Control por voz aplicado a máquina inteligente y automática de café: Cafeter(IA).

Voice control applied to intelligent and automatic coffee machine: Cafeter(IA).

1st Humberto Navarrete
Department of Electronics and Informatics
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Antiguo Cuscatlán, El Salvador
00159419@uca.edu.sv

2nd German Cuchilla
Department of Electronics and Informatics
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Antiguo Cuscatlán, El Salvador
00128719@uca.edu.sv

3rd Geovany Azucena
Department of Electronics and Informatics
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Antiguo Cuscatlán, El Salvador
00203419@uca.edu.sv

4th Hector Orellana
Department of Electronics and Informatics
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Antiguo Cuscatlán, El Salvador
00112619@uca.edu.sv

***Resumen*—El proyecto presenta el desarrollo de una máquina de café inteligente y amigable para el usuario, denominada çafeter(IA)". La máquina ofrece control manual, automático y control por voz. Incluye sensores de nivel de líquido y envía notificaciones a través de WhatsApp. El objetivo es diseñar una máquina de café inteligente y accesible, utilizando tecnologías avanzadas como el reconocimiento de voz y la inteligencia artificial.**

***Palabras Claves*— Máquina de Café, Inteligencia Artificial, Modulación de Voz.**

***Abstract*—The project presents the development of a user-friendly and intelligent coffee machine, called çafeter(IA)". The machine offers manual, automatic and voice control. It includes liquid level sensors and sends notifications via WhatsApp. The goal is to design an intelligent and accessible coffee machine, using advanced technologies such as voice recognition and artificial intelligence.**

***Index Terms*—Coffee Machine, Artificial Intelligence, Voice Modulation**

I. Introduction

Hoy en día resulta curioso que a pesar de la basta cantidad de opciones que poseen las personas en cuanto a bebidas se refiere, muchos siguen prefiriendo una opción tradicional como su bebida favorita. El café forma parte indispensable de la vida de muchas personas, que aseguran que les brinda energía y les ayuda con la realización de sus tareas diarias, eso sin contar el agrado que proporciona mediante su delicioso aroma y sabor.

La industria del café es relevante en la actualidad y las máquinas de café automatizadas han ganado popularidad. Estas máquinas pueden mezclar con precisión los ingredientes para crear diferentes tipos de bebidas a base de café.

En las máquinas de café tradicionales, el usuario selecciona la bebida deseada y la máquina la prepara rápidamente. Dado el amplio mercado de máquinas funcionales, surge la pregunta de cómo se puede innovar en este sector, y es aquí donde la idea de Cafeter(IA) se vuelve relevante.

Cafeter(IA) es un prototipo escalable de una máquina automática de bebidas a base de café que se controla mediante voz. Además de la función de preparar café, esta máquina también cuenta con un modo .ªmigo"que permite mantener conversaciones con ella utilizando inteligencia artificial.

A continuación, se definen de una manera más específica el funcionamiento de los distintos controles que posee la máquina.

I-A. Control Manual

La máquina contará con un control puramente manual, con el cual el usuario tendrá cuatro diferentes pulsadores a presionar: café, leche, agua y chocolate. Mientras el usuario mantenga presionado un pulsador, se verterá en el vaso el líquido correspondiente y cuando el usuario suelte el pulsador, el líquido dejará de salir.

Añadido a esto, la máquina también contará con un control manual/automático, con el cual se podrá seleccionar por medio de pulsadores el tipo de bebida deseada, a partir de dicha selección la máquina realizará la mezcla consecutiva de los ingredientes que componen la bebida. Los tipos de café a seleccionar son: americano, moccaccino y cappuccino.[1]

Por cuestiones de seguridad, la máquina posee un pulsador de inicio y uno de paro, un interruptor de encendido y una maneta para cambiar entre el modo manual y el automático.

*I-B. **Control por voz***

El control por voz cuenta principalmente con un modo "cafetera" que se activará cuando el usuario diga "modo cafetera". A partir de aquí, puede darse la indicación de preparar cualquiera de las tres opciones de café mencionadas anteriormente, también se podrá activar el modo inicio y el modo paro.

También cuenta con un modo "amigo" que se activará con las palabras "modo amigo". El modo amigo permite mantener una conversación con la cafetera y realizarle preguntas por medio de inteligencia artificial. Todo el sistema de control por voz se desactiva al decirle "adiós" a la cafetera.

Añadido a ambos controles, se posee un control de líquido en cada contenedor de ingredientes dentro de la cafetera, que cuando detecta que algún contenedor está apunto de vaciarse, no permite al usuario realizar ninguna acción y envía un mensaje a WhatsApp para recordarle que debe de refilar los contenedores.[2]

En el presente documento se detalla paso por paso el diseño y construcción de la máquina, definiendo los objetivos del proyecto, su desarrollo procedimental, un apartado de posibles aplicaciones y proyecciones de ampliabilidad de Cafeter(IA), finalizando con las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

II. Objetivos

*II-A. **Objetivo general***

- Diseñar y construir una máquina de café inteligente, innovadora y sobre todo amigable al usuario por medio de la implementación de un control por voz y el uso de inteligencia artificial.

*II-B. **Objetivo especifico***

- Realizar un programa de reconocimiento de voz humana y que posea la capacidad de traducir dicha voz como una entrada de un proceso automático.
- Implementar de manera eficaz la inteligencia artificial al sistema de comunicación entre el usuario y la máquina, garantizando siempre una interacción coherente entre ambas partes.
- Crear un sistema de vertido funcional en términos de automatización y control industrial; y que paralelamente de como resultado un producto de calidad, que satisfaga las expectativas del usuario.
- Elaborar un mecanismo de inicio y paro que tenga la facultad de detener el proceso productivo durante cualquier momento y que garantice la seguridad de la máquina, pero sobre todo la seguridad del usuario.

III. Desarrollo

*III-A. **Descripción del proyecto***

Como ya se mencionó un poco por encima anteriormente, el sistema cuenta con dos tipos de control: uno puramente manual y uno manual/automático, cuyo funcionamiento se explicará con más detenimiento a continuación.

- **Control Manual.**

Este control constará de 4 pulsadores, cada uno asociado a un líquido diferente, que será vertido en el vaso mientras su respectivo botón se encuentre activo. Una vez el botón se haya detenido, la máquina dejará de verter el compuesto y estará lista para comenzar de nuevo.

Añadido a lo ya mencionado, se contará con un botón de paro e inicio, que es capaz de detener el proceso que se esté gestando en ese preciso momento. Este botón de paro impedirá que cualquier input sea realizado a menos que se presione start nuevamente para continuar con el ciclo natural del proceso.

- **Control Automático.**

Para el control automático se hará uso de tres pulsadores que darán la opción de elegir al usuario que tipo de café prefiere. Las opciones a elegir son las siguientes:

1. **Americano.**
   Mezcla de expresso en mayor proporción con agua en menor proporción.

2. **Mocaccino.**
   Mezcla de expreso en mayor proporción, con leche y chocolate en partes iguales de menor proporción.

3. **Capuccino.**
   Mezcla de expresso en mayor proporción, con leche en menor proporción.

Cada vez que un usuario presiona uno de los botones automáticos comienzan a activarse una serie de retardos a la desconexión (según la lógica programada) para formar una bebida completamente nueva por medio de bebidas preestablecidas para funcionar como mezclas.

Tómese el ejemplo del capuccino, si el ususario presionase el pulsador que corresponde a dicha bebida, se activaría primero por cinco segundos la válvula de cafetería para luego

activar la salida de leche por dos segundos para dar fin al proceso de creación de un cappuccino.

- **Entradas adicionales.**

Las entradas adicionales que se han considerado en la fabricación del mecanismo son las siguientes:

1. **Sensor capacitivo para vaso.**
   El sensor capacitivo, introduce la condición de poseer un vaso en el lugar de vertido antes de iniciar el proceso. De lo contrario no podrá ocurrir ningún proceso, ya que esto asegura que ninguna bomba se active si no hay un vaso al dar una indicación a la máquina.

2. **Sensor de nivel de líquido.**
   Los sensores de nivel de líquido serán introducidos en cada uno de los recipientes, para detener el sistema de continuar produciendo café, cuando no hay líquido suficiente. Cuando alguno de los recipientes llegue a un nivel de insuficiencia, el sistema se detendrá por completo y se enviará un mensaje al WhatsApp del usuario para avisar que los contenedores deben de ser rellenados.

3. **Interruptor de encendido y apagado.**
   Finalmente se introduce como entrada un interruptor de encendido y apagado que se agregará fuera de la programación del PLC, ya que únicamente cortará el paso de corriente hacia el sistema, pero que aun así debe de considerarse como una entrada.

III-B. Programación y simulación del sistema

Primeramente, se realizó el diseño del grafcet, que funcionó como punto de partida para idear toda la lógica de programación.

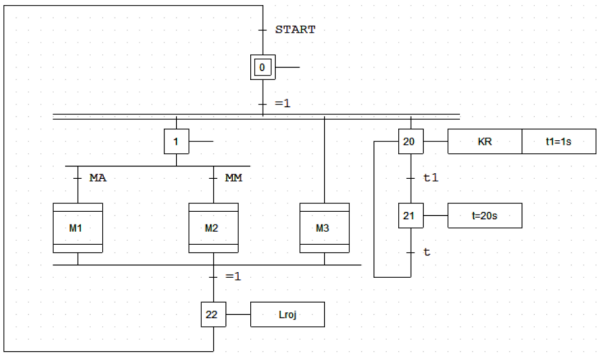

Figura 1. Grafcet realizado en CADESIMU.

El diseño del programa se realizó mediante TIA PORTAL para programar sobre el PLC Siemens S7-1200. El diseño por segmentos facilitó mucho el diseño del sistema, además de permitir visualizar el programa de forma ordenada y estructurada.

Se realizaron 14 segmentos de programación basados en el modelo de grafcet construido con anterioridad, contemplando etapas iniciales, etapas de espera, acciones condicionadas, etc.

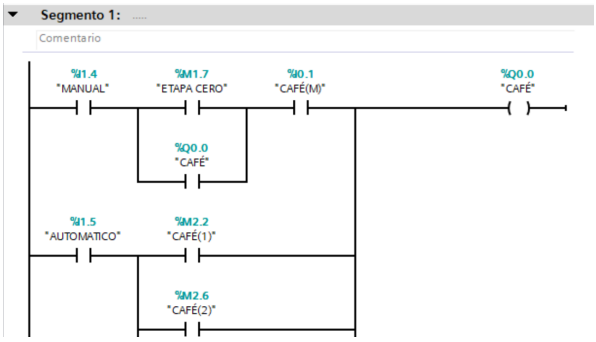

Figura 2. Segmento 1 de programación en TIA PORTAL.

Añadido a lo anterior se consideró la posibilidad de que los contenedores se encontraran vacíos en algún momento, por lo que se optó por implementar una etapa de sensores de humedad que se introdujeron en los contenedores de líquido para sensar cuando uno de estos se encuentre con líquido insuficiente.

La programación de los sensores se realizó mediante Arduino y TIA PORTAL, de tal manera que cuando uno de los recipientes se encuentre vacío se mandará un mensaje al Whatsapp de un número determinado avisando que debe de llenar los contenedores nuevamente, mientras esto no ocurra el sistema no deberá realizar ninguna acción.

III-C. Programación del reconocimiento de voz

Esta área del proyecto se basa en la utilización de protocolos de comunicación en tiempo real, centrándose específicamente en el protocolo S7 de Siemens. Su objetivo principal es ofrecer una solución altamente flexible y escalable para cubrir las necesidades de comunicación en entornos industriales en constante evolución.

Para lograr este propósito, se ha implementado una comunicación punto a punto entre dos hosts mediante el protocolo TCP (Transmission Control Protocol). Esta comunicación bidireccional permite la lectura, escritura y monitoreo de datos en diversas áreas de la memoria del PLC, brindando un control preciso y en tiempo real sobre los dispositivos industriales conectados.

Sin embargo, dada la alta importancia de brindar una experiencia de usuario fluida y amigable, se ha puesto énfasis en la adopción de avances tecnológicos actuales. Por ese motivo, se ha integrado el uso de la voz como método de

control, permitiendo a los usuarios que mediante una simple orden puedan operar diversos mecanismos a voluntad, más allá del uso de frases o palabras específicas. Esta innovadora funcionalidad establece una interacción más natural y cómoda entre el usuario y el sistema, mejorando significativamente la experiencia de uso.

Para hacer posible esta interacción de voz, se ha desarrollado un código Python capaz de escuchar y comprender las intenciones del interlocutor, traduciéndolas en una cadena de texto fácilmente identificable mediante palabras clave. Esta cadena de texto activa una serie de funciones en el sistema, permitiendo que el usuario manipule y controle las acciones del sistema de manera intuitiva y voluntaria, mediante se corre un código de manera simultánea que mide los niveles de líquido en los contenedores. Repitiendo esta secuencia una y otra vez hasta que el usuario desee salir de la misma.

```python
def execute(exit_barrier):

    initial_greeting()

    actions = {
        "americano": lambda: ON_OFF_1S("Encendiendo motor 1", DB_NUMBER, 0, 1),
        "mocachino": lambda: ON_OFF_1S("Encendiendo motor 2", DB_NUMBER, 0, 2),
        "capuchino": lambda: ON_OFF_1S("Encendiendo motor 3", DB_NUMBER, 0, 3),
        "detener": lambda: ON_OFF_1S("Apagando motor 1", DB_NUMBER, 0, 0),
        "chiste": lambda: speak(pyjokes.get_joke(language='es', category='all')),
        "pregunta": lambda: handle_question(),
        "adiós": lambda: handle_goodbye(),
    }

    while not exit_signal:
        order = voice_text().lower()

        if any(action in order for action in actions):
            matching_actions = [action for action in actions if action in order]
            actions[matching_actions[0]]()  # execute the first match
        else:
            speak("No entendí tu orden, por favor inténtalo de nuevo.")
    exit_barrier.wait()


if __name__ == '__main__':
    t1 = Thread(target=execute, args=(exit_barrier,))
    t1.start()

    t2 = Thread(target=liquid_level_detection, args=(DB_NUMBER, 0, 5))
    t2.start()

    exit_barrier.wait()  # waiting for both threads
```

Figura 3. Codigo principal del sistema: cafeter(IA).

Se ha integrado un motor de sonido que convierte las respuestas en sonidos, mejorando la interacción de voz. Además, se ha utilizado la API de Chat-GPT y Arduino para incrementar la escalabilidad del proyecto y detectar los niveles de los contenedores. Estas adiciones buscan ofrecer una experiencia eficiente y agradable, optimizando las tareas industriales y manteniendo el enfoque en la satisfacción del usuario.[4]

III-D. Diseño 3D de la carcasa

El modelado y la animación para la CafeterIA se realizaron en Autodesk Inventor, el primer paso fue dimensionar los artefactos clave que tendría la cafetera, estos fueron los depósitos del líquido, las bombas para el transporte del mismo, y, el PLC.

Una vez dimensionados estos tres objetivos se diseñó la arquitectura de la cafetera, la clave fue separar una base en tres zonas, una zona de control y servicio donde se encontraría la botonera y es espacio destina a servir al consumidor. Una segunda zona donde estaría la manipulación de los líquidos por los depósitos y las bombas y una tercera zona donde estría el PLC con su respectivo cableado.



Figura 4. Estructura de madera - cafeter(IA).

A partir de esta base, se modelaron todos los elementos necesarios para representar el funcionamiento del automatismo, el artefacto más importante para la simulación son las bombas ya que son el único elemento de movimiento mecánico que participa en el funcionamiento de la cafetería, ya que en su mayoría el trabajo es hidráulico. En la simulación se buscó cumplir con lo siguiente:

a. Representar la arquitectura exacta para la distribución de los espacios y así hacerla amigable al usuario y segura en su funcionamiento ya que, al manejar electricidad y agua, una mala distribución del espacio podría ser crucial.

b. Simular el movimiento mecánico de las bombas y los motores de inducción para simular su movimiento y el trabajo de aspiración y descarga que estas realizaran

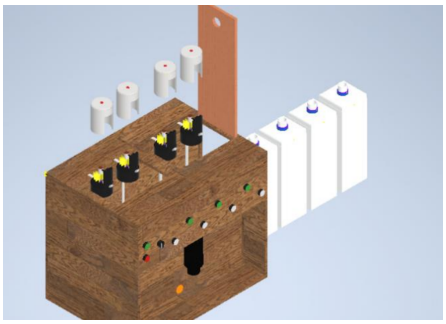

Figura 5. Montaje final de modelo 3D.

*III-E. **Construcción de cafeter(IA)***

Teniendo el modelo 3D finalizado se procedió con la construcción física de la máquina. Tal como en la simulación, se decidió hacer la carcasa de madera, así que lo primero que se realizó fue la medida y corte de todos los trozos de madera que serían necesarios.

Teniendo listas todas las partes necesarias para la carcasa, se montó la estructura, realizando uniones que añadían soporte a las partes. Además, se redondearon los ángulos a partir de un proceso de lijado general de la carcasa. Finalmente se terminó por barnizar la madera de toda la estructura, esto con dos objetivos: un resultado estético atractivo para los usuarios y también como protección de la madera ante salpicaduras.

Teniendo terminada la carcasa, se colocaron los elementos que componen a la máquina y se realizaron las conexiones eléctricas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

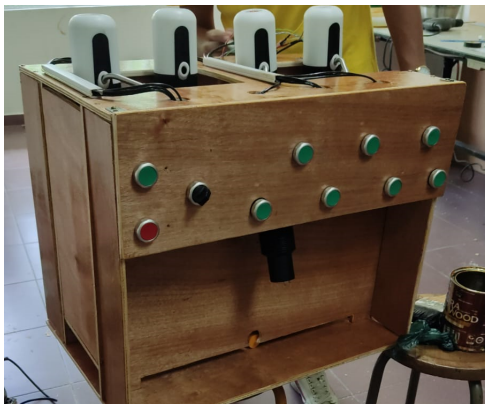

Figura 6. Construcción física de la máquina.

IV. Aplicabilidad

Una de los factores del proyecto más importantes a tomar en cuenta es su posible escalabilidad en un futuro. Con el auge que el uso de inteligencias artificiales está teniendo en nuestra actualidad resulta muy interesante el imaginar las posibles mejoras que pueden implementarse a cafeter(IA). La idea de que cafeter(IA) funja el papel de un mejor amigo para los usuarios resulta muy atractiva, sobretodo al entender las posibles herramientas que pueden implementarse al sistema.

Sin ir más lejos podría intentar compatibilizar a cafeter(IA) con algunas tecnologías de asistencia virtual como lo es Alexa, Google Assistant o Siri, por nombrar algunos. Esto abriría las puertas a una gama gigantesca de posibilidades y compaginaría a la perfección con la idea de "mejor amiga" que se promueve. Está versión de cafeter(IA) ya podría realizar tareas como programar alarmas y reuniones, reproducir listas de reproducción musicales, control de otros dispositivos por medio de voz. Este tipo de sistema combinado con el modelo utilizado de inteligencia artificial harían de cafeter(IA) un producto bastante competente e innovador.

Otra función que podría ser implementada al sistema es la capacidad autónoma de preparar los distintos ingredientes líquidos que se necesitan para las bebidas; en este caso el usuario únicamente tendría que introducir el ingrediente en polvo y la máquina, de manera similar a las cafeteras, prepararía el líquido a utilizar en las distintas mezclas.

Una de las ideas más interesantes que podría intentar llevarse a cabo es la mejora del sistema de manera especializada con enfoque en las personas con discapacidades visuales. La idea de cafeter(IA) como un "mejor amigo" cobra un mayor peso al considerar a este tipo de personas, ya que podría ser de mucha ayuda el poder comunicarse con un sistema de este tipo, pues se prescinde de la habilidad visual de saber que botón se debe presionar y esto se sustituye mediante el control por voz. Además de lo anterior resultaría sumamente útil para este tipo de personas el poder hacer preguntas a la inteligencia artificial.

V. Resultados

Luego de completar la construcción y cableado del sistema se realizó una serie de pruebas para corroborar el correcto funcionamiento del programa según lo establecido anteriormente.

El control manual y semiautomático funcionó de manera adecuada, al igual que el botón de inicio y paro que logran activar y desactivar completamente el sistema según sea necesario.

El control por voz funcionó correctamente, se comprobó el encendido de los accionamientos al igual que el paro e inicio de los procesos por medio de dicho control. Sí alguna observación pudiese hacerse acerca de este punto sería que los tiempos de respuesta no son ideales comparados con el control manual, es decir, se debe esperar una pequeña fracción de tiempo para dar las indicaciones y obtener las activaciones de las salidas, aun así, los tiempos de respuesta se encuentran dentro de un rango aceptable.

La etapa de los sensores se ejecutó sin errores, se verificó que el mensaje de WhatsApp se haya enviado correctamente cuando el líquido se vuelve insuficiente y que en el sistema no puede realizarse ninguna acción.

VI. Conclusiones

1. Los PLC funcionan por medio de entradas que el usuario define y conmuta según necesite activar o desactivar una etapa o acción. Para controlar el sistema se hizo uso de dos tipos de control: control manual y control por voz. Al realizar pruebas para verificar el funcionamiento del sistema, se observó cómo se obtenía

una respuesta más rápida del control manual, esto debido a la latencia existente en la computadora. Por lo que queda evidenciado que el control manual siempre tendrá una respuesta más rápida ya que las entradas del PLC están directamente conectadas a las entradas físicas.

2. El paro en los sistemas automáticos actúa como un mecanismo de seguridad que establece límites o condiciones de detención en determinadas situaciones. Al diseñar el sistema, se decidió agregar un botón de paro que detuviera todos los procesos e impidiera la activación de los accionamientos, esto previniendo que pudiese ocurrir algún accidente o comportamiento fuera de lo normal por parte del sistema debido a algún componente en mal estado o directamente dañado. Con base en lo anterior, puede afirmarse que el uso del paro en los sistemas automáticos es esencial para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de diversos procesos automatizados. La implementación de un paro adecuado en estos sistemas puede ayudar a evitar situaciones potencialmente peligrosas, minimizar daños y proteger los recursos involucrados.

3. La inteligencia artificial (IA) se refiere a la capacidad de las máquinas y sistemas de computadoras para exhibir un comportamiento y realizar tareas que normalmente requerirían inteligencia humana. Durante el diseño del programa se implementó por medio del API de ChatGPT el uso de inteligencia artificial para crear una interacción entre el humano y la máquina. Al realizar pruebas con dicha interacción, algunas veces disminuía el grado de coherencia en la conversación con la máquina. Tomando como premisa lo anterior es preciso concluir que la inteligencia artificial no posee un grado de comprensión y expresividad comparable al humano, sin embargo, es suficiente para efectos del presente proyecto. [4]

VII. Recomendaciones

1. Durante el desarrollo del proyecto, a medida que se incrementaban las funcionalidades en el código Python, la ejecución se volvía más lenta e ineficiente. Por lo tanto, se recomienda considerar el uso de lenguajes como C Sharp o C++ para optimizar y controlar de manera más efectiva los recursos del sistema al interactuar con el S7-1200. Estos lenguajes permiten un acceso directo al sistema, lo que se traduce en una comunicación más rápida y eficiente con el PLC. Además, cuentan con una amplia variedad de librerías y frameworks especializados en comunicación industrial y protocolos de automatización, lo cual simplifica el desarrollo y la implementación de la comunicación con el S7-1200, lo que nos llevaría a tener un mejor margen de escalabilidad.

2. Al diseñar el programa del PLC se consideró una salida de resistencia eléctrica únicamente para calentar el café, por una cuestión económica. Por lo que se recomienda utilizar resistencias suficientes para calentar todos los líquidos al mismo tiempo, esto con el objetivo de mejorar la experiencia final del consumidor ya que su café estará a una temperatura más adecuada. Además se debe considerar cambiar los componentes que sean necesarios por algunos que posean la capacidad de funcionar a temperaturas altas.

3. Al implementar los sensores al proyecto, se introdujeron dichos sensores en sus respectivos contenedores para poder medir el nivel del líquido en un determinado momento. El problema con lo anterior es que, debido a factores económicos, los sensores adquiridos no son los adecuados para líquidos a consumir por el humano ya que pudiesen llegar a contaminar el fluido. Fundamentado en lo anterior es que se aconseja hacer una inversión en sensores adecuados para el tipo de sistema y consumidor que se posee.

Referencias

[1] M. P. Groover, .Automation,"Production Systems and Computer Integrated Manufacturing, vol. 2, 2001.

[2] J. Montero Mata, "Diseño e implementación de un sistema de control por voz,"2008.

[3] M. Pinargote et al, "Diseño, construcción e implementación de una máquina expendedora automática de alimentos y bebidas,".

[4] S. Vemprala et al, Çhatgpt for robotics: Design principles and model abilities,"Microsoft Auton.Syst.Robot.Res, vol. 2, pp. 20, 2023.