

An Electrohydraulic Automation System based on Internet by a Single-Board Minicomputer

Fabrizio López*, Felipe J. Torres*, Israel Martínez*, Fabio A. Aguirre**, Cristian O. Mejía*

*Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Salamanca, Guanajuato, CP 36885 México (e-mails: {f.lopezmos, fdj.torres, israel.martinez, co.mejiamontero}@ugto.mx).

**TecNM/Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas. Lázaro Cárdenas, Michoacán. CP 60950 México (e-mail: fabio.aguirre@lcardenas.tecnm.mx)

Abstract: This work presents an automation system of an electrohydraulic industrial process to be implemented by a single-board minicomputer, Raspberry Pi, which executes the programming code by the use of Python language to remote control on internet of the sequential actions to both advance and retract of two double-acting hydraulic cylinders. The minicomputer uses the general purpose output port to power the solenoid valves through relays to manipulate different voltage levels, besides, input port pins are used to receive signals from limit-switch sensors to know the position of the rod. The automation design, firstly is proved by simulation to make decisions on control in comparison with the displacement-step diagram, then, experimental results are achieved by means of laboratory equipment to show the correct performance of the proposed automation approach as an application of Internet of Things via an embedded computer control system.

Keywords: internet-based automation system, internet of things, remote control, embedded computer control.

1. INTRODUCCIÓN

En general, el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) puede proporcionar conectividad avanzada de sistemas, servicios, objetos físicos, permite la comunicación de objeto a objeto y el intercambio de datos. El Internet Industrial de las Cosas puede lograrse mediante el control y automatización de diferentes sistemas como el control de temperatura, control de iluminación, sistemas mecanizados y monitoreo remoto de procesos en las industrias (Tay et al. 2018).

En los procesos industriales es común utilizar la energía de los fluidos comprimidos (hidráulica) para realizar acciones de trabajo que requieren de gran capacidad de fuerza. Así, un circuito hidráulico es conformado por varios componentes: equipo motor-bomba, filtros, válvulas y actuadores. El equipo motor-bomba es el encargado de suministrar la potencia hidráulica, las válvulas distribuidoras de vías son utilizadas como dispositivos de control hidráulico; finalmente, los actuadores son los elementos que ejecutan un trabajo hidráulico, convirtiendo la potencia del fluido en un desplazamiento mecánico. A lo largo de la historia de las revoluciones industriales, se gestó un importante avance en lo que se conoce como la Industria 3.0, en donde la aplicación de la electrónica digital, por ejemplo, el Controlador Lógico Programable (PLC) ha permitido la automatización de los procesos a través de dispositivos actuados por señales electrónicas. De esta manera, se utilizan electroválvulas, o también llamadas válvulas solenoides para controlar a los actuadores finales de un circuito hidráulico. Así mismo, se hace uso de distintos tipos de sensores que permiten conocer la posición del cilindro hidráulico para

determinar la secuencia del control de automatización. Sumergidos, actualmente, en el desarrollo de la Industria 4.0, es importante notar la importancia de incorporar la interconectividad a los procesos industriales. Por tal razón, ya no es suficiente con la automatización lograda por un PLC, ahora se requiere que exista una conexión a Internet para mando a distancia, monitoreo y análisis de datos, reconfiguración de los sistemas de control, entre otros desafíos.

Con el paso del tiempo se ha explorado otro tipo de herramientas para el control de sistemas hidráulicos, con el fin de realizar un trabajo más automatizado como en Tran et al. (2018) y Wu et al. (2017) donde se muestra el control de posición de un cilindro hidráulico usando una servo-válvula. En ambos casos logrando implementar diferentes medios de control para un sistema hidráulico, como lo es el uso de Matlab/simulink para el control de la servo-válvula que controla la posición del actuador del proceso. Respecto a aplicaciones de control a través de tarjetas de desarrollo, Ma'arif et al. (2021) utiliza un Arduino UNO para controlar un motor de corriente directa mediante un sistema de lazo cerrado; Vieira et al. (2020) presenta el control de una máquina perforadora Fischertechnik, basándose en la lectura de 4 sensores en tiempo real por medio de una RPi.

El objetivo de este trabajo es la implementación del control de automatización de un proceso industrial electrohidráulico que consiste de dos cilindros de doble efecto, manipulados a través de electroválvulas, en donde el dispositivo de control sea una minicomputadora en una placa, Raspberry Pi, que además permita la interconectividad a Internet para mando a distancia.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se describen los componentes y herramientas de programación, en la sección 3 se presenta el caso de estudio y el diseño del control de automatización tradicional; en la sección 4 se detalla el control de automatización en la Raspberry Pi; la sección 5 muestra los resultados de la simulación y de la experimentación a nivel laboratorio; por último, en la sección 6 se dan las conclusiones.

2. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

2.1 Raspberry Pi 3B+

La Raspberry Pi (RPi) es una computadora en placa única SBC (Single Board Computer) de bajo costo, con el objetivo inicial de ser un dispositivo didáctico en el área de computación. A lo largo de su historia se han creado diferentes modelos y algunos modelos alternativos, los cuales son: 1A, 1B, 1A+, 1B+, 2B, 3B, 3B+, 3A+ y 4B.

Particularmente, en este trabajo se utiliza el modelo Raspberry Pi 3B+, mostrada en la Fig. 1. Esta minicomputadora es una tarjeta inteligente programable de código abierto, basada en Linux; puede llegar a realizar las actividades que una computadora normal puede hacer, como lo es el uso de software para edición de texto, hoja de cálculo, diseño de presentaciones, navegar en Internet o reproducir archivos de video y audio. Las especificaciones más importantes son: procesador quad-core de 1.2 GHz ARM Cortex-A53, conectividad 802.11 b/g/n Wireless LAN, RAM de 1 Gb y GPU de Dual Core VideoCore IV®Multimedia Co-Processor (Raspberry Pi, 2015). La tarjeta contiene 40 pines de entrada/salida de propósito general (GPIO), de los cuales 27 son de uso programable, mientras que los 13 restantes son de alimentación de 5 V CD, 3.3 V CD, referencia GND, comunicación serial, etc.



Fig. 1. Minicomputadora Raspberry Pi modelo 3B+.

2.2 Módulo de relevadores

Las electroválvulas utilizadas en la experimentación, son dispositivos activados por solenoides, los cuales requieren

del suministro de un voltaje de 24 V CD para su excitación. Debido a que la RPi puede proveer como máximo 5 V CD, no sería suficiente voltaje para controlar la activación de las válvulas, dentro del proceso de automatización.

En el laboratorio de la Universidad donde se llevó a cabo la implementación del proceso automatizado, se tiene una fuente de voltaje de 24 V CD, sin embargo, es necesario utilizar un componente que permita relacionar las señales de control con el circuito de potencia de activación de los solenoides, este componente es el relevador. De manera particular se empleó un módulo de relevadores de 4 canales, mostrado en la Fig. 2, el cual es una tarjeta que se conecta directamente con la minicomputadora RPi a través de la tira de 40 pines que permite seguir utilizando cada uno de los pines del GPIO sin tener conflicto de conexión física.

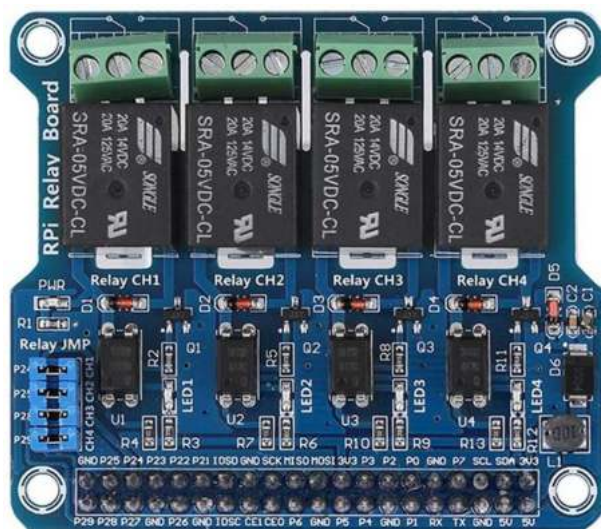


Fig. 2. Módulo de relevadores de 4 canales para la Raspberry Pi.

El funcionamiento del módulo de relevadores va directamente relacionado al nivel lógico de los pines 24, 25, 28 y 29. Estos 4 pines son los que están conectados directamente con los 4 canales de relevadores de la tarjeta. Si el nivel lógico de uno de estos pines es 1, el relevador relacionado a este pin se activará haciendo conmutar a sus contactos. Si alguno de estos pines tiene un nivel lógico 0, el relevador conectado a este pin permanecerá sin excitarse.

2.2 Lenguaje Python

Python es un lenguaje de programación desarrollado por Guido Van Rossum a finales de los años 80's, liberado por primera vez en 1991. Este lenguaje cuenta con diferentes paradigmas de programación, lo cual hace que sea considerado un lenguaje multiparadigma. Es un lenguaje libre y enfocado a trabajar con objetos, puesto que todo Python es un objeto. Además, Python es un lenguaje que no compila, si no que se interpreta durante el tiempo de ejecución, lo cual hace que sea considerado un lenguaje interpretado. En base a esto y al ahorro de tiempo y dinero

que genera trabajar con él, se convierte en el lenguaje principal para trabajar con aplicaciones de la Industria 4.0, debido a que puede cumplir los siguientes objetivos: administración de servidores, programación web, cómputo científico, inteligencia artificial, lenguaje de guiones, entre otros (Saabith et al., 2019). Para la realización de este trabajo se siguió el esquema básico de una aplicación web presentado en la Fig. 3 (Mora, 2001).

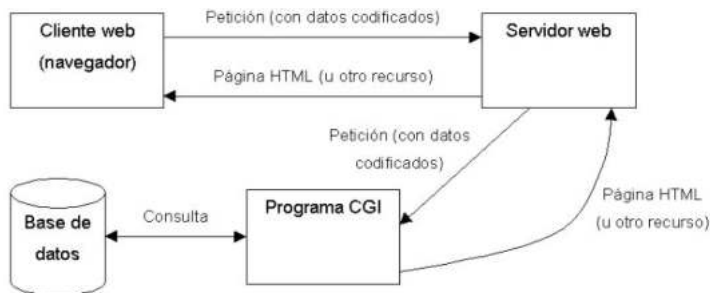


Fig. 3. Esquema básico para una aplicación web.

2.4 Entorno HTML y servidor Apache

Para una aplicación web se necesitan tanto de un servidor como del cliente. El servidor se realiza mediante un script de Interfaz de Entrada Común (CGI por sus siglas en inglés), programado en Python, mientras que para el cliente se utiliza el lenguaje HTML (HiperText Markup Language), el cual se encarga de convertir un documento de texto en una página web con diferentes tipos y tamaños de letras, imágenes, animaciones, formularios, etc., de tal manera que se cumplan ciertas características como: la información tiene que ser distribuida, fácil de navegar, compatible con todo tipo de ordenadores y dinámico (Cordero, 2014).

El servidor web es un programa de tipo informático que se encarga de procesar la aplicación del lado del servidor. *Apache HTTP server* es un software de servidor web gratuito y de código abierto para plataformas Unix. Permite a los propietarios de sitios web servir contenido en la web, de ahí el nombre de “servidor web”. Para lograr ese objetivo, actúa como un intermediario entre el servidor y las máquinas de los clientes. Extrae el contenido del servidor en cada solicitud de usuario y lo envía a la web (Valentine, 2021).

3. PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Se considera un proceso industrial de automatización que consiste en una máquina de tapado, como se observa en la Fig. 4.

El funcionamiento del proceso se describe a continuación:

- Cuando se da la orden de arranque, el cilindro 1A se extiende para sujetar la caja azul de la Fig. 4. Se inicia un temporizador que permite contar el tiempo que el cilindro 1A ocupa en llegar a su final de carrera.

- Al término de la temporización, la caja se mantiene sujeta mientras el cilindro 2A se extiende para presionar la tapa roja sobre la caja, por tanto, la caja podrá estar tapada.
- Un sensor de fin de carrera envía señal al cilindro 2A para que regrese a su posición inicial.
- Un sensor de inicio de carrera detecta al cilindro 2A y envía señal para que el cilindro 1A regrese a su posición completamente retraído.

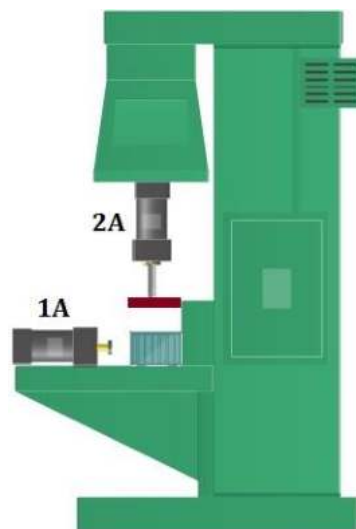


Fig. 4. Proceso industrial como caso de estudio.

3.1 Diseño del circuito hidráulico

El diseño del circuito hidráulico se realizó considerando los componentes existentes en el laboratorio de la Universidad, ver Fig. 5, donde se llevó a cabo la implementación de la experimentación.



Fig. 5. Banco electrohidráulico del laboratorio de la Universidad.

Así, se estableció un circuito hidráulico como el mostrado en la Fig. 6.

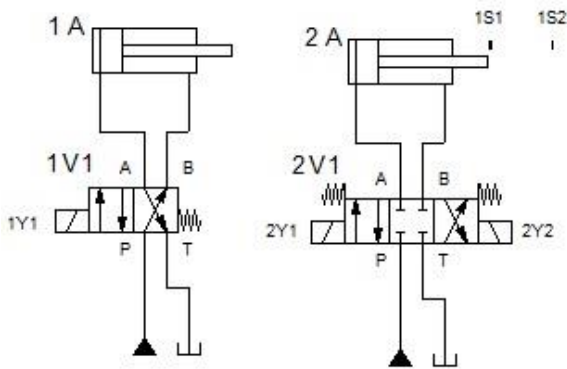


Fig. 6. Diseño del circuito hidráulico.

Donde:

- 1V1 es una válvula direccional de 4/2 vías, actuada por un solenoide 1Y1 y restituida por resorte. Es importante resaltar que la restitución por resorte hace que se requiera sostener energizado el electroimán 1Y1 para que la posición de paso de la válvula 1V1 se mantenga. Requiere alimentación de 24 V CD.
- 2V1 es una válvula direccional de 4/3 vías, actuada por doble solenoide, restituida por resorte y posición central bloqueada. Para activar la posición de paso o retorno de este tipo de válvulas, es necesario que solo uno de los solenoides sea energizado a la vez. Requiere alimentación de 24 V CD.
- 1A y 2A son los cilindros de doble efecto, sin émbolo magnético, 3/4" de diámetro y 8" de carrera.
- 1S1 y 1S2 son los sensores de inicio y fin de carrera de tipo contacto conmutado por rodillo.

Notar que en el laboratorio solo existen este par de sensores, por lo cual para hacer el proceso industrial automatizado que se requiere se emplea el temporizador que permite completar la extensión total del cilindro 1A.

3.2 Control de automatización con lógica de contactos de relevadores y su simulación

El control de automatización de un circuito electrohidráulico comúnmente se realiza con componentes eléctricos, como relevadores, contactos de conmutación, botones pulsadores, entre otros. Los cuales son conectados de tal manera que logren desarrollar cada una de las acciones secuenciales a partir de un diagrama de desplazamiento-paso como el mostrado en la Fig. 7 que corresponde al funcionamiento deseable del proceso de automatización bajo estudio.

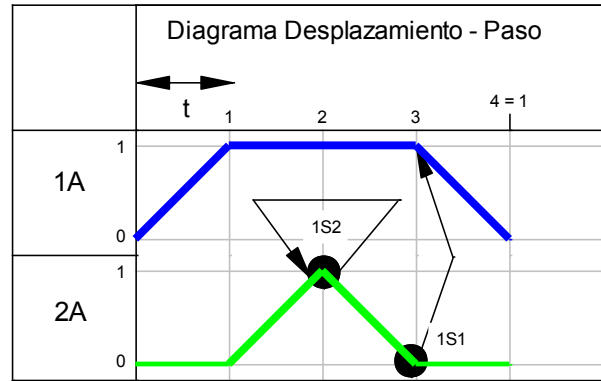


Fig. 7. Diagrama desplazamiento-paso del proceso de automatización.

En la Fig. 8 se detalla el esquema eléctrico en diagrama de escalera que automatiza el proceso industrial de acuerdo al diagrama de desplazamiento. El software de simulación FluidSim® proporciona información que permite conocer si se logra el objetivo de automatización diseñado.

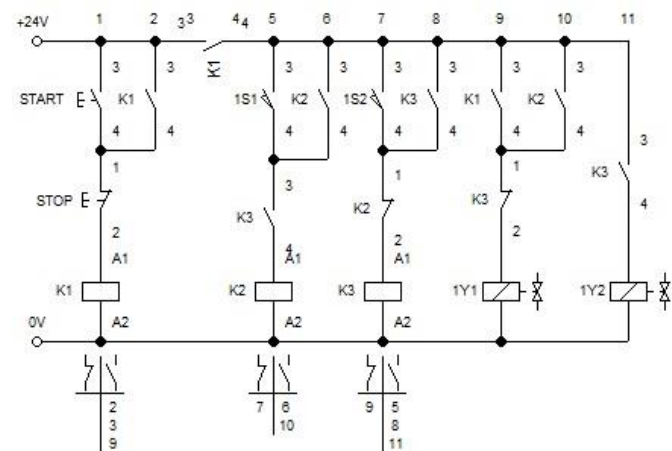


Fig. 8. Diseño del circuito eléctrico en diagrama de escalera.

4. DESARROLLO DE AUTOMATIZACIÓN EN LA RASPBERRY PI Y PYTHON

Como parte de la preparación de la conexión a Internet, en el software Apache de la minicomputadora se realizan las siguientes acciones:

- Crear los scripts de configuración de CGI.
- Configuración de IP de la RPi. Considerando las siguientes direcciones:
 - static ip address=192.168.1.200/24
 - static routers=192.168.1.1
 - static domain name servers=192.168.1.1

4.1 Programación en código de lenguaje Python

El diseño de la automatización en esquema eléctrico de diagrama de escalera permite identificar la secuencia lógica para codificarla en lenguaje Python, para lo cual:

- Importar las librerías necesarias: *cgi*, *cgitb*, *time*, *subprocess*, *popen*, *pipe* y *sys*.
- Configuración de los pines del GPIO que estarán conectados a los relevadores y los sensores.
- Establecer los estados lógicos iniciales de los pines configurados.
- Declarar las variables a utilizar en el cuerpo del código.
- El cuerpo del código contiene ciclos *for* para los temporizadores, así también ciclos *while* para detectar el cambio de nivel lógico en los pines conectados a los sensores.
- Tomar decisiones a través de sentencias *if* para mandar señales de activación de los relevadores que, a su vez, manipulan a los solenoides de las electroválvulas.

4.2 Interfaz de usuario en página web, lenguaje HTML

Para ejecutar el código de los scripts CGI programados en lenguaje Python a través de una conexión a Internet, es necesario llamarlos por medio de un formulario en HTML. Dentro de este formulario, se le indica al usuario como debe conectarse la RPi al sistema hidráulico y se pide que especifique el número de veces que desea que se ejecute el proceso. Esta interfaz de usuario se presenta en la Fig. 9.

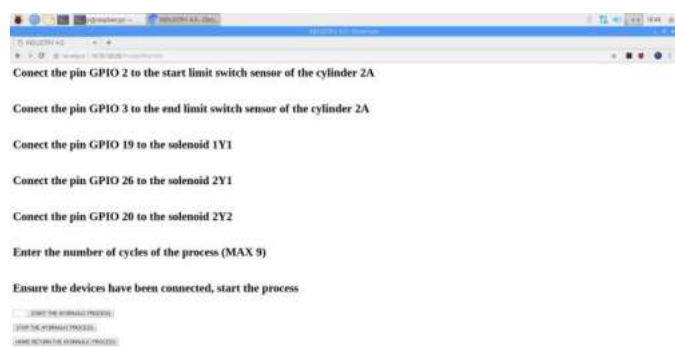


Fig. 9. Interfaz de usuario en página web.

Las acciones que el usuario puede realizar en la interfaz se programan en lenguaje HTML y se relacionan con los scripts CGI mediante 4 tipos de interacciones:

- Cuadro de texto para guardar el número de ciclos ingresado por el usuario, de 1 a 9.

- Botón de comienzo de ciclo (START THE HYDRAULIC PROCESS) que llama al script “Startcycle.cgi”, enviando así la información del cuadro de texto al programa principal.
- Botón de Paro de emergencia (STOP THE HYDRAULIC PROCESS), relacionado con el script “Stopcycle.cgi”.
- Botón de regreso a inicio (HOME RETURN THE HYDRAULIC PROCESS), el cual ejecuta el script “Restartcycle.cgi”.

5. RESULTADOS

El control de automatización por lógica de contactos propuesto y realizado en simulación obtuvo como resultados el diagrama de desplazamiento-paso que se aprecia en la Fig. 10 y que coincide con las acciones a realizar por el proceso de automatización que son señaladas en la Fig. 7.

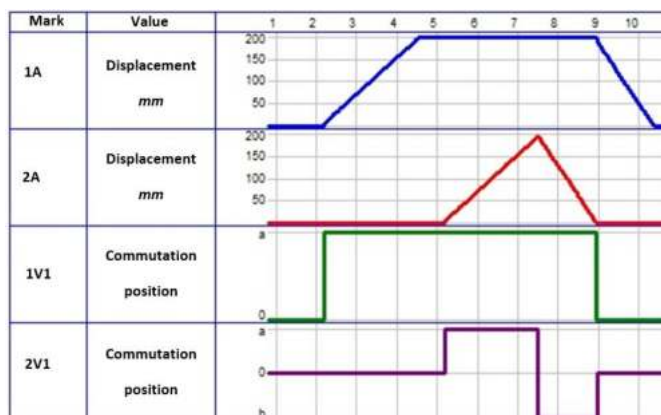


Fig. 10. Diagrama desplazamiento-fase en simulación.

Es posible observar en la Fig. 10, que la conmutación de la válvula 1V1, denotada por la línea verde, hace que el cilindro 1A, identificado de color azul, se extienda completamente hasta llegar a su fin de carrera. Cuando el cilindro 1A está totalmente extendido, se envía señal a la válvula 2V1, línea de color morado, que comanda el avance del cilindro 2A, dado en línea roja. Notar que la válvula 1V1 se mantiene en la posición de paso durante todo ese tiempo que se ha descrito al momento. El cilindro 2A llega a su fin de carrera de totalmente extendido, lo cual hace que se envíe doble señal a la válvula 2V1, una señal es para que se desactive el solenoide de paso y la otra señal es para activar la posición de cruce de la válvula 4/3. El cilindro 2A regresa a su inicio de carrera, cuando es detectado, se envía señal a la válvula 1V1 para que se desactive y por efecto del resorte, regresa a la posición de cruce, ocasionando que el cilindro 1A sea retraído.

La implementación física, experimentación, del caso de estudio de la automatización de un proceso industrial con mando por internet, se hizo en el laboratorio de manufactura de la División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato. Para lo cual fue

necesaria la configuración particular de un nodo de acceso a internet como IP pública, debido a las medidas de seguridad informática de la Universidad. Por tal razón, las direcciones puestas en la RPi fueron:

```
static ip address=10.70.120.25
```

```
static routers=10.70.120.1
```

```
static domain name servers=10.70.102.10
```

Los resultados de la experimentación son presentados en la Fig. 11 mediante un fotograma de la implementación del control de automatización realizada con los elementos disponibles. La lectura del fotograma se realiza de izquierda a derecha y de manera descendente.

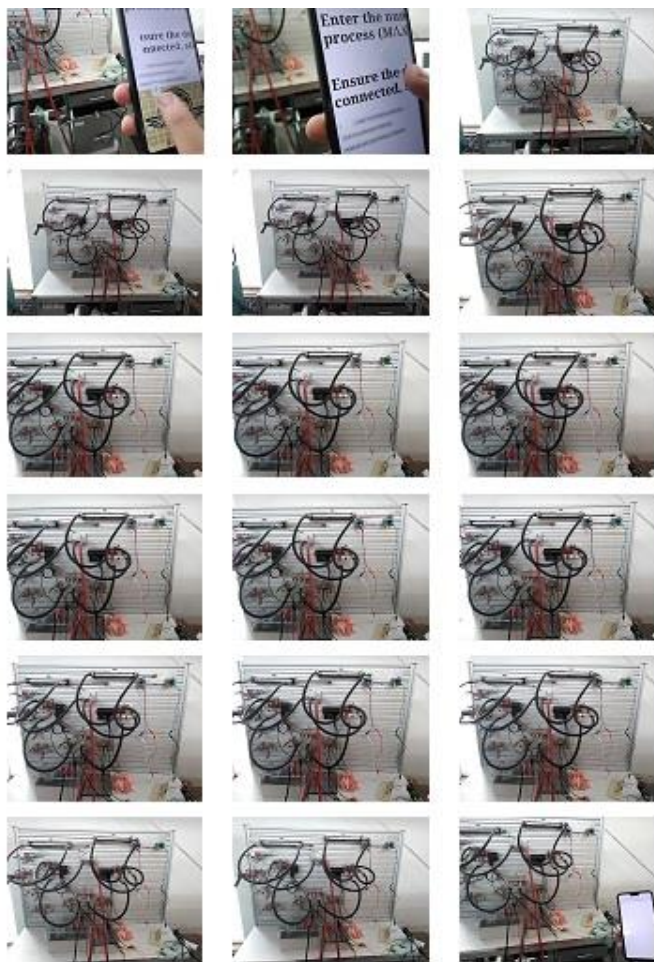


Fig. 11. Fotograma de la experimentación en el laboratorio de electrohidráulica de la Universidad.

5. CONCLUSIONES

Se ha dado evidencia del uso de una minicomputadora en placa única, como la Raspberry Pi, para realizar aplicaciones de control de automatización industrial en conectividad a Internet, lo cual permite que se introduzca en el sector industrial con resultados favorables con el auge de las nuevas tecnologías. La programación con código en lenguaje Python es accesible, poderosa y suficientemente eficiente para

cumplir con el objetivo dispuesto en combinación con la codificación en lenguaje HTML para la interfaz de usuario. Más aún, en comparación con la literatura consultada, en este trabajo se usa la minicomputadora Raspberry Pi para una aplicación de tipo industrial, con equipo y red de internet necesarios para escalar el esquema de implementación de control secuencial propuesto, de bajo costo, a otras aplicaciones industriales.

Trabajos futuros estarán enfocados en el monitoreo y análisis de datos en la nube, así como establecer mecanismos que permitan una reconfiguración del sistema en línea.

REFERENCIAS

- Cordero, J. J. T. (2014). *La guía definitiva del diseño web: Html, xhtml, css y herramientas de diseño*. Juan Jesús Tortajada Cordero.
- Ma'arif, A., Setiawan, N. R., y Rahayu, E. S. (2021). Embedded Control System of DC Motor Using Microcontroller Arduino and PID Algorithm. *IT Journal Research and Development*, 6(1), 30-42.
- Mora, S. L. (2001). *Programación de servidores web con CGI, SSI e IDC*. Club Universitario.
- Raspberry Pi (2015). Datasheet Raspberry 3 Model B+. *Raspberry Pi Foundation*.
- Saabith, A. S., Fareez, M. M. M., y Vinothraj, T. (2019). Python current trend applications-an overview. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 6(10).
- Tay, S. I., Lee, T. C., Hamid, N. A. A., y Ahmad, A. N. A. (2018). An overview of industry 4.0: Definition, components, and government initiatives. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 10(14), 1379-1387.
- Tran, N. H., Tao, Q. B., Huynh, T. T., Tran, X. T., y Vo, N. T. (2018, March). Modeling of Position Control for Hydraulic Cylinder Using Servo Valve. In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems* (pp. 696-706). Springer, Cham.
- Valentine, T. (2021). Installing and Using the Apache Web Server. In *Database-Driven Web Development* (pp. 155-170). Apress, Berkeley, CA.
- Vieira, G., Barbosa, J., Leitão, P., & Sakurada, L. (2020, February). Low-cost industrial controller based on the raspberry Pi platform. En *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 292-297). IEEE Xplore.
- Wu, W., y Yu, C. (2017). Simulation and experimental analysis of hydraulic directional control for displacement controlled system. *IEEE Access*, 6, 27993-28000.