

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

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

“Diseño e implementación de un módulo de aprendizaje ciber-físico utilizando herramientas de la industria 4.0 para la simulación y monitoreo de un proceso didáctico en tiempo real para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” sede Latacunga.”

Autor: Escobar Chanatásig, Eduardo Alexander

Director: Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga, 2023



CONTENIDO



- Introducción
- Diseño de Concepto
- Implementación del módulo
- Desarrollo de la plataforma IOT
- Desarrollo de aplicación móvil
- Pruebas y Análisis de resultados
- Conclusiones y Recomendaciones



INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Justificación



Industria 4.0



Uso de módulos



Laboratorios



Fortalecimiento de laboratorios



Módulos didácticos



Regreso a clases presenciales



Objetivo General

- Diseñar e implementar un módulo de aprendizaje ciber-físico utilizando herramientas de la industria 4.0 para la simulación y monitoreo de un proceso industrial didáctico en tiempo real para el Laboratorio de Mecatrónica de la universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” sede Latacunga.



INTRODUCCIÓN

Objetivos Específicos

Investigar conceptos que permitan la implementación de módulos de aprendizajes ciber-físicos RA habilitadas para IOT, sus sistemas mecánicos y electrónicos, aplicaciones, dispositivos y software a emplearse.

Diseñar el modelo 3D de la estructura del módulo de aprendizaje ciber-físico, así como de sus sensores y actuadores.

Seleccionar los componentes y materiales adecuados para la implementación del módulo.

Desarrollar el algoritmo de control para el funcionamiento adecuado del módulo de aprendizaje ciber-físico.



INTRODUCCIÓN

Objetivos Específicos

Implementar el módulo de aprendizaje ciber-físico de RA habilitada para IOT para empaquetado Pick & Place.

Diseñar una aplicación con realidad aumentada que permita la adquisición de datos del módulo de aprendizaje, sus sensores y actuadores.

Validar la hipótesis mediante el análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas.



INTRODUCCIÓN

Fundamentación Teórica



Sistema Ciberfísico



Industria 4.0



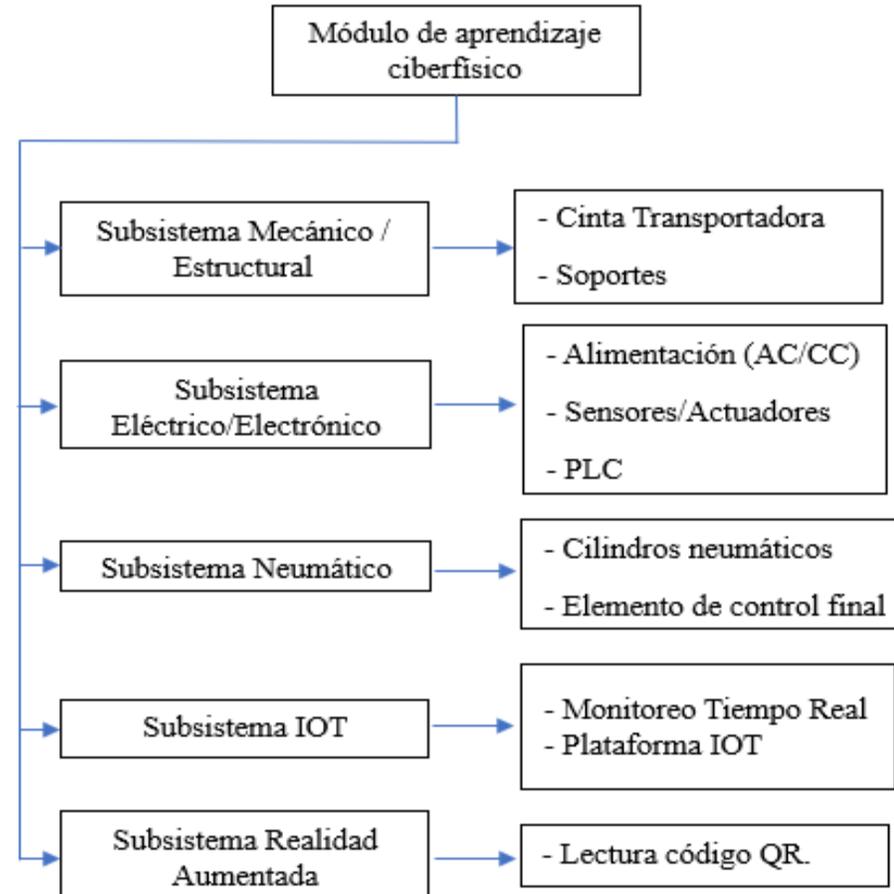
Realidad aumentada





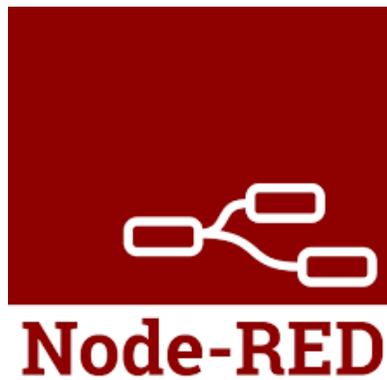
DISEÑO DE CONCEPTO

Subsistemas



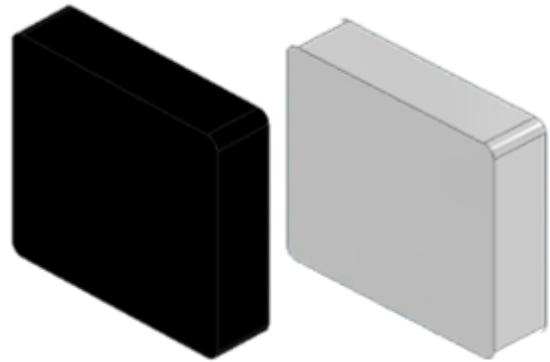
DISEÑO DE CONCEPTO

Selección de componentes

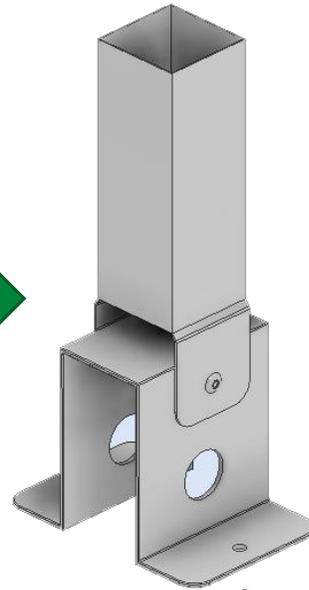


IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

Diseño del Sistema de Distribución



Piezas



Mesa de
entrada



Cilindro doble efecto
0.15 – 1.0MPa (22 – 145) psi



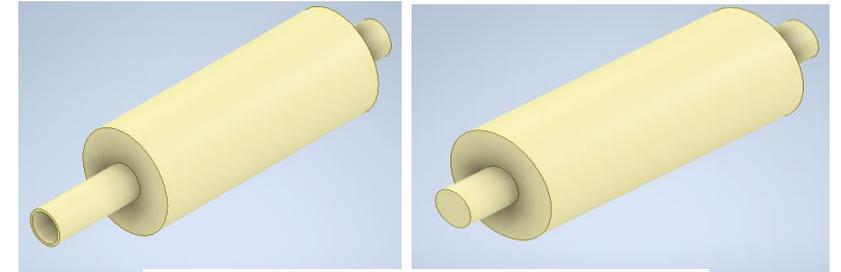
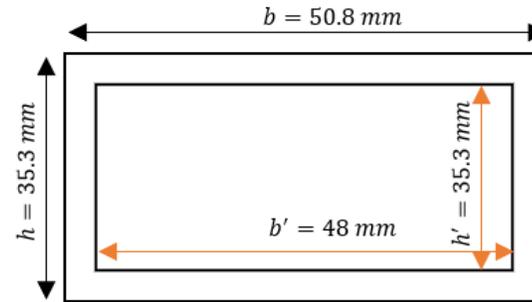
Electroválvula 5/2
Monoestable
0.15 – 0.8MPa (21 – 114) psi

IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

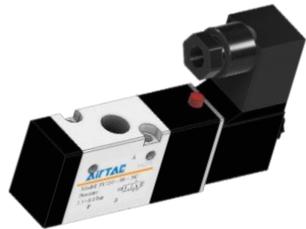
Diseño del Sistema de Transporte



$L_f = 270 \text{ mm}$

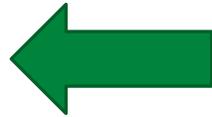


Nylon con un $S_y = 41 \text{ MPa}$.



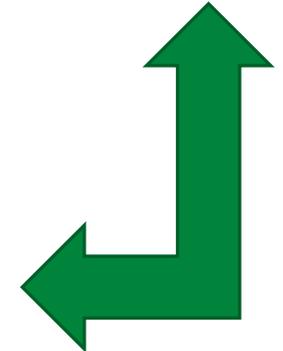
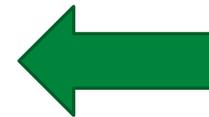
Electroválvula 3/2

0.15 – 0.8MPa (21 – 114) psi



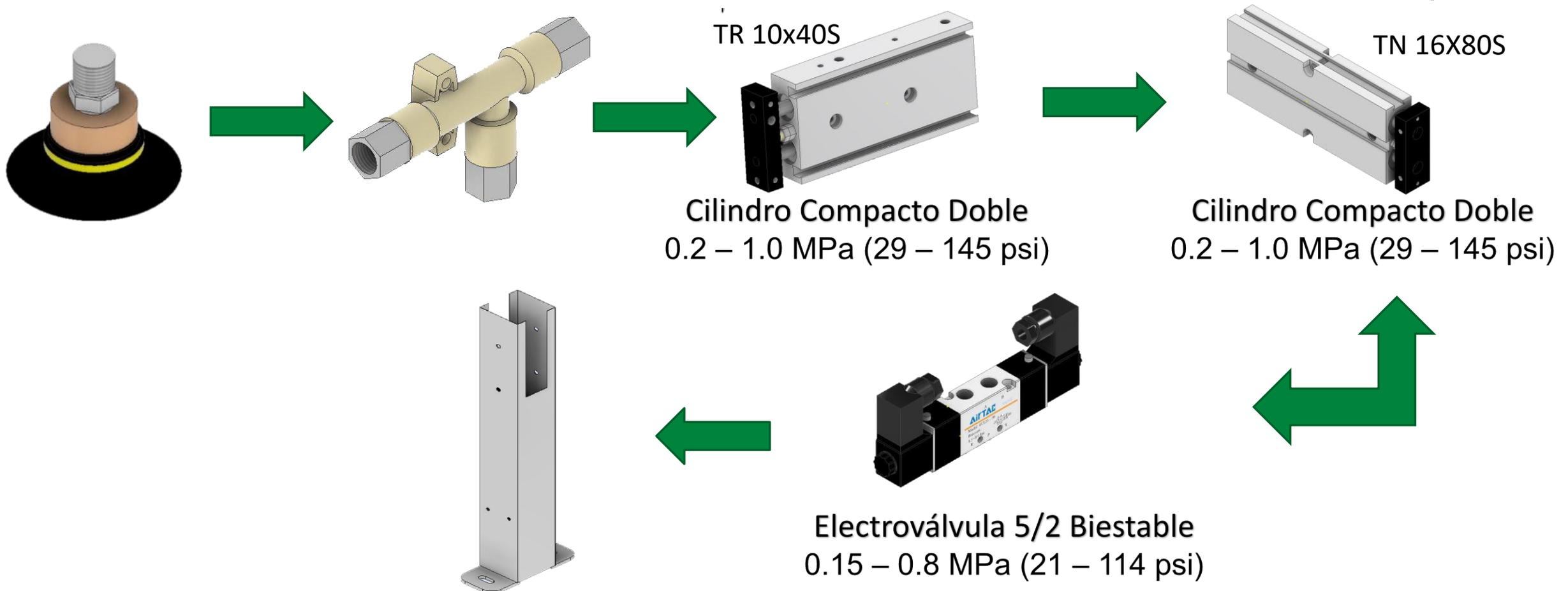
Cilindro simple efecto

0.2 – 1.0 MPa (28– 145 psi)



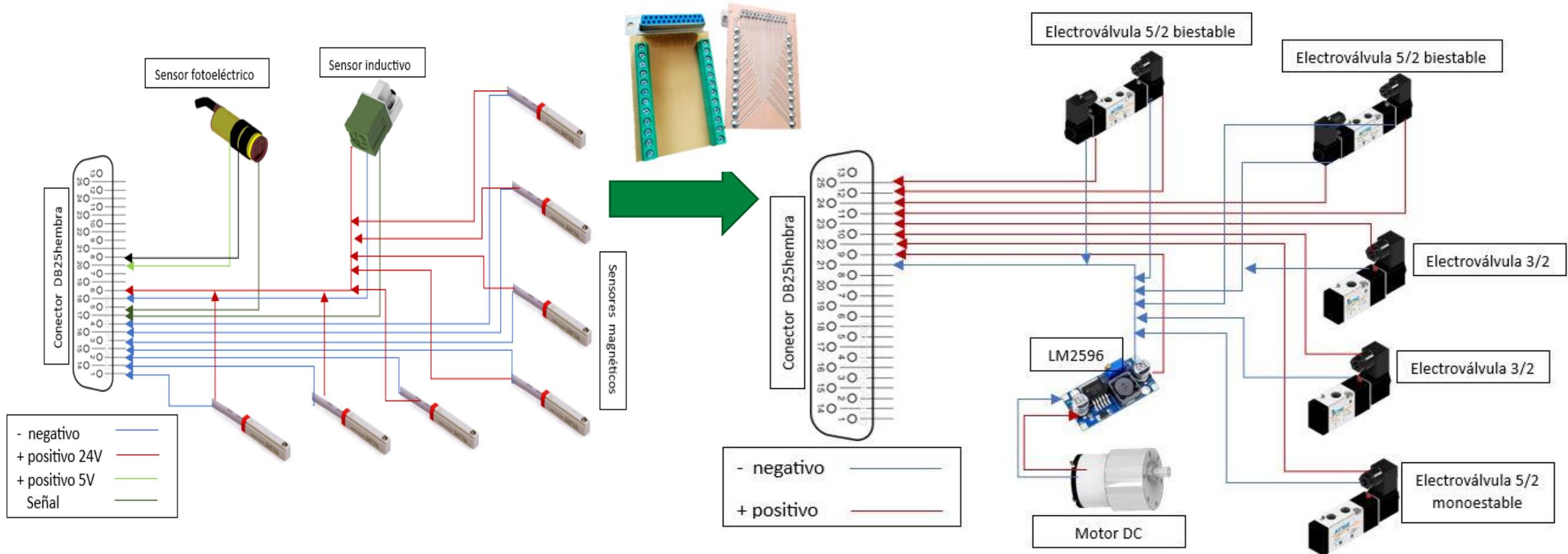
IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

Diseño del Sistema Pick & Place



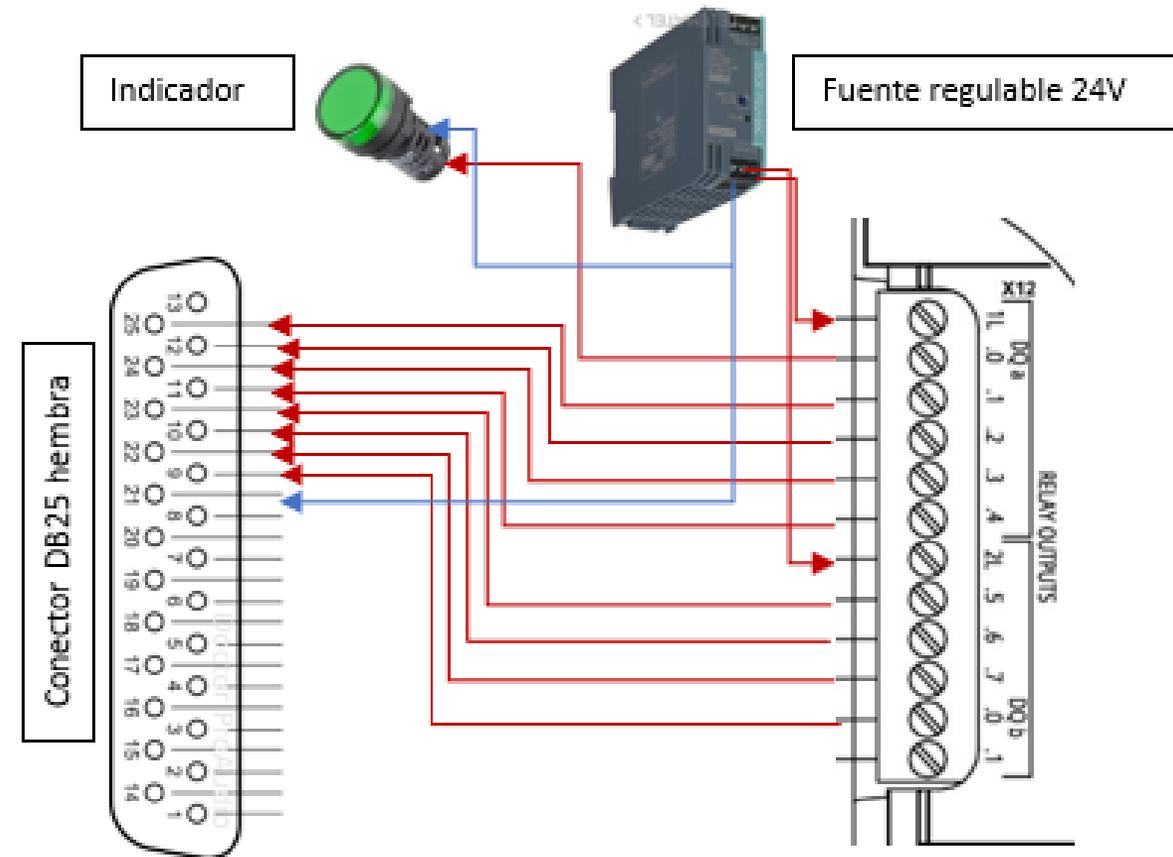
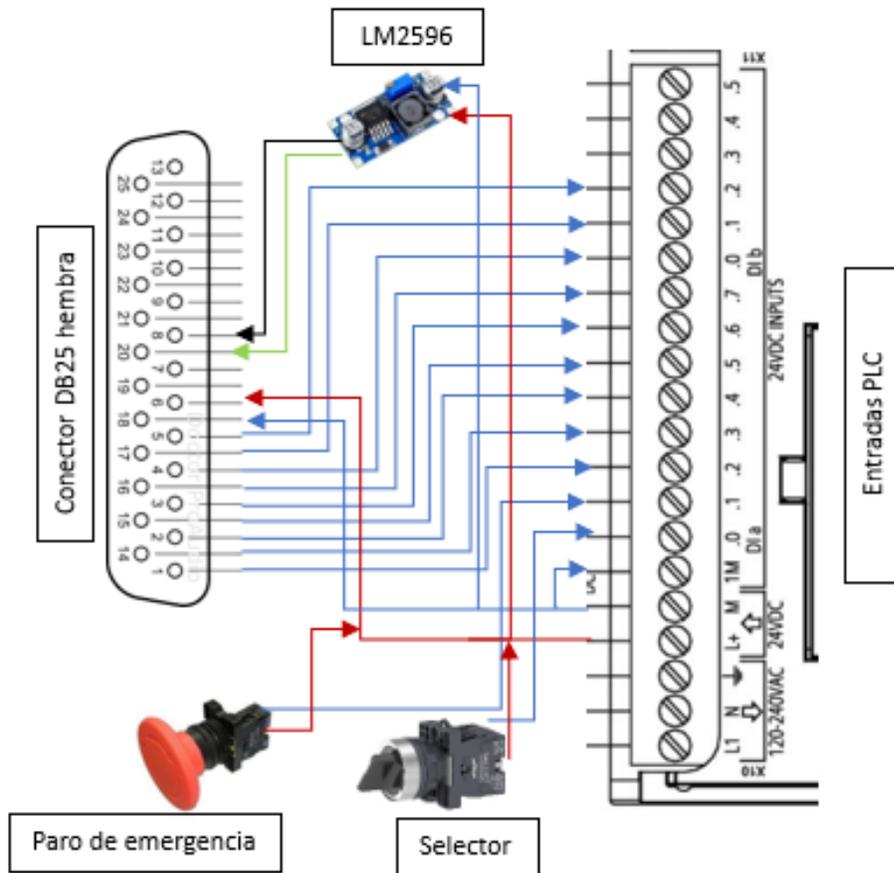
IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

Diseño eléctrico

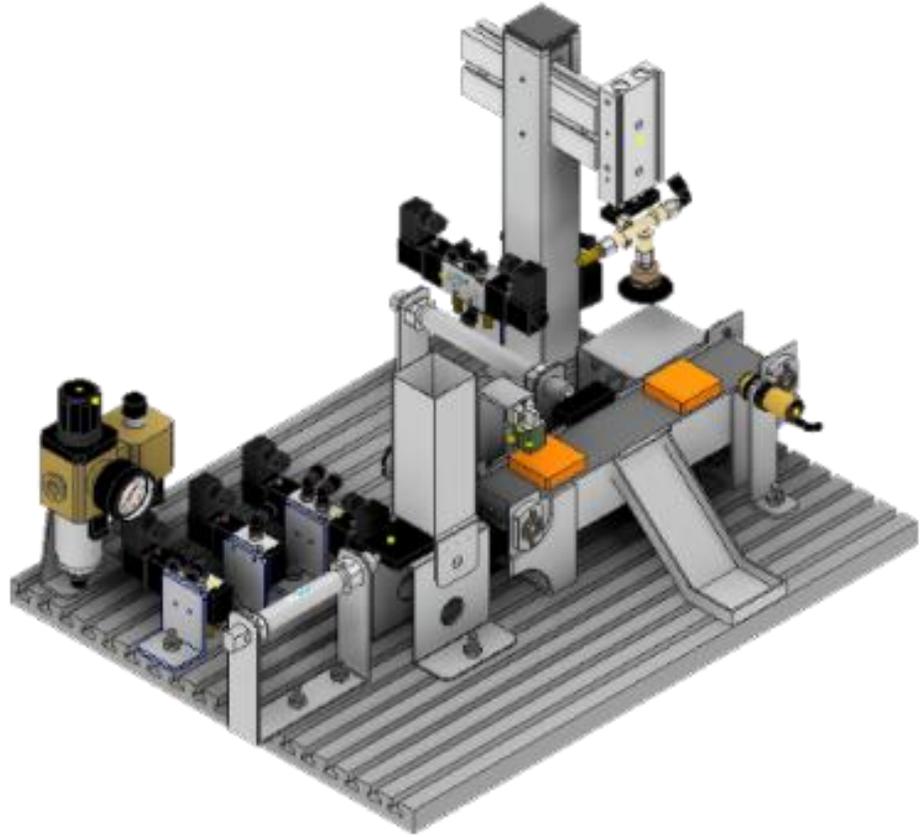


IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

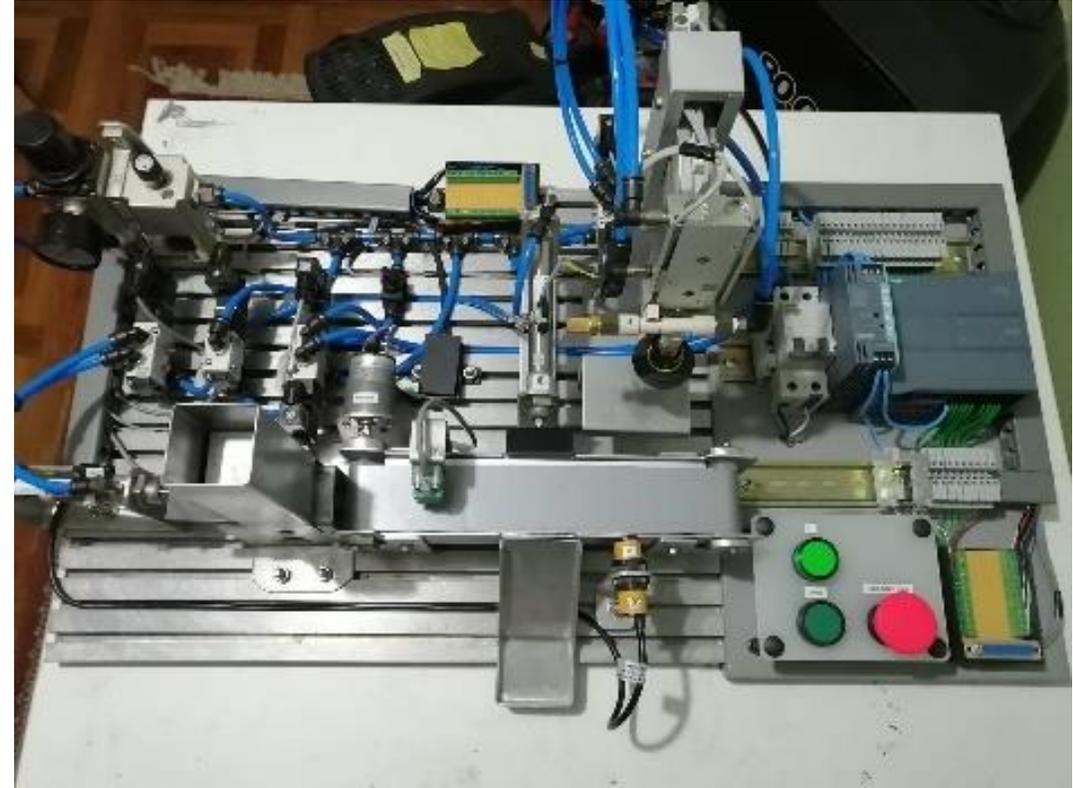
Diseño eléctrico



IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO



Modelado 3D



Módulo Real



Tecnología IoT

Programación PLC

Nombre del dispositivo: PLC_1

Dispositivo: CPU 1214C AC/DC/Rly
Referencia: 6ES7 214-1BG40-0XB0
Versión: V4.5

Ajustar dirección IP en el proyecto
Dirección IP: 192 . 168 . 0 . 5
Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 0

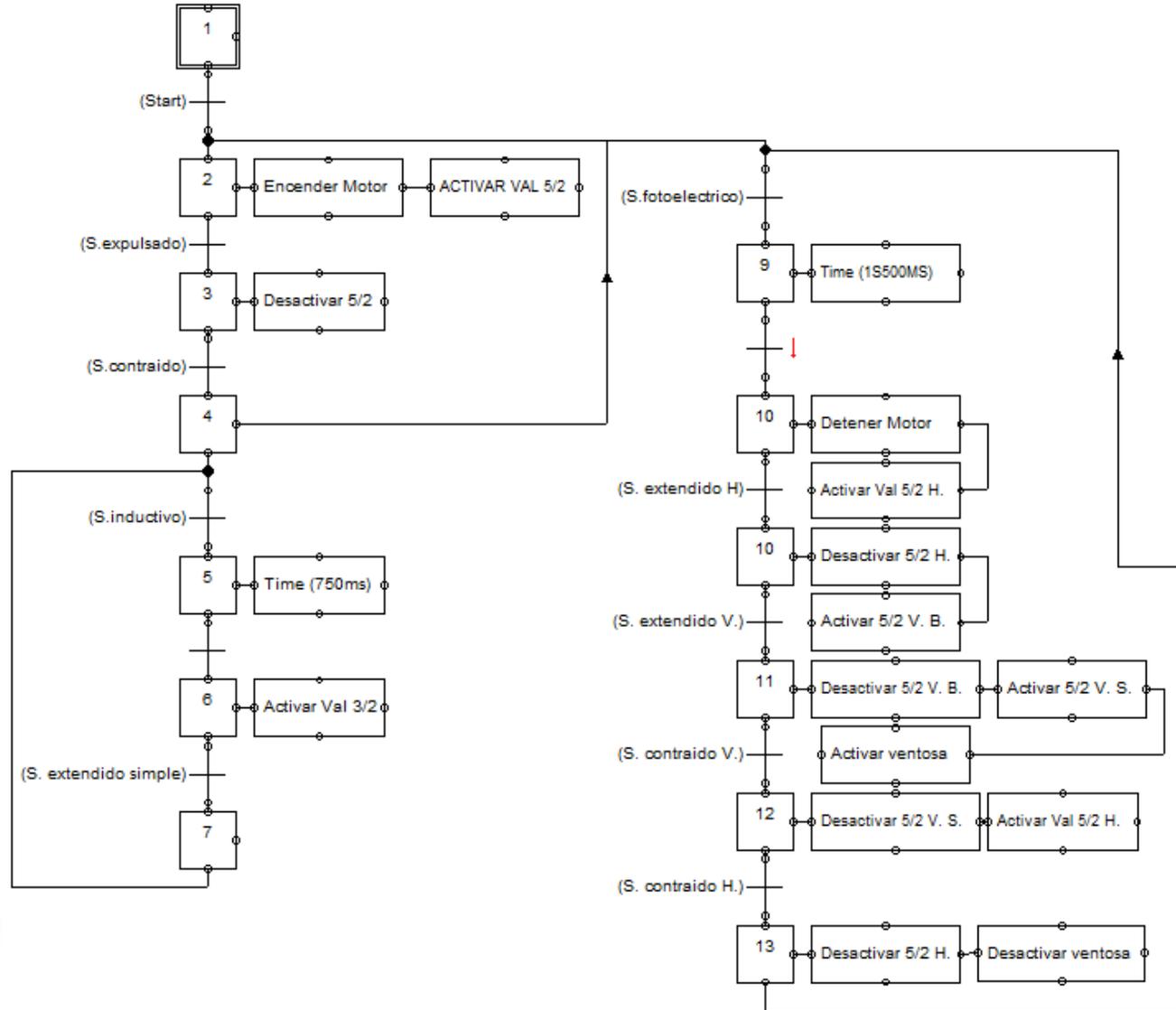
Tipo de interfaz PG/PC: PN/IE
Interfaz PG/PC: Realtek PCIe FE Family Controller
Conexión con interfaz/subred: Directo a slot '1 X1'

Dispositivo	Tipo de dispositivo	Tipo de interfaz	Dirección	Dispositivo de de...
PLC_1	CPU 1214C AC/D...	PN/IE	192.168.0.5	PLC_1
--	--	PN/IE	Dirección de acceso	--

Nombre	Dirección	Descripción	Sistema
Start	%I0.0	Pulsador NA	Iniciación
Stop	%I0.1	Pulsador NC	
L1	%Q0.0	Luz piloto verde	Sistema de Distribución
1M1	%Q0.7	Electroválvula 5/2 monoestable	
1B1	%I1.2	Sensor cilindro retraído	
1B2	%I0.2	Sensor cilindro extendido	Cilindro doble efecto
Motor	%Q1.0	Motor Banda transportadora	Sistema de Transporte
B8	%I1.0	Sensor Inductivo (NA)	
2B2	%I0.3	Sensor cilindro extendido	Cilindro simple efecto
2M1	%Q0.2	Electroválvula 3/2	Movimiento Horizontal
4M1	%Q0.5	Electroválvula 5/2 biestable	
4M2	%Q0.6	Electroválvula 5/2 biestable	Movimiento Vertical
3M1	%Q0.3	Electroválvula 5/2 biestable	
3M2	%Q0.4	Electroválvula 5/2 biestable	Sistema Pick&Place
5M1	%Q0.1	Electroválvula 3/2 ventosa	
B9	%Q0.4	Sensor Fotoeléctrico (NC)	
3B1	%I0.5	Sensor cilindro retraído	Movimiento Horizontal
3B2	%I0.4	Sensor cilindro extendido	
4B1	%I0.7	Sensor cilindro retraído	Movimiento Vertical
4B2	%I0.6	Sensor cilindro extendido	

Tecnología IoT

Programación PLC

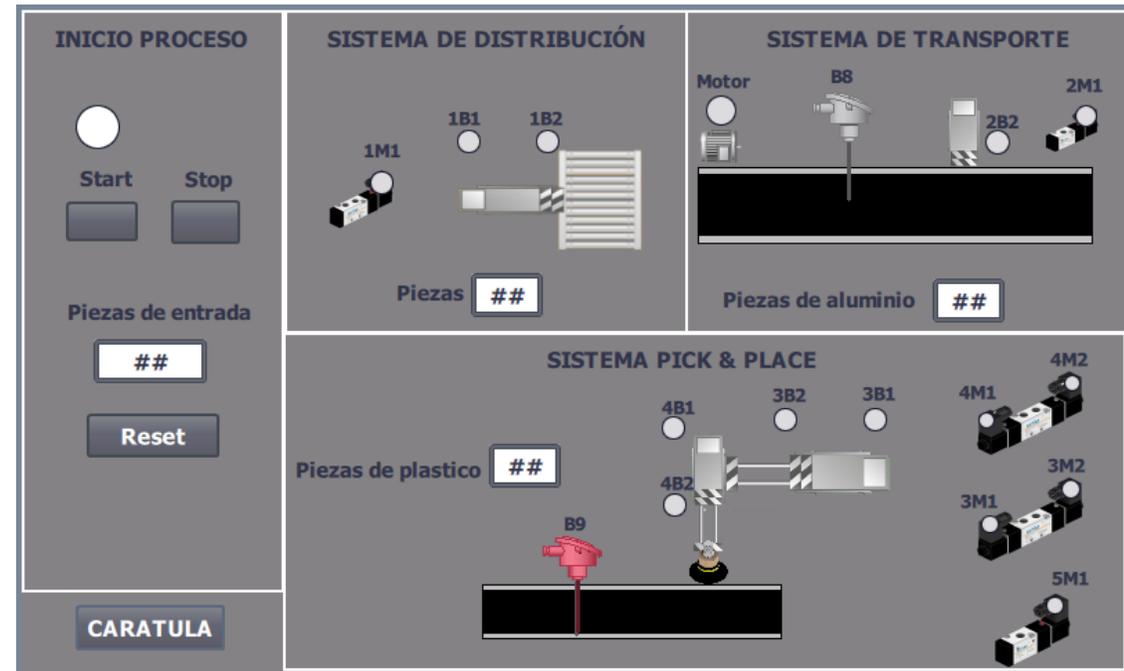


Online y diagnóstico	▶ Segmento 1: Inicio del módulo
▼ Bloques de programa	▶ Segmento 2: Encendido de motor
▶ Agregar nuevo bloque	▶ Segmento 3: Sistema de distribución
▶ Main [OB1]	▶ Segmento 4: Sistema de transporte
▶ HMI [DB6]	▶ Segmento 5: Sistema Pick & Place
▶ NODE_RED [DB1]	
▶ Bloques de sistema	

Tecnología IoT

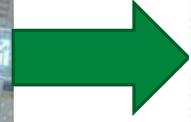
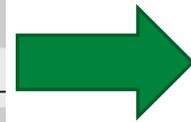
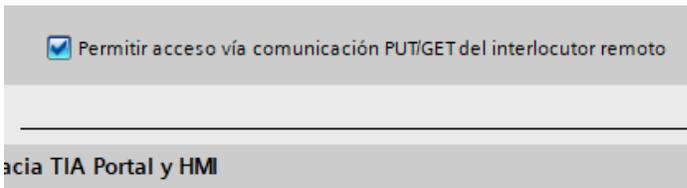
HMI → WinCC

Norma ISA 101



Tecnología IoT

Node-RED



```
C:\Use s\HP>node-red
16 Jan 04:15:00 - [info]

Welcome to Node-RED
*****

16 Jan 04:15:06 - [info] Node-RED version: v3.0.2
16 Jan 04:15:06 - [info] Node.js version: v15.5.0
16 Jan 04:15:06 - [info] Windows_NT 10.0.19044 x64 LE
16 Jan 04:15:08 - [info] Loading palette nodes
16 Jan 4:15:10 - [s7comm-Error] - Installation of Module net-keepalive fail
n32
16 Jan 4:15:10 - [s7comm-Info] - Debug configuration for loglevelNodeS7:{"l
16 Jan 4:15:10 - [s7comm-Info] - Debug configuration for loglevelNodeRED:{"
16 Jan 04:15:10 - [info] Dashboard version 3.2.0 started at /ui
16 Jan 04:15:10 - [info] Settings file : C:\Users\HP\.node-red\settings.js
16 Jan 04:15:10 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
16 Jan 04:15:10 - [info] User directory : \Users\HP\.node-red
16 Jan 04:15:10 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=f
16 Jan 04:15:10 - [info] Flows file : \Users\HP\.node-red\flows.json
16 Jan 04:15:10 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
16 Jan 04:15:10 - [warn]
```



Tecnología IoT Node-RED ---- FRED

Connection Variables

Transport: Ethernet (ISO-on-TCP)

Address: 192.168.0.5 Port: 102

Mode: Rack/Slot

Rack: 0 Slot: 1

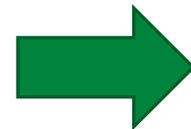
Cycle time: 1000 ms

Timeout: 2000 ms

Name: PLC

Variable list

DB1_X0.0	START
DB1_X0.1	LED_START
DB1_X0.3	STOP_EMERGENCY
DB1_X0.4	S_abierto_doble
DB1_X0.5	S_abierto_simple
DB1_X0.6	S_horizontal_abierto



Inicio de proceso

START trigger 250ms START LED_START led

START trigger 250ms

Emergencia trigger 250ms Paro de emergencia

STOP trigger 250ms

RESET trigger 250ms RESET

RESET trigger 250ms

fred in

s7-http-get

s7comm

LED_START

Inicio de proceso

START START LED_START LED_START donut

STOP STOP RESET RESET

Ingresar Dato abc

ON Activ_ingreso

Lead_activ Led_activ donut

OFF Desactiv_ingreso

C_Piezas Piezas Listas C_Piezas

ACCOUNT SUBSCRIPTIONS LOGOUT

1d3h

STOP INSTANCE CONSOLE

function switch



Tecnología IoT FRED

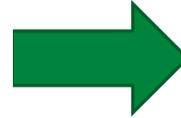


The screenshot displays the FRED IoT control interface, organized into four main sections:

- INICIO DEL SISTEMA:** Contains control buttons for START, STOP, and RESET. It also features a data entry field labeled 'Ingresar Dato' and status indicators for ON and OFF. A 'Piezas Listas' counter shows 2 pieces.
- SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN:** Shows status for 'S. retraído' and 'S. extendido'. It includes a 'Cilindro Doble Efecto' with a graph showing a constant value of 0 over time (04:41:34 to 04:42:04) and a 'Contador piezas' set to 2.
- SISTEMA DE TRANSPORTE:** Features a 'Motor' toggle switch, status indicators for 'S_extendido' and 'S_Inductivo', and an 'Electrovalvula 3/2' toggle. It includes a 'Cilindro Simple Efecto' graph showing a constant value of 0 and a 'Piezas de aluminio' counter set to 1.
- SISTEMA PICK & PLACE:** Controls 'MOVIMIENTO HORIZONTAL' and 'MOVIMIENTO VERTICAL' with status indicators for 'S_contraído' and 'S_extendido'. It includes 'Electrovalvula 5/2' toggles for both movements, 'Cilindro Plano Horizontal' and 'Cilindro Plano Vertical' graphs (both showing 0), a 'VENTOSA' section with an 'Electrovalvula 3/2' toggle, and a 'Piezas de plastico' counter set to 1.

Tecnología IoT

Aplicación Móvil



Tesis_APK [Edit Name](#) [Delete License Key](#)

[License Key](#) [Usage](#)

Please copy the license key below into your app

```
ARX+tKP/////AAABmaBPeTmeM0VGjOWZON/4Y8YynYu5vu1K61NH7VzEbQMDopwzSDptMX6a302U1zcNoGwOR10q18DYrz1/JCG/461  
DbIF2Fo/B/TbOUdXDoraUF1FB7AJrFKonnktXYmZDMGQEpD2jEpeNs2J0BH5OH9871rVm33ct1jA9gem1VCRwYyzr/abn0dJK8Wm7W1U  
4RypBE1y9Vr3W10Kj1JKKAOBNJ6W/CF81B1EAqw4H1cpzGcFI1UzZ4UDHAZNVwQ0UmU115uCSVRt1pT42gUYUUMHSUyW0peV1EyXlMj  
P/MiRUWeo1entRD7ZR8xulmNFrKfWv1ypYMBbQZVT79NjHjVfRQKVOAYrN+X/xWvpRXRfR0r
```

Plan Type: Basic
Status: Active
Created: Jan 03, 2023 02:20
License UUID: 58a31cef05014998983d5266be5a5731
DATA_BASE_AR [Edit Name](#)
Type: Device

Targets (25)

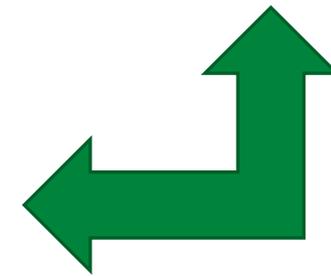
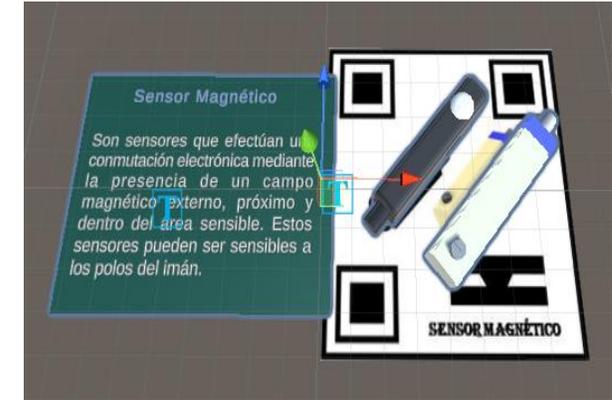
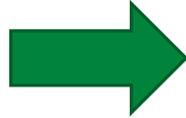
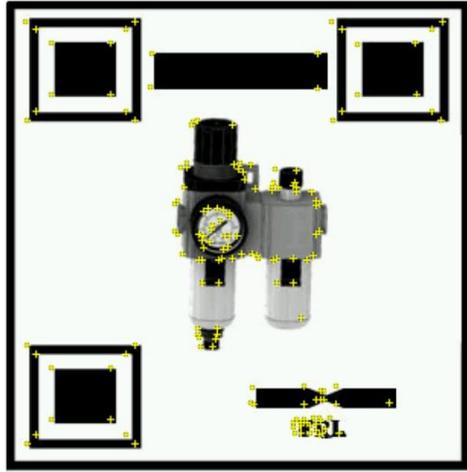
Add Target

Download Database (All)

<input type="checkbox"/>	Target Name	Type	Rating ^①	Status ^v	Date Modified
<input type="checkbox"/>	Mod_ventosa_AR	Image	★★★★★	Active	Jan 11, 2023 22:19
<input type="checkbox"/>	Mod_simple_AR	Image	★★★★★	Active	Jan 11, 2023 22:18
<input type="checkbox"/>	Mod_motor_AR	Image	★★★★★	Active	Jan 11, 2023 22:18

Tecnología IoT

Aplicación Móvil

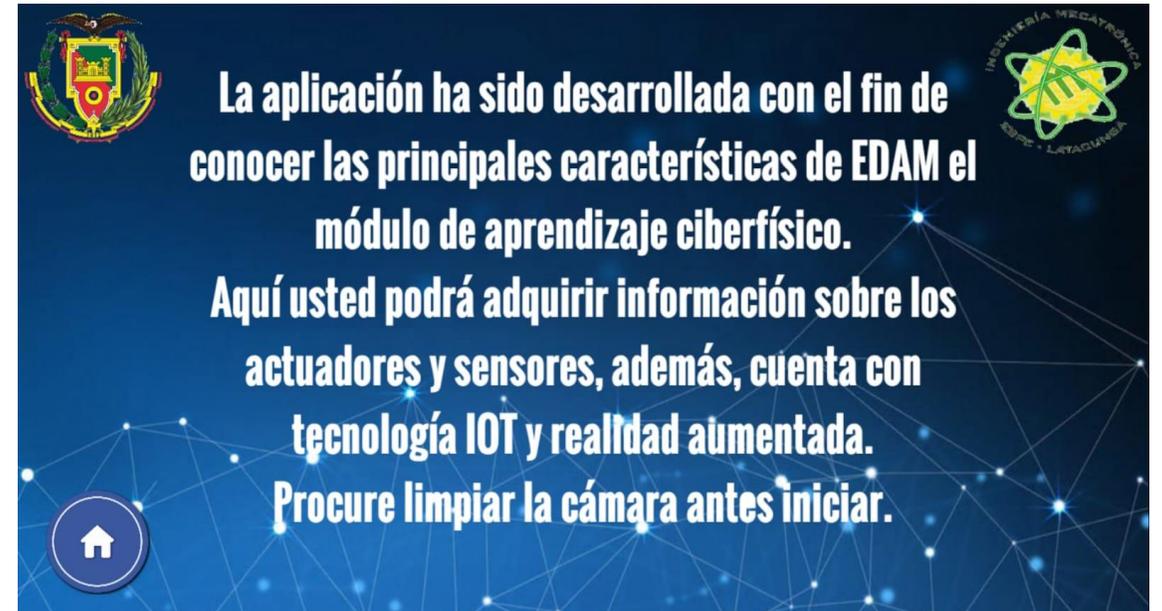


Tecnología IoT

Aplicación Móvil



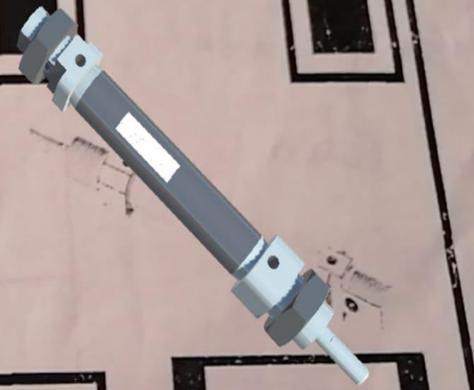
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Tecnología IoT Aplicación Móvil

Cilindro Doble Efecto

Es un actuador neumático que posee dos entradas de aire, las cuales permiten empujar o contraer el embolo.



PISTON COMPACTO PLANO

PISTON DOBLE



CILINDRO DOBLE EFECTO



ELECTROVÁLVULA 5/2 MONOESTABLE



VENTOSA



CILINDRO SIMPLE EFECTO



CILINDRO COMPACTO GUIADO



ELECTROVÁLVULA 3/2 MONOESTABLE



ELECTROVÁLVULA 5/2 REESTABLE



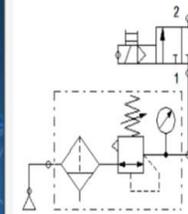
MOTOR DC



UNIDAD DE MANTENIMIENTO



Símbolo y Conexión



Características:

- Voltaje: 24DC
- Piloto: externo e interno
- Presión: 0.15-0.8MPa
- Potencia: 2.5W
- Material: Aleación de aluminio
- Max. Frecuencia: 5ciclos/s

Nota:

Verificar que la electroválvula este alimentada con 24V de corriente continua, así como identificar la entrada de aire constatando que este bien conectada y no tener perdidas de aire, a los costados de las válvulas tiene los identificativos para reconocer las entradas y salidas de aire.

Tecnología IoT

Aplicación Móvil



SENSOR INDUCTIVO

SENSOR FOTOELÉCTRICO

SENSOR MAGNÉTICO

Caraterísticas:

- Voltaje: 10 – 28 VDC
- Modelo: 2 hilos
- Corriente: 3mA
- Histéresis: <5%
- Grado Protección: IP67

Símbolo y Conexión

Nota:

Los sensores están acoplados a los cilindros neumáticos con el fin de saber la posición del embolo, eso permite tener un mejor control sobre los mismos. Ajustar correctamente cada uno de ellos antes de comenzar el proceso con el módulo didáctico.

Presione sobre la imagen para entrar en el servidor que contiene datos en tiempo real del módulo didáctico.

eaescobar5.fred.sensetecnic.com/api/ui/#/!/?socketid=yINXSYVF

EDAM-IOT

INICIO DEL SISTEMA

START STOP

RESET

Ingresar Dato

ON OFF

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

S. retraído S. extendido

Electrovalvula 5/2

Cilindro Doble Efecto

Pruebas y análisis

Sistema de Distribución



Elemento	Numero de pruebas	Cumple con su función	% de acierto
Cilindro doble efecto	15	si	100%
S1_cilindro cerrado	15	si	100%
S1_cilindro abierto	15	si	100%
Electroválvula 5/2	15	si	100%



Pruebas y análisis

Sistema de Transporte

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	% de acierto
Motor	15	si	100%
Cilindro simple efecto	15	si	100%
S3_cilindro abierto	15	si	100%
S_inductivo	15	si	100%
Electroválvula 3/2	15	si	100%
Clasificación pieza aluminio	15	si	80%



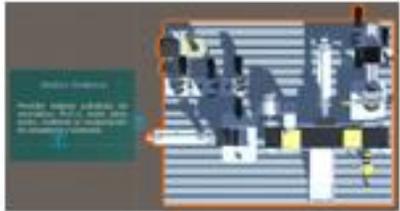
Pruebas y análisis

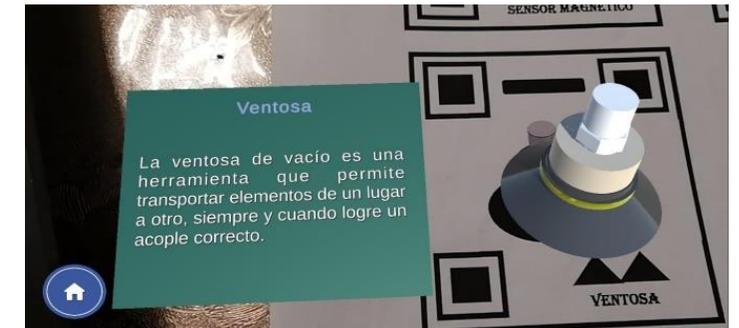
Sistema Pick & Place

Elemento	Número de pruebas	Cumple con su función	% de acierto
S6_fotoelectrico	15	Si	100%
Cilindro Plano Horizontal	15	Si	100%
Cilindro Plano Horizontal	15	Si	100%
S7_sensor plano abierto	15	Si	100%
S8_sensor plano cerrado	15	Si	100%
S9_sensor plano abierto	15	Si	100%
S10_sensor plano cerrado	15	Si	100%
Electroválvulas 5/2	15	Si	100%
Ventosa	15	Si	80%
Clasificación Pieza	15	Si	80%

Pruebas y análisis

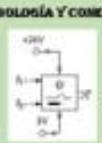
Pruebas Aplicación

Entrada	Salida	Nº de pruebas	Aciertos
 <p>MOTOR</p>	<p>Motor DC</p> <p>Motor de corriente directa (DC), transforma la energía eléctrica en energía mecánica, además, permite la rotación de giro y el cambio de giro de corriente.</p>  <p>MOTOR</p>	5	100%
 <p>MÓDULO DIDÁCTICO</p>	<p>Módulo Didáctico</p> <p>Permite realizar prácticas de programación de PLC's, entre otras áreas, mediante la manipulación de actuadores y sensores.</p> 	5	100%
 <p>RELAY CONTACTO PLANO COMPACTO</p>	<p>Cilindro Compacto Guiado</p> <p>Cilindro neumático doble efecto, que posee grandes patas y fuertes transversales, diversas posibilidades de fijación, además, cuentan para espacio para los accesorios.</p>  <p>RELAY CONTACTO PLANO</p>	5	100%



Pruebas y análisis

Pruebas Aplicación

Entrada	Salida	N° de pruebas	Aciertos
	<p>CILINDRO SIMPLE EFECTO</p>  <p>CARACTERÍSTICAS: - Modelo: MI16x50SCA - Flujo de acción: Aire - Presión de operación: 0.2 - 1.0 MPa - Rango de velocidad mm/s: 30 - 800 - Tolerancia de rotación: 360° - Fuerza de empuje: 17.1 - 125.9 N</p> <p>SIMBOLOGÍA Y CONEXIÓN</p> 	5	80%
	<p>CILINDRO DOBLE EFECTO</p>  <p>CARACTERÍSTICAS: - Modelo: MI16x50SCA - Flujo de acción: Aire - Presión de operación: 0.15 - 1.0 MPa - Rango de velocidad mm/s: 30 - 800 - Tolerancia de rotación: 360° - Fuerza de empuje: 14.6 - 120.9 N</p> <p>SIMBOLOGÍA Y CONEXIÓN</p> 	5	80%
	<p>SENSOR INDUCTIVO</p>  <p>CARACTERÍSTICAS: - Modelo: PL-50P - Voltaje: 10-36 VDC - Rango: 0-3 mm - Salida: NPN - Histéresis: <10% - Grado Protección: IP67</p> <p>SIMBOLOGÍA Y CONEXIÓN</p> 	5	80%



Pruebas y análisis

Pruebas Aplicación

Entrada	Salida	Nº de pruebas	Aciertos
	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelo: AIRBEST SF40 - Diámetro: 3mm <p>Nota:</p> <p>Revisar que la ventosa esta conectada correctamente a la válvula de vacío y a su vez que la válvula de vacío este conectada a la electroválvula 3/2 para evitar fugas de aire y tener un correcto funcionamiento.</p>	5	100%
	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flujo de acción: Aire - Presión de operación: 0.2 - 1.0 MPa - Rango de velocidad: 50 - 300 - Tolerancia de rotación: 360° - Fuerza de empuje: 15.1 - 125.9 N <p>Nota:</p> <p>Verificar que el cilindro está conectado correctamente a las tomas de aire, además, revisar que no choque contra la banda transportadora, ajustar de manera correcta para un desplazamiento libre.</p>	5	100 %
	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voltaje: 9V - Velocidad: 65 rpm - Carcasa: Metálica - Torque: 25 Kg/cm <p>Nota:</p> <p>Verificar que los terminales de conexión del motor estén conectados correctamente, en caso de falla revisar que este recibiendo el voltaje adecuado para su funcionamiento.</p>	5	100 %

Características:

- Voltaje: 24DC
- Piloto: externo e interno
- Presión: 0.15-0.8MPa
- Potencia: 2.5W
- Material: Aleación de aluminio
- Max. Frecuencia: 5ciclos/s

Nota:

Verificar que la electroválvula este alimentada con 24V de corriente continua, así como identificar la entrada de aire constatando que este bien conectada y no tener perdidas de aire, a los costados de las válvulas tiene los identificativos para reconocer las entradas y salidas de aire.



Pruebas y análisis

Pruebas con estudiantes

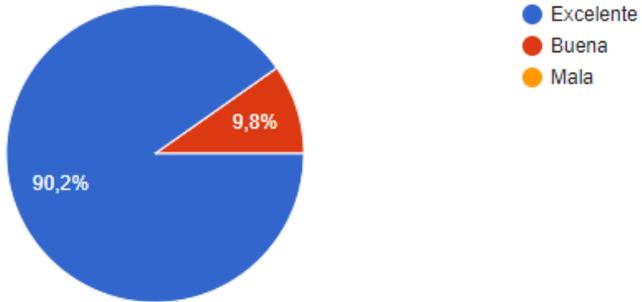




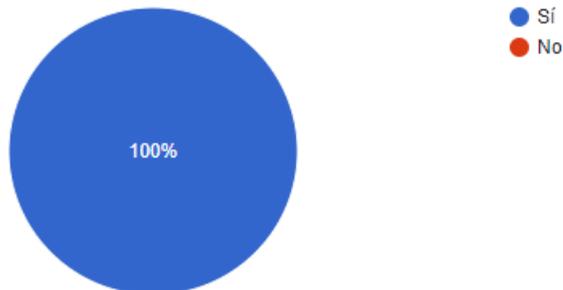
Pruebas y análisis

Encuestas

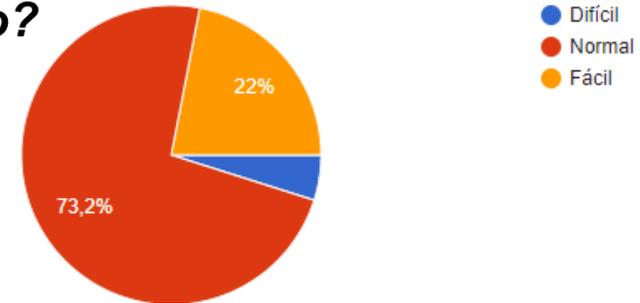
Pregunta 1: ¿Cómo califica usted la funcionalidad del módulo de aprendizaje ciberfísico?



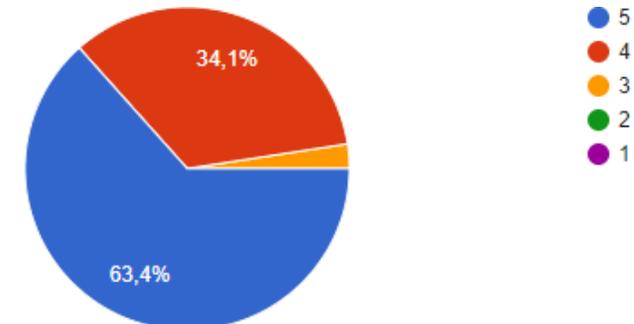
Pregunta 3: ¿Cree usted que el módulo de aprendizaje ciberfísico le permite complementar lo aprendido en las aulas de clase?



Pregunta 2: ¿Cuál es el nivel de complejidad al momento de utilizar el módulo de aprendizaje ciberfísico?



Pregunta 4: ¿Qué calificación le daría usted al diseño robusto del módulo de aprendizaje ciberfísico?

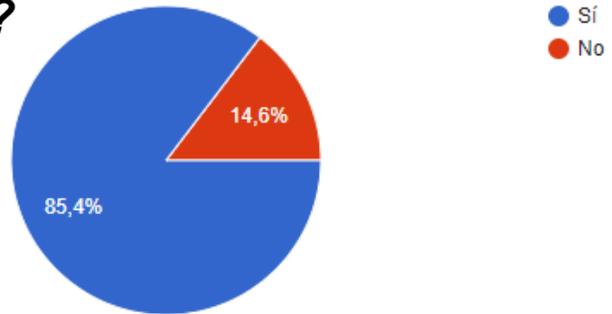




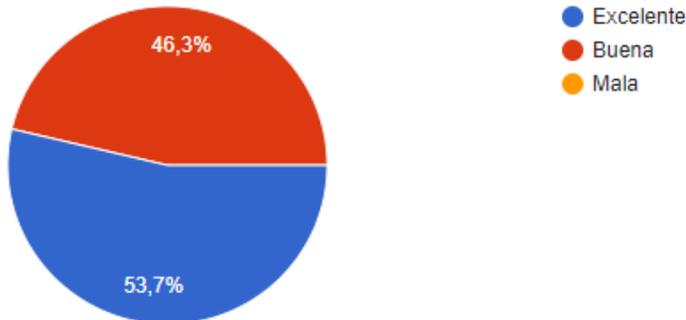
Pruebas y análisis

Encuestas

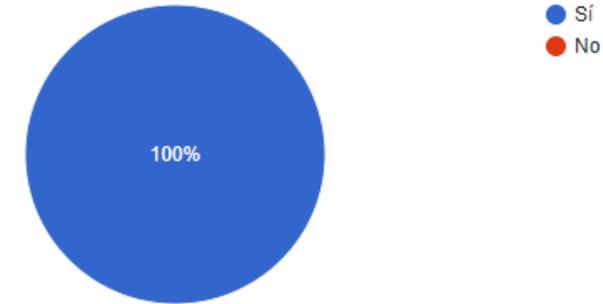
Pregunta 5: ¿Cree usted que el módulo de aprendizaje ciberfísico puede ser transportado con facilidad?



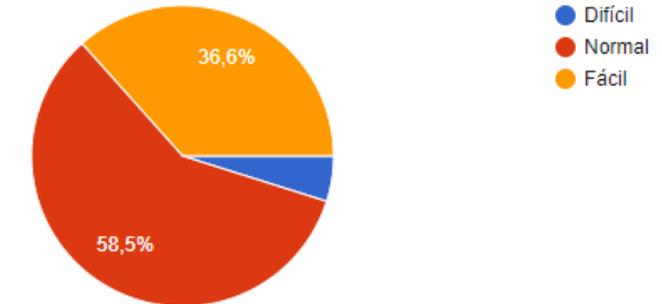
Pregunta 7: ¿Cómo califica usted a la interfaz de la aplicación móvil?



Pregunta 6: Al observar el módulo de aprendizaje ciberfísico: ¿Puede usted reconocer algún elemento de nivel industrial?



Pregunta 8: ¿Cuál fue el nivel de dificultad al momento de usar la aplicación móvil?

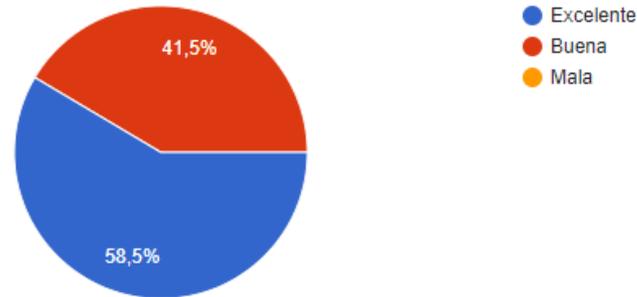




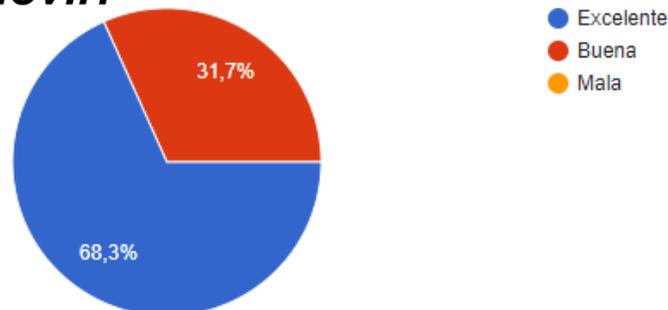
Pruebas y análisis

Encuestas

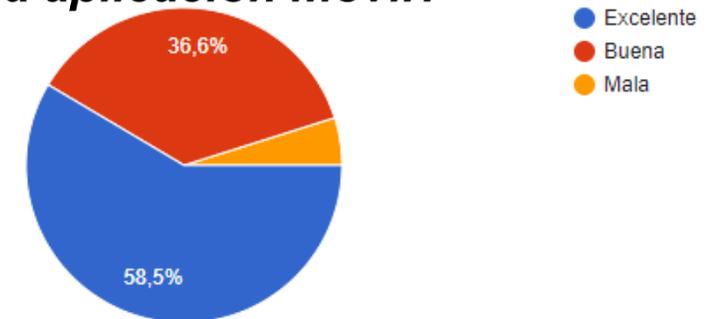
Pregunta 9: ¿Cómo califica usted a la información presentada en la aplicación móvil?



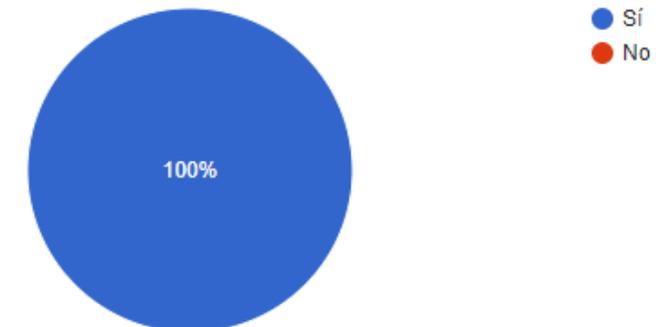
Pregunta 11: ¿Cómo califica usted la experiencia de utilizar las tarjetas de información en la aplicación móvil?



Pregunta 10: Con respecto a la realidad aumentada: ¿Cómo califica usted la experiencia de utilizar la cámara AR en la aplicación móvil?



Pregunta 12: ¿Creé usted que la aplicación ayudaría al momento de realizar prácticas de laboratorio?

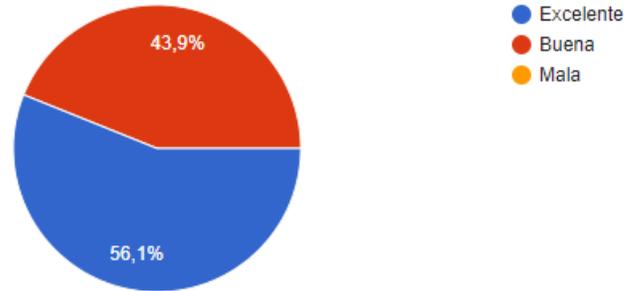




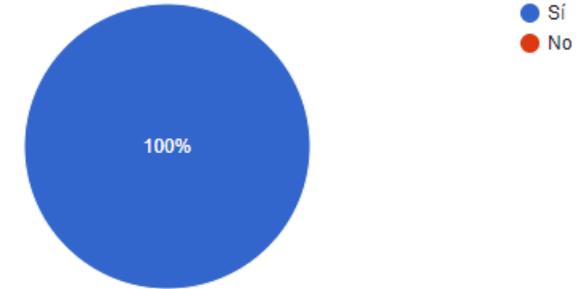
Pruebas y análisis

Encuestas

Pregunta 13: ¿Cuál fue su experiencia al utilizar la plataforma IoT dentro de la aplicación móvil?



Pregunta 14: ¿Le pareció útil el uso de la aplicación en conjunto con el módulo de aprendizaje ciberfísico?



Pregunta 15: ¿Qué sugerencia nos daría usted para mejorar el módulo de aprendizaje ciberfísico o la aplicación móvil?



Pruebas y análisis

Validación de Hipótesis

$$X^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

Item	Elemento	Sistema	Funcional	No funcional	N° Pruebas
1	Módulo de aprendizaje	Sistema de distribución	15	0	15
2		Sistema de transporte	12	3	15
3		Sistema Pick & Place	11	4	15
4	Herramientas	Realidad Aumentada	10	5	15
5	Industria 4.0	Plataforma IOT	15	0	15
Total			63	12	75

Datos	f_o	f_t	$(f_o - f_t)$	$(f_o - f_t)^2$	$\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$
Funcional 1	15	12,6	2,4	5,76	0,457142857
Funcional 2	12	12,6	-0,6	0,36	0,028571429
Funcional 3	11	12,6	-1,6	2,56	0,203174603
Funcional 4	10	12,6	-2,6	6,76	0,536507937
Funcional 5	15	12,6	2,4	5,76	0,457142857
No Funcional 1	0	2,4	-2,4	5,76	2,4
No funcional 2	3	2,4	0,6	0,36	0,15
No funcional 3	4	2,4	1,6	2,56	1,066666667
No funcional 4	5	2,4	2,6	6,76	2,816666667
No funcional 5	0	2,4	-2,4	5,76	2,4
Total					10,515873

- Se obtiene que para un valor de confianza de 95% se tiene un valor crítico de 9,488
- Hipótesis alternativa con 95% de confiabilidad, la cual menciona que el diseño e implementación de un módulo de aprendizaje ciberfísico utilizando herramientas de la industria 4.0 permitirá la simulación y monitoreo de un proceso industrial didáctico en tiempo real para el Laboratorio de Mecatrónica de la universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” sede Latacunga.



Pruebas y análisis

Conclusiones

- Se implementó de manera exitosa un módulo de aprendizaje ciberfísico de 350 x 400 x 500 mm conformado por un sistema de distribución, un sistema de transporte y un sistema Pick & Place que contiene una plataforma IOT para la supervisión en tiempo real y una aplicación de realidad aumentada.
- Por medio de la información adquirida mediante investigación bibliográfica se logró realizar la selección adecuada del material empleado como es el aluminio 6061, un PLC S7-1200, un sensor inductivo, un sensor fotoeléctrico y definir la arquitectura modular tipo bus que permite adaptabilidad y flexibilidad en el módulo de aprendizaje.
- Se diseñó un módulo de aprendizaje ciberfísico que contiene: 2 electroválvulas 3/2, una electroválvula 5/2 monoestable, 2 electroválvulas 5/2 biestable, 2 cilindros compactos planos, un cilindro simple efecto, un cilindro doble efecto, una ventosa de 3mm, un motor, 7 sensores magnéticos, un sensor inductivo y un sensor fotoeléctrico, para que el estudiante tenga la posibilidad de trabajar con distintos elementos, desarrollando nuevas habilidades y compactando los conocimientos recibidos en el aula.
- Se diseñó una conexión electroneumática con los actuadores, los mismos que tienen un rango presión de 28 -145 psi, sin embargo, en la unidad de mantenimiento se regula la presión de entrada a 45 psi para que trabajen en conjunto de manera eficiente.



Pruebas y análisis

Conclusiones

- Se implementó una plataforma IOT local con la ayuda de Node-RED configurando 43 nodos, los cuales mediante comunicación S7 reciben y envían un bloque de 27 datos al PLC S7-1200.
- Se contrató el servidor remoto FRED, donde se configuraron 21 nodos, los cuales envían y reciben datos de la plataforma Node-RED, permitiendo supervisar y monitorear la actividad de sensores y actuadores mediante un dashboard en tiempo real, tomando en cuenta que con una velocidad de internet de 25MB el tiempo que transcurre desde que se genera el dato en el proceso hasta que llega al dispositivo móvil o PC es menos a 1 segundo.
- Se desarrolló una aplicación móvil con la ayuda de Unity y Vuforia, la cual permite obtener las principales características de los sensores y actuadores, así como visualizarlos en 3D mediante realidad aumentada, teniendo una base de datos conformada por 25 tarjetas, 13 modelados 3D y 23 tarjetas de información agregadas a la aplicación.
- Mediante pruebas y encuestas realizadas a 41 estudiantes de Octavo Nivel de la Carrera de Mecatrónica se verificó que el módulo de aprendizaje en conjunto con la plataforma IoT y la aplicación móvil tuvo un promedio de 97,7% de respuestas positivas, respecto a la funcionalidad, así como la utilidad en el desarrollo de prácticas de laboratorio.



Pruebas y análisis

Recomendaciones

- Antes de iniciar una práctica de laboratorio en el módulo de aprendizaje, es necesario verificar que todas las entradas y salidas de aire se encuentren correctamente conectadas con el fin de evitar fugas de aire.
- Al no tener la licencia del software de programación TIA Portal V16 se puede crear una limitante en el uso del módulo, sin embargo, se puede descargar la versión demo la cual permite utilizarla con todas sus funciones por 21 días.
- Antes de programar en el software se recomienda utilizar el manual de usuario el cual le permite identificar la posición de los sensores y actuadores, conectados en las entradas y salidas del PLC.
- Al instalar la aplicación móvil proporcione todos los permisos necesarios para poder utilizar correctamente, debido a no tener la aplicación en Play Store, es necesario habilitar algunos permisos de seguridad del smartphone.



- No exceda una presión de aire de 130 psi, pues podría ocasionar daños en las electroválvulas o en los cilindros, por lo cual, se recomienda regular la presión de la unidad de mantenimiento entre 40 a 45 psi.
- No genere movimientos abruptos y repetitivos (efecto timbre) con los cilindros neumáticos con el fin de no generar un desgaste o daños en los mismos.
- Con el fin de abaratar costos en la plataforma IOT se recomienda a los estudiantes buscar alternativas que permitan acceder a un servidor remoto gratis, y así poder visualizar las variables desde cualquier dispositivo.



GRACIAS