



## **Proyecto Final**

### **“Barista Automatizado”**

#### **Integrantes:**

**Alberto Robles Lizalde**

**José Pablo Hernández Alonso**

**Dirk Anton Topcic Martínez**

**Samuel Villanueva Jiménez**

**Alejandro Flores Montes**

**Mary Tere Fügemann Sardá**

**Automatización industrial -**

**Profesor: Huber Girón Nieto**

**Universidad Iberoamericana de Puebla**

**25 de noviembre de 2024**

# Proyecto “Barista Automatizado”

- **INTRODUCCIÓN (Contexto y problemática a resolver)**

En eventos masivos o lugares concurridos donde se requiere algún servicio de cafetería (como pueden ser eventos sociales, juntas en oficinas de trabajo, entre otros) la lentitud en el servicio de café debido a la necesidad de supervisión humana directa para garantizar la atención puede generar algunos errores o atrasos, como los siguientes:

1. Filas largas y tiempos de espera prolongados, que afectan la experiencia del usuario.
2. Costos operativos mayores, al requerir la contratación de personal adicional para atender la demanda.
3. Falta de consistencia en la calidad del servicio, debido al cansancio del personal o a errores humanos en momentos de alta presión.

Una propuesta de solución a dichos inconvenientes es la instalación de un mecanismo automático que funcione como barista de café, que cuente con las siguientes características:

- Aceleración del proceso de servicio mediante un sistema lineal e inmediato que permite preparar y servir cafés de forma continua y precisa.
- Eliminar la necesidad de personal humano dedicado, reduciendo costos operativos y liberando recursos para otras tareas.
- Garantizar un servicio consistente, ofreciendo la misma calidad en cada taza sin importar el volumen de usuarios.
- Optimizar la experiencia del cliente, reduciendo filas y tiempos de espera, y permitiendo que los asistentes disfruten de su café sin estrés.

## **OBJETIVO**

### **I. General**

- Construir un barista mediante procesos automatizados aplicando los procesos vistos en clase (electrotecnia, electroneumática, motores, PLC y sensores) con el propósito de optimizar el proceso de preparación de café.

### **I. Específicos**

- Diseñar y construir un circuito neumático que permita controlar el flujo y entrega final del café ya preparado.
- Diseñar y construir un circuito eléctrico que permita seleccionar el tipo de café y de leche que guste el usuario.
- Crear un diagrama de bloques ejecutable en el PLC para el control de un motor a pasos (selector de leche) y comunicación con pines I/O con Robot UR5e para establecer la secuencia de trabajo para la elaboración de un café.

- **MARCO TEÓRICO**

## **Robots Colaborativos**

Un robot colaborativo, o cobot, es un brazo robótico diseñado específicamente para trabajar de manera conjunta con seres humanos en entornos industriales, como líneas de producción. Desde su creación, los cobots han sido implementados en diversas tareas industriales, logrando aumentar significativamente la productividad hasta niveles previamente inalcanzables. Gracias a los avances tecnológicos, estos robots han transformado la automatización industrial, permitiendo realizar actividades que eran inaccesibles o poco eficientes para los robots industriales tradicionales.

El término cobot fue acuñado en 1999, combinando las palabras "colaboración" y "robot". Su diseño prioriza la interacción segura y eficiente con los operarios humanos, mejorando el desempeño conjunto. Estos robots tienen la capacidad de ejecutar tareas de automatización complejas, superando las limitaciones de los robots tradicionales y elevando los estándares de productividad.

La principal ventaja de los cobots, dentro del campo de la robótica colaborativa (cobótica), radica en su capacidad para automatizar procesos productivos en entornos empresariales. Los cobots pueden operar de forma continua, incluso fuera del horario laboral humano, ejecutando tareas programadas de manera autónoma las 24 horas del día. Además, su implementación reduce riesgos laborales al prevenir lesiones causadas por movimientos repetitivos y manipulación de cargas pesadas. (Universal Robots, 2024)

## **PLC**

Un Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller) es un dispositivo industrial diseñado para automatizar y controlar procesos en líneas de producción. Este sistema funciona como una computadora industrial cuya principal función es supervisar y operar de manera eficiente los sistemas y máquinas involucrados en el proceso productivo.

Los PLCs son ampliamente utilizados en la industria debido a su capacidad para automatizar procesos complejos, controlar líneas de producción, monitorear sistemas y optimizar la eficiencia operativa. Al reemplazar tareas manuales con operaciones automáticas, los PLCs incrementan la precisión, velocidad y consistencia en los procesos.

El funcionamiento de un PLC requiere su programación previa mediante software específico, el cual varía según el fabricante y el lenguaje de programación utilizado. Su operación básica consiste en detectar señales de entrada provenientes de sensores, procesar esta información según la lógica programada y enviar instrucciones a los actuadores. Este ciclo continuo permite al PLC realizar tareas como:

- Monitorear y registrar datos operativos (p. ej., productividad o temperatura).
- Iniciar y detener procesos de manera automática.
- Generar alarmas en caso de fallos en el sistema.
- Adaptarse a modificaciones en la programación para cumplir nuevas necesidades.

## **Motor a pasos**

Un motor a pasos es un tipo de motor eléctrico que divide una rotación completa en incrementos discretos denominados pasos. A diferencia de los motores convencionales, como los de corriente continua (DC), que giran continuamente, los motores a pasos se mueven en pequeños incrementos, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren un control preciso de la posición.

El motor a pasos consta de múltiples bobinas distribuidas entre el rotor (parte móvil) y el estator (parte fija). Al energizar las bobinas del estator de manera secuencial, el rotor avanza un paso a la vez. Este movimiento controlado permite una alta precisión en la rotación.

El control del motor a pasos se realiza enviando pulsos al driver del motor. Cada pulso corresponde a un paso, mientras que una señal adicional determina la dirección del giro. Los drivers de motor, a su vez, reciben las señales de control (como las enviadas por un PLC) y las convierten en pulsos que activan el movimiento.

## **Neumática y pistones**

La neumática es una rama de la mecánica que se centra en el uso de flujos gaseosos, como aire comprimido, para transmitir energía y realizar trabajo mecánico. Es comúnmente utilizada en sistemas de automatización para mover actuadores, controlar válvulas y operar herramientas de manera rápida y segura.

Los pistones, por su parte, son actuadores lineales que se desplazan dentro de un cilindro impulsados por un fluido (aire, gas o líquido). Su función principal es convertir la energía del fluido en movimiento mecánico para tareas como empujar, comprimir o levantar cargas.

En este proyecto, se utilizaron dos tipos principales de pistones:

- Pistón de simple efecto: Genera movimiento en una sola dirección utilizando aire comprimido o líquido hidráulico. El retroceso se realiza de forma pasiva, mediante un resorte interno o una carga externa.
- Pistón de doble efecto: Genera movimiento en dos direcciones (avance y retroceso), controlando ambas mediante válvulas que regulan el flujo hacia las dos cámaras del cilindro.

El control de los pistones neumáticos se realiza mediante válvulas de control de fluido, que regulan el flujo hacia las cámaras del pistón. Estas válvulas operan abriendo, cerrando o redirigiendo el fluido y permiten:

- Avance del pistón: El fluido entra en una cámara, desplazando el émbolo.
- Retroceso: El fluido fluye hacia la cámara opuesta, desplazando el émbolo en sentido contrario (en pistones de doble efecto).

Tipos comunes de válvulas:

- Válvula 3/2: Para pistones de simple efecto; controla la entrada y escape del fluido.
- Válvulas 4/2 o 5/2: Para pistones de doble efecto; direccionan el flujo hacia una u otra cámara del cilindro.

- **DESARROLLO**

## **I. Metodología**

El desarrollo del proyecto se estructuró en tres componentes principales: el punto de entrega para el café, el dispensador de café y el dispensador de leche. El robot UR se encargó de transportar el café a través de cada una de estas etapas, culminando en el punto de entrega final.

La metodología específica para cada componente del proyecto se detalla a continuación:

### **1. Punto de entrega para café:**

Para el diseño del punto de entrega, se fabricó una caja equipada con una puerta neumática, cuya operación se basa en un sensor capacitivo que detecta la presencia del vaso de café cuando está listo para su entrega. El diseño y ensamblaje de la caja fueron realizados utilizando el software CATIA, que permitió modelar la estructura, incluyendo los barrenos necesarios para fijarla a la mesa mediante tornillos, así como el soporte para un pistón de efecto simple encargado de abrir y cerrar la puerta.

El ensamblaje de la caja se reforzó mediante la aplicación de adhesivo en las pestañas y uniones estructurales. Para garantizar el movimiento de la puerta, se integraron bisagras como parte del mecanismo, y se utilizó un único tornillo para fijar el pistón a la caja.

El sistema de apertura y cierre de la puerta opera mediante un circuito neumático controlado por el PLC, que gestiona de manera integral todos los sistemas del barista automático.

Adicionalmente, se diseñó e imprimió un marco en 3D para sostener los vasos en la parte superior de la caja. Este marco permite que el robot los tome de manera ordenada, uno a la vez, optimizando la practicidad y eficiencia del mecanismo durante el proceso de entrega.

### **2. Desarrollo de programa PLC para control de motor a pasos, bombas y secuencia de trabajo:**

Para la configuración del motor a pasos, se asignó un interruptor conectado a una entrada del PLC para seleccionar el sentido de giro. Posteriormente, se configuraron dos salidas: una para controlar los pulsos y otra para la dirección. Estas salidas están conectadas al driver CL57T, el cual a su vez está conectado al motor. El driver fue configurado para generar 6400 pulsos por revolución y es alimentado con un voltaje de 24V.

En el programa TIA Portal, se configuró una señal PTO (Pulse Train Output) para enviar pulsos al motor. La programación del motor se realizó mediante un bloque de función integrado en el programa principal. Este bloque incluye una función para el encendido y apagado del motor, así como dos funciones de movimiento. Estas funciones permiten que, al ser activadas, el motor gire 90° en una dirección o 90° en la dirección opuesta, dependiendo del estado del interruptor.

Por otro lado, las bombas utilizadas para dispensar la leche son bombas de agua sumergibles alimentadas con 5V. Estas bombas son activadas mediante una señal enviada por el robot UR. Cuando el robot aproxima el vaso a la estación dispensadora de leche, envía un impulso eléctrico al PLC. A través del diagrama de bloques programado en el PLC, se activa uno de los dos relés a los que están conectadas las bombas, durante un tiempo

determinado configurado en el temporizador del diagrama de bloques. La bomba que se activa depende de la posición del interruptor de giro del motor a pasos, mientras que la bomba restante permanece inactiva.

### **3. Desarrollo de programa de UR5 (.urp) para secuencia de movimientos y comunicación con PLC:**

Para el desarrollo del programa del UR5, se utilizó la interfaz del teach pendant, que permite implementar una programación similar a la programación por bloques. En este entorno, se configuró una secuencia de comandos que, en conjunto con las entradas y salidas digitales (I/O), estableció una rutina secuencial de posiciones y acciones específicas para simular las tareas de un barista.

En la programación se definió que la entrada digital 5, conectada a un botón, permitiría iniciar la rutina. Además, la entrada digital 2 se configuró para la lectura del sensor capacitivo en etapas específicas del programa. Respecto a las salidas, se estableció que la salida digital 1 estaría conectada al relé de control de un pistón de doble efecto, mientras que las salidas digitales 2 y 3 se conectaron a las entradas 7 y 6 del PLC, respectivamente, con el objetivo de activar la bomba de leche y la señal de entrega.

La rutina sigue la siguiente secuencia:

- Espera de activación para inicio de rutina
  - I. El programa entra en un estado de espera hasta que se detecta la señal de inicio en la entrada digital 5.
- Toma de la taza
  - I. Posicionamiento sobre la pila de tazas y rotación de  $-180^\circ$  sobre la articulación 3 del robot.
  - II. Descenso de la herramienta rígida con forma de semicírculo y chaflán a  $60^\circ$  hasta hacer contacto. La detección del contacto se realiza mediante los sensores de fuerza del UR5, configurados a un umbral de 0.1 N.
  - III. Desplazamiento adicional (offset) de 10 mm para asegurar la sujeción de la taza en la herramienta mediante presión.
  - IV. Elevación de la herramienta y rotación de  $+180^\circ$  sobre la articulación 3.
  - V. Regreso a la posición de "casa" del UR5.
- Servicio de café
  - I. Aproximación de la taza a la cafetera.
  - II. Posicionamiento bajo la boquilla de la cafetera y activación simultánea del pistón neumático de doble efecto para abrir la boquilla.
  - III. Tiempo de espera para el llenado de la taza.
  - IV. Cierre de la boquilla y retiro de la taza utilizando el UR5.
  - V. Retorno a la posición de "casa" del UR5.
- Comprobación de café
  - I. Colocación de la taza sobre el sensor capacitivo (sensor en entrada digital 3) para verificar si contiene líquido.
    - i. Si la taza no contiene líquido, descartarla mediante un movimiento rápido del robot y repetir el proceso de toma y llenado.
    - ii. Si contiene líquido, continuar con el siguiente paso.
- Servicio de leche

- I. Aproximación al dispensador de leche.
- II. Activación del dispensador (mediante PLC, salida digital UR5 3, con lógica de interruptor selector de dos posiciones para selección de leche).
- III. Tiempo de espera para completar la dispensación de leche.
- IV. Retorno a la posición de "casa" del UR5.
- Entrega de café
  - I. Aproximación a la caja de entrega y al sensor capacitivo.
  - II. Colocación de la taza sobre el sensor capacitivo (sensor en entrada digital 3).
    - i. Si no contiene líquido, descartar la taza mediante un movimiento rápido del robot y repetir el proceso.
    - ii. Si contiene líquido, continuar con la activación de la puerta de entrega.
  - III. Apertura de la puerta de entrega (con PLC, salida digital UR5 3) y espera hasta que el usuario retire la taza, detectado por el sensor capacitivo.
  - IV. Tiempo de espera.
  - V. Cierre de la tapa de entrega.
  - VI. Retorno a la posición de "casa" del UR5.
- Espera de activación para inicio de rutina
  - I. El programa regresa al estado inicial de espera para reiniciar el ciclo.

#### **4. Control de cafetera mediante pistón de doble efecto:**

El control de la cafetera se lleva a cabo mediante un circuito neumático que utiliza un pistón de doble efecto. La apertura y el cierre del flujo de café son gestionados mediante señales enviadas por el robot UR al sistema de control.

Cuando el robot aproxima el vaso a la cafetera, envía una señal al PLC. Este, a través del diagrama de bloques programado, activa la salida del pistón durante un tiempo determinado configurado en un temporizador (timer). Al finalizar el tiempo especificado, el PLC recibe una señal que activa el retorno del pistón a su posición original, cerrando el flujo de café de manera precisa y controlada.

## **II. Gráficas, Dibujos y Tablas**

### **1. Costo total del proyecto**

Se elaboró una lista de materiales para el proyecto, en la cual los elementos fueron clasificados según su tipo. En esta lista se especificaron los componentes utilizados, incluyendo, en algunos casos, el modelo correspondiente y sus especificaciones técnicas.

Adicionalmente, se desarrolló una tabla que detalla las cantidades y costos asociados a cada material listado previamente. Finalmente, se calculó el costo total del proyecto mediante la suma de los costos individuales, lo cual resultó fundamental para evaluar la viabilidad económica del proyecto. Este análisis también permitió identificar los materiales necesarios en el corto, mediano y largo plazo.

A continuación, se adjuntan la tabla correspondiente a la cotización final.

Cotización proyecto final		
Insumos		
Cantidad	Concepto	Precio
2	Jarras para leche	\$ 120.00
1	L de leche	\$ 38.00
1	Bolsa de azúcar	\$ 25.00
1	Paquete de vasos para café (40 pzs)	\$ 35.00
1	Cafetera	\$ 700.00
Tornillería		
4	Tornillos M6X60mm y tuercas	\$ 60.00
1	Tornillo M5x30mm y tuercas	\$ 27.50
15	Tornillos M4x10mm	\$ 35.00
9	Tuercas M4	\$ 18.00
2	Tornillos M10x80mm y tuercas	\$ 10.00
12	Tornillos M1 y tuercas	\$ 70.00
12	Arandelas M1	\$ 46.00
Electrónica		
1	UR5e	\$ 534,187.50
1	Fuente 5V	\$ 500.00
1	Fuente 24V	\$ 1,725.00
7	relevadores	\$ 300.00
1	Siemens 6ES7214-1AG40-0XB0 S7-1200	\$ 6,600.00
50	Clemas	\$ 700.00
1	motor a pasos 34HS59-5004D y driver cl57t	\$ 1,926.00
1	Cable 6m	\$ 160.00
1	Interruptor termomagnético	\$ 462.00
Mecánica		
2	Pliegos de MDF	\$ 160.00
1	Tabla triplay 1.2m x 0.8m	\$ 599.00
2	Bombas de agua sumergible 5V	\$ 78.00
1	Manguera de silicón 3m	\$ 69.00
2	Bisagras	\$ 50.00
1	Pistón simple efecto	\$ 90.00
1	Pistón de doble efecto	\$ 300.00
1	Manguera para las bombas de leche	\$ 60.00
1	Rodamiento para mesa giratoria	\$ 300.00
2	Electroválvulas SAI4-2050	\$ 640.00
1	Multiválvulas SAI4-2052	\$ 320.00
1	Válvula de mantenimiento	\$ 700.00
8	Piezas impresión 3D (112 g 11.3 h)	\$ 296.13
Costo total:		\$ 551,111.00



Las tablas y figuras de todo el proyecto se pueden visualizar en:

<https://jphaip.github.io/automatizacion/proyecto.html>

- **CONCLUSIONES**

El desarrollo del proyecto permitió implementar de manera efectiva los cinco temas principales abordados en clase: electrotecnia, control de motores, neumática, PLC y sensores. Tras realizar pruebas de funcionamiento individual en cada uno de los componentes del mecanismo y posteriormente integrarlos en una secuencia operativa completa, se observó una mejora significativa en los tiempos y la precisión respecto a lo que se podría lograr con intervención humana. Sin embargo, se identificó que aún existe margen para optimizar los tiempos de servicio.

Durante las pruebas, se realizaron múltiples iteraciones bajo un enfoque de prueba y error, especialmente en el diseño de la estación de entrega y el dispensador de leche. Estas experiencias evidenciaron la necesidad de reducir la cantidad de errores en futuros proyectos. Para lograrlo, se recomienda una planificación más detallada en las etapas iniciales, así como la adquisición anticipada de materiales que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.

El barista automatizado cuenta con un gran potencial de mejora. Entre las propuestas de mejora destacan:

- Implementación de detectores de distancia o sensores capacitivos análogos para medir la cantidad de líquido en la taza y garantizar su correcto posicionamiento.
- Automatización de la entrega de complementos como azúcar, crema u otros aditivos, junto con un sistema para mezclarlos automáticamente con el café.
- Incorporación de un gripper mecánico con pinzas adaptables para sujetar las tazas de manera más eficiente, lo que reduciría errores relacionados con el posicionamiento.

Además, se podrían abordar otras mejoras, como la instalación del dispensador de azúcar (pendiente en esta versión del proyecto) y el rediseño del soporte del pistón que regula el flujo del café. Con estas y otras optimizaciones, el proyecto podría alcanzar un nivel de desarrollo que permita su comercialización y distribución en diversos entornos comerciales. Esto reduciría la necesidad de supervisión constante y ofrecería una experiencia más eficiente y práctica para los usuarios al consumir café preparado de manera automatizada.

## • REFERENCIAS

- ACATECH, National Academy of Science and Engineering. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index*. Disponible en [Acatech](#).
- Bolton, W. (2020). *Programmable Logic Controllers and Industrial Automation: An Introduction with ControlLogix, Siemens, and TIA Portal Examples*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Boylestad, R. L. (2021). *Introductory Circuit Analysis*. Boston, MA: Pearson.
- Calzada, A., & Salvador, M. (2019). *Diseño y construcción de cuadros eléctricos de maniobra y control*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Deppert, W., & Stoll, R. (2018). *Fundamentals of Pneumatic Control Engineering: Components, Functions, Diagrams, and Practice Applications*. Munich: Springer.
- Esteve, J. (2015). *Automatismos y cuadros eléctricos industriales*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York, NY: Springer.
- Gallo, T., Cagnetti, C., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2021). "Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review." *Procedia Computer Science*, 180, 394–403. Disponible en [ScienceDirect](#).
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Berkeley, CA: Apress.
- Martin, J. C., & Garcia, M. P. (2009). *Automatismos Industriales*. Madrid: Editorial Editex, S. A.
- Rehg, J. A., & Sartori, G. J. (2016). *Programmable Logic Controllers with Ladder Logic and the Engineering of Electric Circuits*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Universal Robots. (2024). *UR5e Manual*. Disponible en [Manual del UR5e](#).
- Universal Robots. (2024). *UR5e Datasheet*. Disponible en [Hoja de datos del UR5e](#).
- Universal Robots. (2024). *UR5e Official Page*. Disponible en [Página oficial del UR5e](#).
- Universal Robots. (2024). *¿Qué son los cobots o robots colaborativos?*. Disponible en [Universal Robots](#).
- SDI. (s.f.). *¿Qué es un PLC?*. Recuperado el 24 de noviembre de 2024 de [SDI](#).