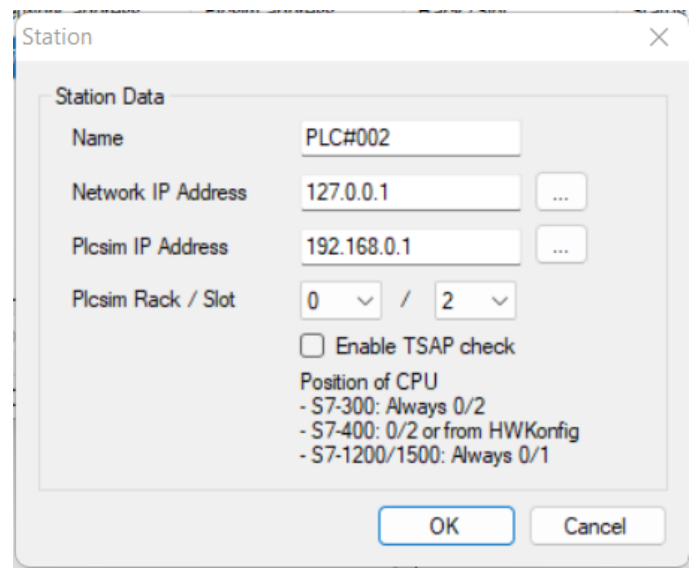
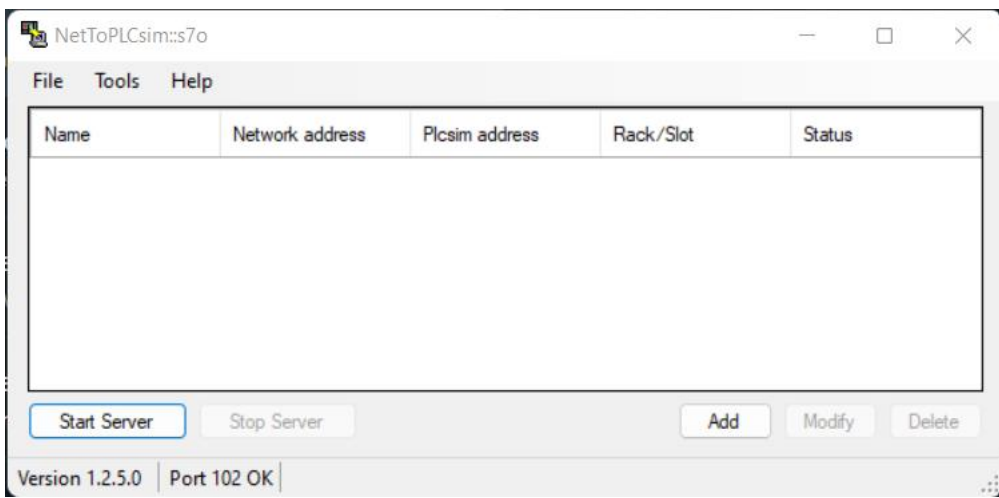
```
// Lectura del estado de las variables del PLC  
bool inicio = (bool)plc.Read("DB1.DBX0.0");
```

```
//Escritura de estado en variables del PLC  
plc.Write("DB1.DBX0.0", true);
```



COMUNICACIÓN ENTRE EL MOTOR GRÁFICO Y SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

NetToPLCsim



COMUNICACIÓN ENTRE EL MOTOR GRÁFICO Y SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

TIA Portal

BD1

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Comentario
1	Static				
2	Start	Bool	0.0	false	Pulsador inicio
3	Stop	Bool	0.1	false	Pulsador apagado
4	Cilindro_expandido	Bool	0.2	false	
5	Cilindro_retraido	Bool	0.3	false	
6	Sensor_Brazo_Posicion_Magazine	Bool	0.4	false	Posición cargador
7	Sensor_Brazo_Posicion_inicial	Bool	0.5	false	Posición inicial
8	Sensor_Pieza_Magazine	Bool	0.6	false	Sensor óptico
9	Succionar_Pieza	Bool	0.7	false	Succión
10	Eyectar_Pieza	Bool	1.0	false	Soplado
11	Brazo_a_downstream	Bool	1.1	false	Brazo giro antihorario
12	Brazo_a_magazine	Bool	1.2	false	Brazo giro horario
13	Sensor_retraido	Bool	1.3	false	
14	Sensor_expandido	Bool	1.4	false	

General Textos

General
Información
Sellos de tiempo
Compilación
Protección
Atributos

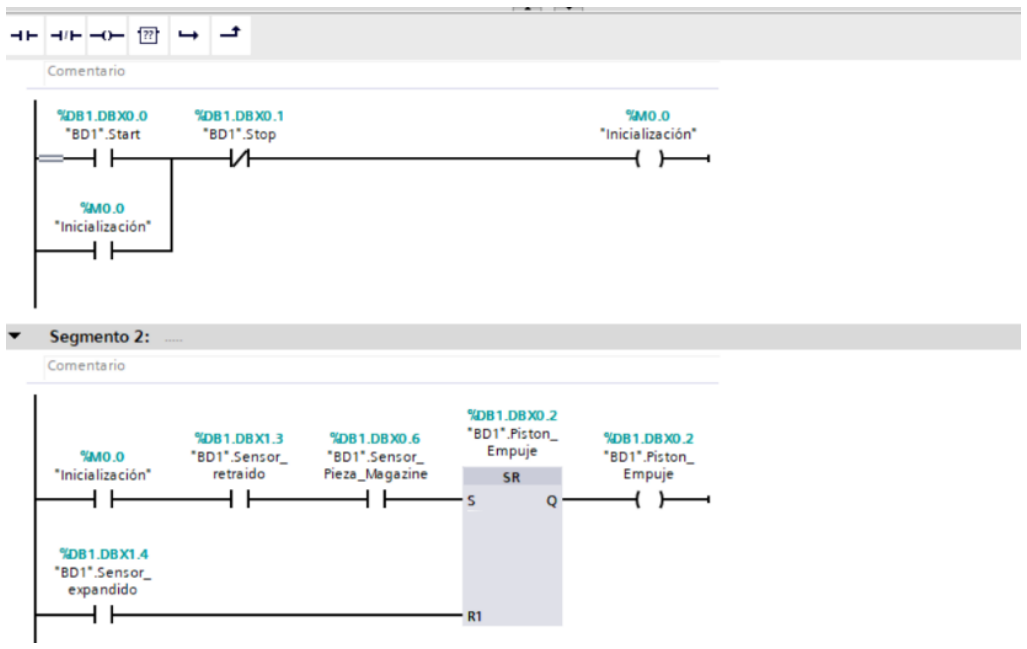
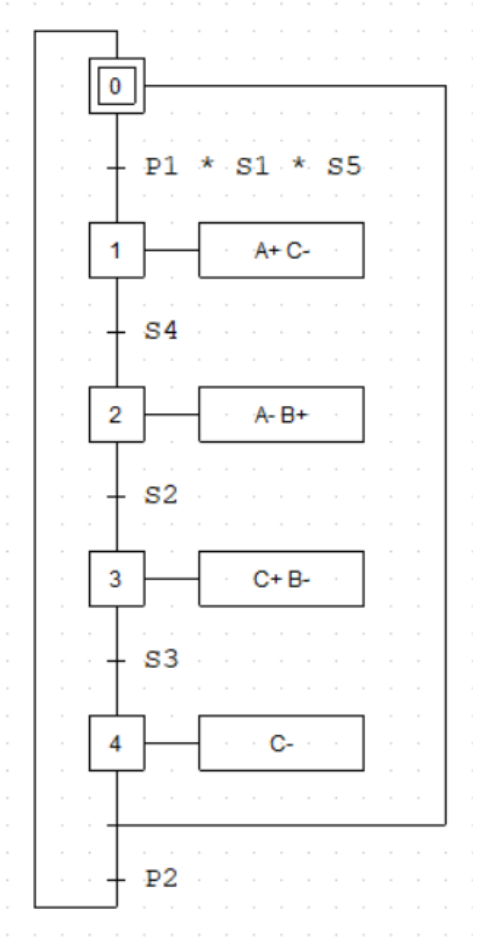
Atributos

- Depositar sólo en la memoria de carga
- Bloque de datos protegido contra escritura en el dispositivo
- Acceso optimizado al bloque

Aceptar Cancelar



GRAFSET y programación Ladder



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS FAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA)

Pruebas de conectividad

Estacion MPS Distribución

ESTACIÓN MPS DE DISTRIBUCIÓN

Sensores		Actuadores	
Retraido	<input type="checkbox"/>	Cilindro	<input type="checkbox"/>
Expandido	<input type="checkbox"/>	Actuador giratorio	<input type="checkbox"/>
Magazine	<input type="checkbox"/>	Succión	<input type="checkbox"/>
Accionamiento giratorio inicio	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Accionamiento giratorio magazine	<input type="checkbox"/>	Soplado	<input type="checkbox"/>

Control

Start Stop

Manual PLC

Pieza de trabajo

Generar Pieza

Mover Seguro

Comunicación PLC

IP Address

Rack

Slot

PLC

Mensaje

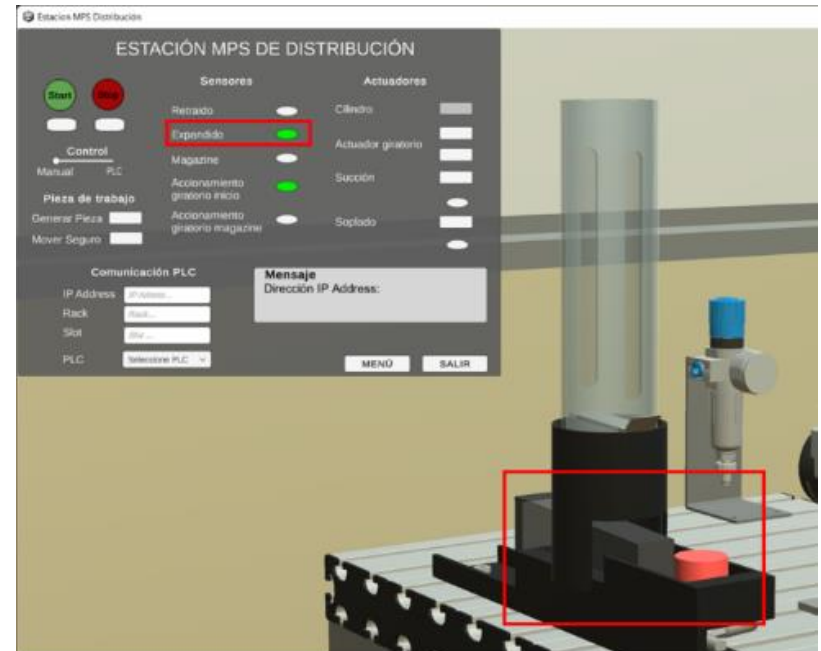
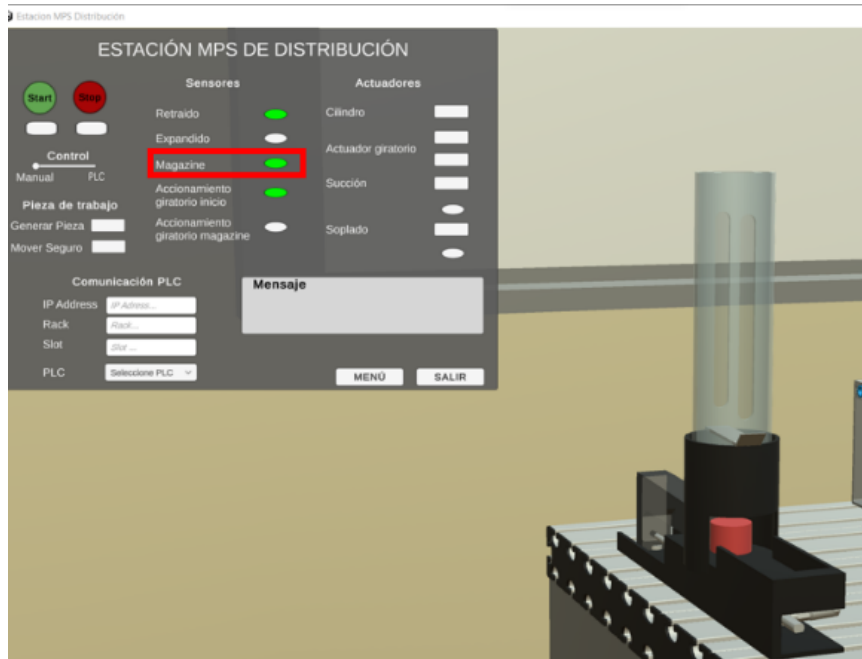
Comunicación con PLC exitosa



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS FAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA)

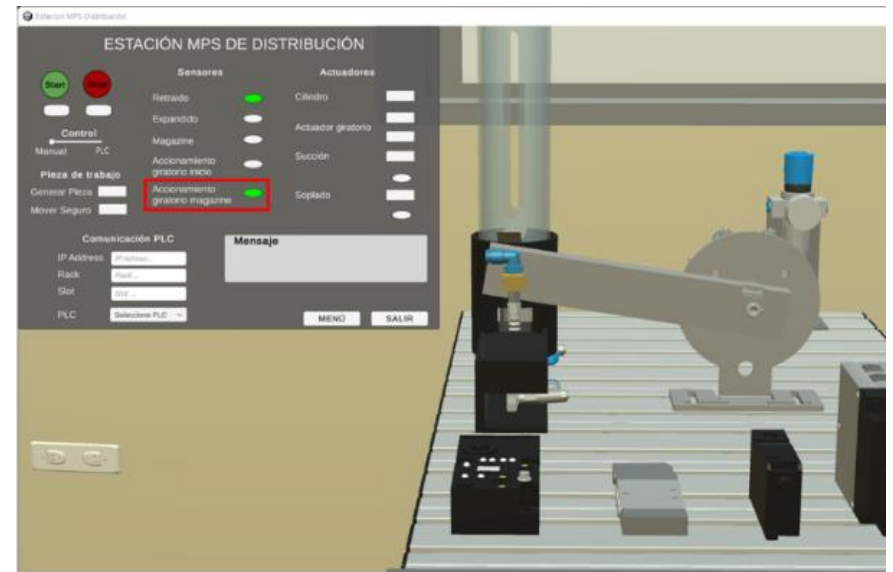
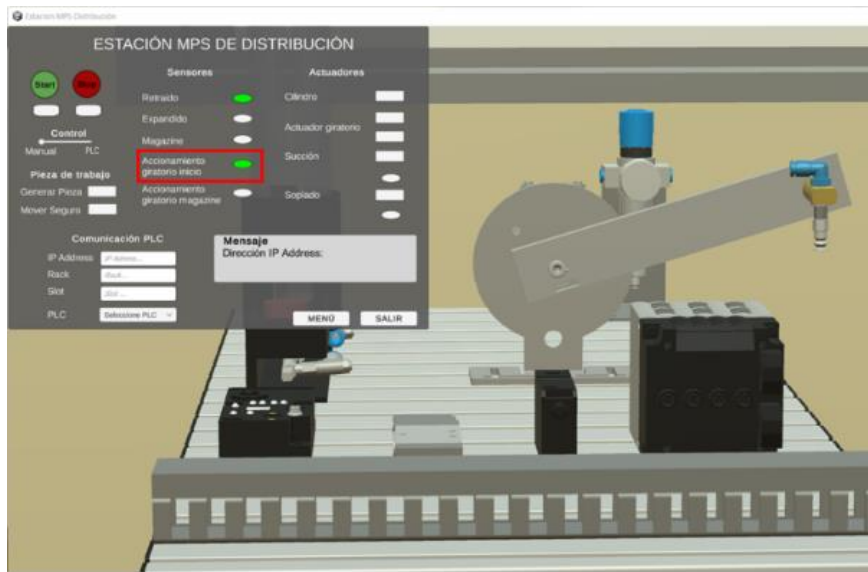
Pruebas de detección de señales de sensores



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS FAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA)

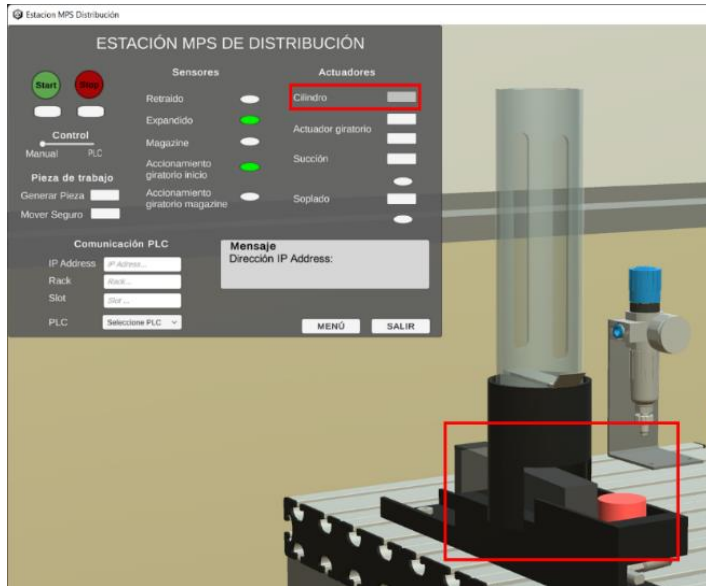
Pruebas de detección de señales de sensores



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS FAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA)

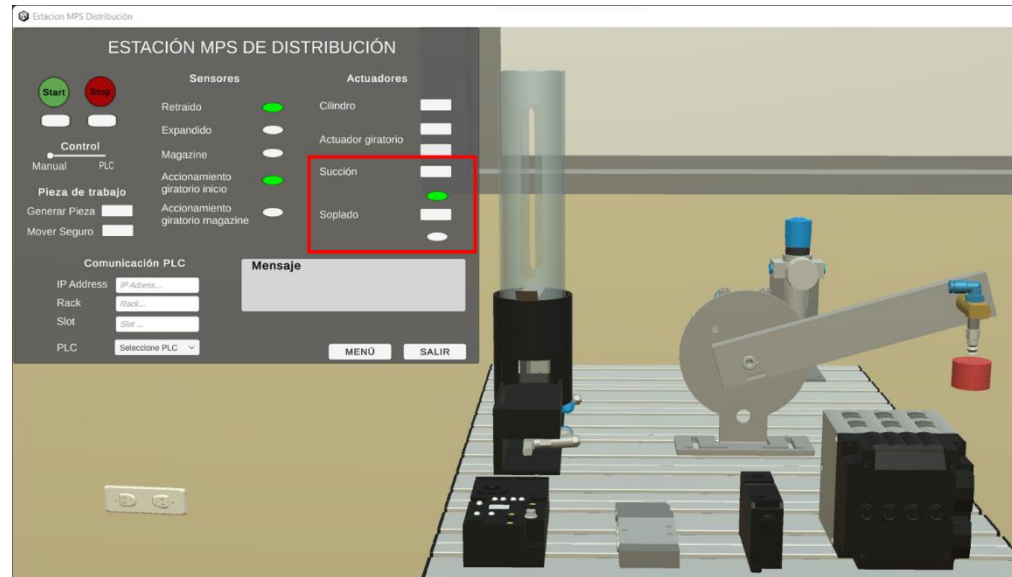
Pruebas de accionamiento de actuadores



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS FAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA)

Pruebas de accionamiento de actuadores



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS FAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN FÁBRICA)

Pruebas de lectura y escritura de datos

Estacion MPS Distribución

ESTACIÓN MPS DE DISTRIBUCIÓN

Control

Start (Green) Stop (Red)

Manual PLC

Pieza de trabajo

Generar Pieza Mover Seguro

Sensores

Retraído Expandido Magazine Accionamiento giratorio inicio Accionamiento giratorio magazine

Actuadores

Cilindro Actuador giratorio Succión Soplado

Comunicación PLC

IP Address: 192.168.1.4
Rack: 0
Slot: 1
PLC: ST1200

Mensaje
Comunicación con PLC exitosa

MENÚ SALIR

BD1					
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Valor de obt...
1	Static				
2	Start	Bool	0.0	false	TRUE
3	Stop	Bool	0.1	false	FALSE
4	Piston_Empuje	Bool	0.2	false	FALSE
5	Piston_Retraido	Bool	0.3	false	FALSE
6	Brazo_Posicion_Maga...	Bool	0.4	false	FALSE
7	Brazo_Posicion_Down...	Bool	0.5	false	TRUE
8	Sensor_Pieza_Magazine	Bool	0.6	false	FALSE
9	Succionar_Pieza	Bool	0.7	false	FALSE
10	Eyectar_Pieza	Bool	1.0	false	TRUE
11	Brazo_a_downstream	Bool	1.1	false	FALSE
12	Brazo_a_magazine	Bool	1.2	false	FALSE
13	Sensor_retraido	Bool	1.3	false	TRUE
14	Sensor_expandido	Bool	1.4	false	FALSE
15	SensorSuccion	Bool	1.5	false	FALSE



PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS SAT (PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN TERRENO)

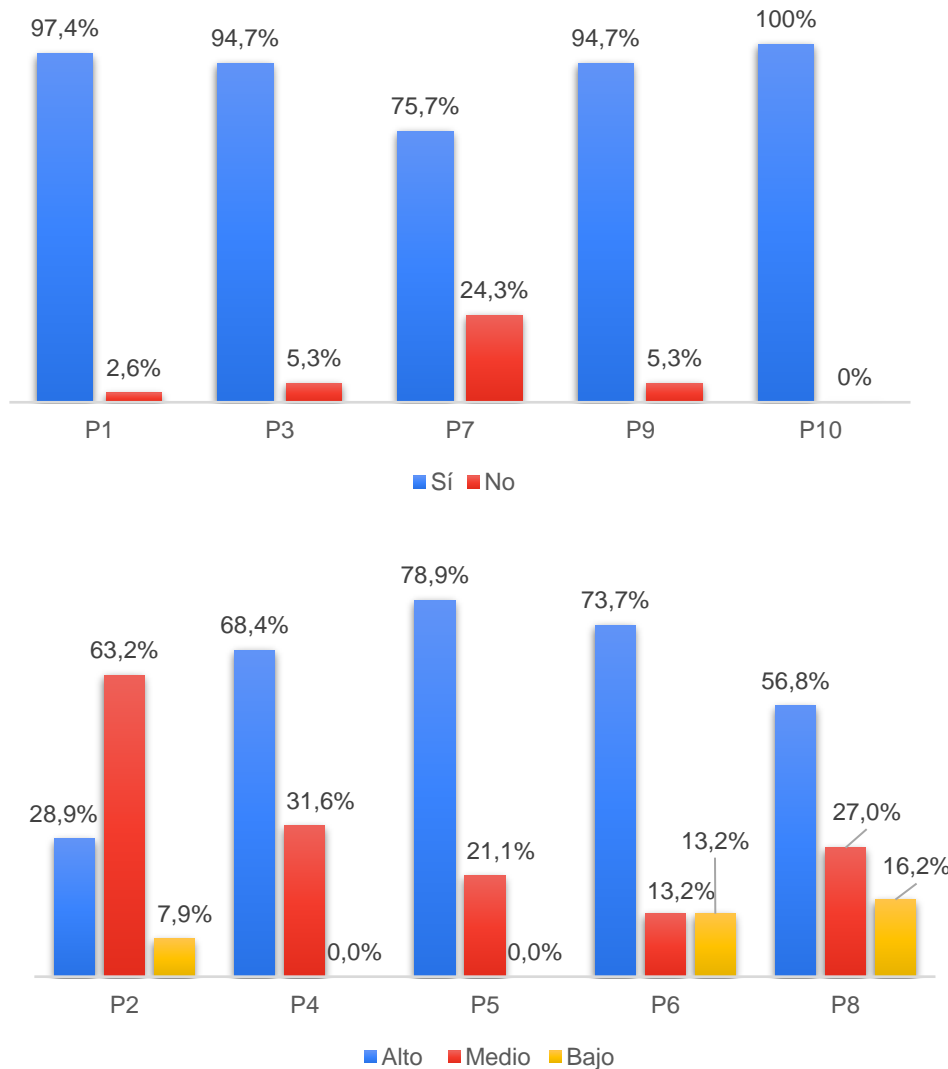
Lista de cotejo

Criterios de evaluación	Sí	No
La aplicación supera las pruebas de conectividad, funcionamiento, sensores, actuadores y lectura/escritura de datos.	✓	
La aplicación a través del entorno virtual es una herramienta que contribuirá al aprendizaje del estudiante.	✓	
El uso de la aplicación permite al estudiante conocer los elementos de la estación y su funcionamiento.	✓	
La aplicación muestra facilidad en su control y operación.	✓	
La aplicación muestra una velocidad aceptable para la comunicación bilateral (lectura/escritura) de datos.	✓	
La interfaz gráfica de la aplicación permite conocer el estado de los elementos de la estación.	✓	
La aplicación en sus modos de operación cumple con la secuencia de trabajo planteada.	✓	



PRUEBAS Y RESULTADOS

ANÁLISIS DE USABILIDAD



1. ¿En qué grado considera usted que el entorno virtual de como herramienta de aprendizaje?
2. ¿En qué grado le permitió conocer los elementos de la estación?
3. ¿Cuál es el grado de facilidad en el control y operación?
4. ¿En qué grado cumple la secuencia planteada (manual) ?
5. ¿En qué grado cumple la secuencia planteada (PLC) ?
6. ¿La comunicación bilateral (lectura/escritura) de datos, qué velocidad presenta?
7. ¿La interfaz de usuario, en qué grado le permitió conocer el estado de los elementos de la estación?
8. ¿En qué nivel de preparación considera usted conveniente utilizar el entorno virtual de la Estación MPS de distribución?
9. ¿Volvería usted a utilizar el entorno virtual de la Estación MPS de distribución como herramienta de aprendizaje?
10. ¿Considera usted que el uso de entornos virtuales de laboratorios, le permite al estudiante entrenar previo a la utilización física de los equipos?



PRUEBAS Y RESULTADOS

ANÁLISIS DE USABILIDAD



a)

b)



c)

d)



PRUEBAS Y RESULTADOS

COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH

El cálculo del coeficiente “Alfa de Cronbach” está dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right) = 0,75$$

donde:

α → Coeficiente de Alfa de Cronbach

K → Número de ítems

S_i^2 → Sumatoria de varianzas de los ítems

S_t^2 → Varianza de la suma de los ítems

Ítems										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Varianza	0,102	0,324	0,199	0,216	0,166	0,263	0,736	0,000	0,205	0,000
Sumatoria de varianzas	2,121									
Varianza de la suma de los ítems	6,7652									



PRUEBAS Y RESULTADOS

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

(H_0) = El diseño e implementación de un ambiente virtual con la estación de producción modular MPS de distribución no contribuirá al aprendizaje de control y automatización en los estudiantes de la Carrera de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

(H_1) = El diseño e implementación de un ambiente virtual con la estación de producción modular MPS de distribución contribuirá al aprendizaje de control y automatización en los estudiantes de la Carrera de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

PRUEBAS

Ítem	Aspecto	Funcional	No funcional	N° Pruebas
1	Conectividad	10	0	10
2	Detección de sensores	10	0	10
3	Accionamiento actuadores	10	0	10
4	Lectura/escritura de datos	10	0	10
5	Modo de operación manual	10	0	10
6	Modo de operación automático PLC (CPU 300)	8	2	10
	Modo de operación automático PLC (CPU 1200)	9	1	10
Total		67	3	70



PRUEBAS Y RESULTADOS

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

Aspecto	Funcional	No funcional	Nº Pruebas	Porcentaje
Conectividad	10	0	10	100
Detección de sensores	10	0	10	100
Accionamiento actuadores	10	0	10	100
Lectura/escritura de datos	10	0	10	100
Modo de operación manual	10	0	10	100
Modo de operación automático PLC (CPU 300)	8	2	10	80
Modo de operación automático PLC (CPU 1200)	9	1	10	90
Confiabilidad				95,714



PRUEBAS Y RESULTADOS

VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- Por lo tanto, con una confiabilidad del 95,714%, se acepta (H_1) “El diseño e implementación de un ambiente virtual con la estación de producción modular MPS de distribución contribuirá al aprendizaje de control y automatización en los estudiantes de la Carrera de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga”.
- Además, la validación se complementa utilizando instrumentos como la lista de cotejo y el coeficiente de Alfa de Cronbach, reafirmando la validez de la hipótesis planteada y se demuestra a través de los resultados obtenidos que el entorno virtual de la estación MPS de distribución es una herramienta que contribuirá con el aprendizaje de control y automatización en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El desarrollo del entorno virtual con la estación MPS de distribución es una herramienta que el estudiante tendrá a su disposición en los ordenadores del laboratorio de Mecatrónica, los mismos que cumplen con los requerimientos y demostraron un correcto funcionamiento de la aplicación de software en las pruebas realizadas con una confiabilidad del 95,714%, así como también se generó un archivo portable que se podrá instalar en los ordenadores de los estudiantes, considerándose un entrenamiento previo a la utilización física de la estación puesto que permite estudiar los elementos de la estación y generar secuencias de trabajo, contribuyendo al aprendizaje y formación en el campo de control y automatización.
- Los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a los posibles usuarios arrojaron resultados favorables en los diferentes criterios de usabilidad establecidos, así como también presentaron recomendaciones para mejorar el entorno virtual y un apartado con información propia de los elementos de la estación, para lo cual se implementó una sección que contiene información de los elementos en estudio, lo cual permite que el aprendizaje del estudiante sea mayor, además, un 97,4 % manifestó que dicha aplicación si se considera una herramienta de aprendizaje.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los resultados de las encuestas fueron analizados a través del coeficiente del Alfa de Cronbach, obteniendo un valor de 0,75 en la escala de 0 a 1, el cual demostró que la encuesta aplicada tiene una fiabilidad aceptable.
- Las pruebas FAT (pruebas de aceptación en fábrica) se enfocaron en la conectividad, cumplimiento de secuencia de trabajo, funcionamiento de sensores y actuadores, y lectura y escritura de datos, éstas se desarrollaron en el ordenador del desarrollador de la aplicación y en el ordenador del laboratorio de Mecatrónica con cinco intentos en cada prueba, obteniendo resultados favorables y demostrando que la aplicación cumple con los requerimientos establecidos inicialmente.
- El estudio de la estación MPS de distribución física en conjunto con los manuales dispuestos en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga permitió conocer sus componentes y el funcionamiento de cada uno, logrando definir los requerimientos necesarios para una virtualización semejante a la realidad.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- A partir del estudio de la estación física y con la ayuda de los manuales se definió correctamente las medidas de los elementos que componen los módulos y otras partes de la estación, los cuales se modelaron y ensamblaron a través de Autodesk Inventor, un software CAD que dispone licencia educativa.
- Con los modelos CAD de los elementos de la estación MPS de distribución y otros relacionados al ámbito académico se realizó el mallado de cada uno en el software Autodesk 3ds Max y se generó un archivo compatible para la importación desde el motor gráfico, los mismos que se integraron generando un entorno virtual amigable al usuario.
- El desarrollo de animaciones se realizó utilizando propiedades físicas y asignando componentes a un elemento, en el caso de los actuadores se empleó varios tipos de juntas y límites tanto lineales para el cilindro de doble efecto monoestable como rotacionales para el actuador giratorio; mientras que para los sensores se aplicó colisionadores (colliders) que al entrar en contacto con un elemento activaban una señal; finalmente se creó un panel de control, un avatar en primera persona y la propiedad de zoom para una mejor navegación del usuario en el entorno virtual.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Para un mejor desempeño es importante que el ordenador sobre el cual se pretende utilizar la aplicación de software cumpla con los requerimientos mínimos o similares con los que se realizó las pruebas, puesto que esto garantiza que la aplicación no se entrecorte, además, es necesario mencionar que la aplicación en su modo de operación manual requiere menos recursos computacionales que en el automático, esto se debe a la cantidad de softwares que intervienen en su desarrollo.
- El momento de integrar un elemento en el motor gráfico es necesario que se maneje sobre un mismo formato, ya que, esto evita que se pierda información del objeto, además, es necesario desempaquetar el objeto importado por Unity, de ese modo se tiene acceso a toda la información del mismo y a su vez se lo puede manipular de acuerdo a lo requerido.
- Para la creación de una animación es importante conocer el movimiento o acción que se quiere generar, por lo que es necesario que el desarrollador conozca de las diferentes propiedades, funciones y componentes que el motor gráfico Unity 3D dispone, y en caso de que el usuario quiera conocer cómo se generó dicha acción puede ayudarse del sitio web que ofrece el motor gráfico.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Las variables empleadas en el desarrollo de la secuencia de trabajo están almacenadas en un bloque de datos que se describe en el documento, las mismas que al entrar en simulación ocupa un espacio de memoria vinculado con el motor gráfico Unity 3D; por tal razón, se recomienda no cambiar el espacio de una variable, puesto que generará problemas en la lectura y escritura de datos entre ambos softwares e impedirá el cumplimiento de la secuencia de trabajo deseada.
- Considerando que el desarrollo de este trabajo es la base de la creación de un entorno virtual con la estación MPS de distribución, se puede generar futuras investigaciones en las cuales el usuario utilice un espacio de memoria de acuerdo a su necesidad y no esté sujeto a las que TIA Portal emite por defecto; crear la secuencia de trabajo en el entorno virtual sin necesidad de requerir un software de como TIA Portal y finalmente crear una aplicación que cuente con un MOC, es decir, que el estudiante cumpla objetivos a partir de tareas y le permitirá acceder a más funciones o temas de aprendizaje que ofrecería la aplicación.



**GRACIAS
POR SU ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA