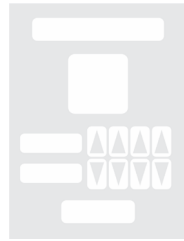


Desarrollo de interfaz táctil con sistema embebido electrónico para máquina de envasado semiautomática



Colaboración

Teth Azrael Cortés Aguilar, Instituto Tecnológico Superior de Zapopan; Tec. Fernando Morán Contreras, Fresenius Medical Care; Tec. Francisco Javier Zaragoza Pérez, Tequila Casa Cuervo, S.A. de C.V.

Resumen: Este proyecto consiste en el desarrollo de una interfaz humana-máquina mediante una pantalla táctil para un sistema de envasado semiautomático. Demostró ser robusto durante las pruebas, así como útil para las operaciones de envasado continuo y de ajuste de parámetros. Para una prueba de 200 ciclos continuos de envasado obtuvimos un error del 1%. Nuestra propuesta es una alternativa tecnológica para la automatización tradicional por PLC. La aplicación de sistemas embebidos en la automatización es conveniente por costo y flexibilidad para Pymes de la industria de bebidas que desean elevar su rendimiento mediante la automatización de sus procesos.

Palabras clave: Automatización, Interfaz, Industria de bebidas, Máquina envasadora, Pantalla táctil, Sistema embebido, Válvula de solenoide.

Abstract: This project involves the development of a human-machine interface using a touch screen for a semi-automatic filling system. It proved robust during testing as well as useful for continuous filling operations and parameter setting. For a test of 200 continuous cycles of filling we got an error of 1%. Our proposal is a technological alternative to traditional PLC automation. The application of embedded systems in automation is convenient in both cost and flexibility for SME in beverage industries that wish to improve their profits by automating processes.

Keywords: Automation, Beverage industry, Embedded Systems, Interface, Filling machine, Touch screen, Solenoid valve.

INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas embebidos electrónicos en el control de envasado de líquidos reduce el costo de máquinas dosificadoras. La interfaz humano-máquina por pantalla táctil es conveniente y flexible para mostrar datos y fijar parámetros tanto para el trabajador como para el supervisor. Nuestra propuesta mejora la rentabilidad de las empresas facilitando la automatización de procesos para la industria Pyme de alimentos y bebidas.

La investigación realizada en los Estados Unidos por Ilyukhin, et. al. [8] señala que en años recientes la industria de la manufactura de alimentos ha experimentado un crecimiento impredecible llegado a ser una de las mayores fuerzas en la economía de ese país. Sin embargo algunas encuestas indican que la industria alimenticia tiene una lenta integración de tecnologías de automatización y las consideran para el futuro. Las grandes plantas manufactureras generalmente están mejor automatizadas pero no desean evoluciones tecnológicas inmediatas por los costos asociados. Por otro lado los proveedores de equipo y maquinaria poseen tecnología más avanzada en el campo de la automatización de procesos de alimentos pero esta ventaja es raramente aprovechada por la baja demanda de la industria estadounidense por nueva tecnología [8].

En contraste, en México la automatización de los procesos de producción es una opción viable para mejorar el rendimiento de las Pymes. En la actualidad, la mayoría de las Pymes evolucionan con rapidez, sobre todo porque son capaces de ofrecer a sus clientes productos personalizados y porque pueden competir en un mercado cada vez más exigente, lo que las obliga a mejorar constantemente sus sistemas de producción e invertir en tecnología para modificar sus sistemas de operación. Por lo tanto, las Pymes que tienen el hábito de administrar con eficacia sus operaciones generan mayor confianza en sus clientes al controlar, de forma más eficiente, los recursos vinculados con el proceso de producción, lo que permite a las empresas pensar en automatizar cualquier parte del proceso con la intención de obtener un mejor rendimiento [5].

En México una empresa Pyme tiene más probabilidad de ser rentable si apuesta primero por la automatización de sus procesos de producción [5].

Los sistemas de envasado automático es uno de los equipos principales en la maquinaria de la industria de alimentos; y con el crecimiento del sector de bebidas existe un incremento de la demanda de sistemas de envasado [10].

En la actualidad los productos de empresas Pyme requieren de procesos de envasado que frecuentemente cambian de un lote de producción a otro, y que necesitan de una dosificación exacta.

Algunos sistemas al alcance de las grandes empresas utilizan un panel de dosificación conectado a un controlador con interfaz PROFIBUS DP. Bajo condiciones normales de operación se logra una precisión de 0.2% para volúmenes desde 50 μ L hasta 5000mL utilizando un medidor de caudal por coriolis entre el tanque y la válvula dosificadora para un proceso en línea recta [4]. Nuestra propuesta no incluye un medidor de caudal y la dosificación se controla por tiempo.

Otros sistemas incluyen un mecanismo de llenado de agua con un tanque presurizado para aplicar un flujo constante hacia la botella y el control del flujo lo realizan a través de una válvula de solenoide [2]. En la mayoría de los sistemas se menciona el uso de controladores lógicos programables PLC [13].

Con la intención de elevar la precisión en la dosificación, algunos autores [10] mencionan el uso de un sistema de inyección a base de un servomotor para el llenado en lugar de una válvula solenoide, sin embargo no reportan una comparación cuantitativa de la precisión contra la válvula de solenoide.

Por otro lado los sistemas embebidos están cambiando la automatización [7], porque permiten construir sistemas de control conectando pantallas, sensores y

actuadores a bajo costo en comparación con el PLC y otros sistemas comerciales. Permitiendo alcanzar el impacto de la tecnología de pantallas táctil en la interfaz con el usuario [14], especialmente para las empresas Pyme que requieren de automatizar sus procesos de envasado con una inversión moderada.

En vez de una estación de trabajo con computadora y un monitor, muestra propuesta de una interfaz humano-maquina por pantalla táctil es conveniente y flexible para mostrar datos y fijar parámetros. El usuario puede cambiar información en la pantalla mediante una combinación de texto botones, gráficos e información digital [9].

El uso de monitor y mouse requiere de una superficie especial libre de suciedad y polvo. Algunos sistemas proponen como mejora el "track ball" en lugar del mouse [12], sin embargo ambas tecnologías en la actualidad son obsoletas. Los sistemas de pantalla táctil para PLC tienden a ser caros y presentan complicaciones de montaje por el tamaño de la ventana limitada a las especificaciones del fabricante, además la suciedad en la yema de los dedos puede afectar la pantalla.

Las investigaciones sobre el uso de pantallas táctiles sugieren que existe mucha variación en la marca de la yema de los dedos en lo que se refiere al área de contacto y forma, debido a las características morfológicas de las personas, a la presión ejercida y la orientación [1]. Cabe mencionar que estas desventajas conocidas de las pantallas táctiles fueron tomadas en cuenta en el diseño de nuestra propuesta de interfaz gráfica.

A partir de algunos estudios sobre el trabajador donde comparan diferentes habilidades cognitivas, procesamiento de información, capacidad de memoria y acciones necesarias para desarrollar diferentes tipos de automatización empleados en la toma de decisiones [11]. Inferimos que la tecnología de pantallas táctiles es la adecuada para una interfaz gráfica humano-máquina.

Los objetivos de nuestra propuesta son:

1. Demostrar que es posible automatizar una máquina de envasado con tecnología electrónica de sistemas embebidos de menor costo que los tradicionales dispositivos PLC.
2. Crear una interfaz gráfica humano-máquina mediante una pantalla táctil que muestre información relevante del proceso y permita el control de la dosificación por tiempo por apertura de una válvula de solenoide.

MATERIAL Y MÉTODOS

Después de realizar una búsqueda del estado de la técnica se encontró la patente DE05702384T1 que trata de un sistema de envasado por control de tiempo a través de una válvula dosificadora [15].

Nuestra propuesta, también realiza la dosificación por control de tiempo pero tiene como factor de innovación la interfaz humano-maquina por pantalla táctil, así como otros mecanismos que se integran al sistema.

es operada por un trabajador en su ciclo de envasado continuo y el cambio de parámetros es un privilegio del supervisor que posee la llave del interruptor.

En el menú principal, pantalla 1 de la figura 3, se puede seleccionar LLENADO para el trabajador en ciclo de

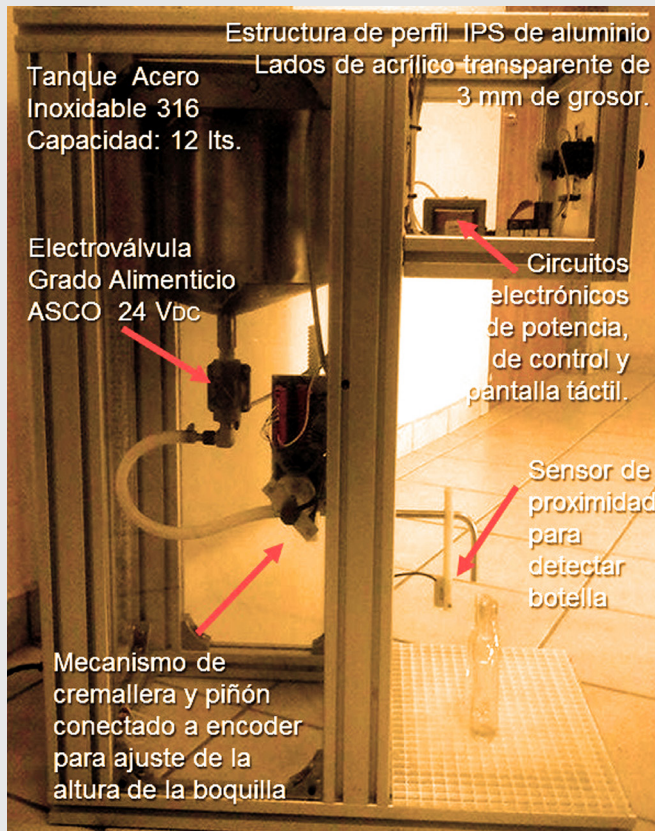


Figura 1. Máquina de envasado semiautomática

En comparación con máquinas que se comercializan actualmente, por ejemplo, el modelo Astepo PTAF del fabricante Alfa Laval [3]. Nuestro diseño, figura 1, posee un tanque de acero inoxidable 304/316, grado alimenticio; enciende a 120 VAC en lugar de 220 VAC, tiene una capacidad máxima de 12 litros contra 10 litros, el control de dosificación se realiza por tiempo a través de un sistema embebido, en lugar del control por PLC y medidor de flujo magnético. Por otro lado, la precisión de la dosificación es aceptable y no se justifica el uso de un sistema de visión para la inspección de nivel en el proceso de envasado por técnicas de detección de borde como propone Doshi, et al. [6], en congruencia con la relación costo-beneficio que buscan las Pymes de México del sector de bebidas.

En la figura 2 se muestra el panel de control, que incluye la pantalla táctil, botón de paro de emergencia e interruptor para ajuste de parámetros. La máquina

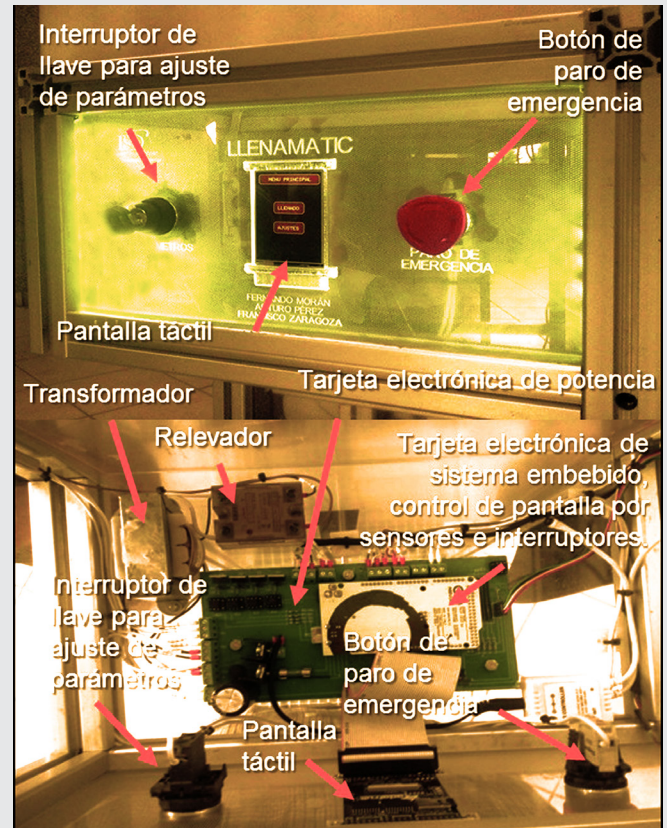


Figura 2. Vista del panel de control con pantalla táctil, circuitos electrónicos del sistema embebido y componentes de potencia.

envasado continuo y AJUSTES; esta opción se habilita únicamente cuando el supervisor cierra el interruptor de llave.

La pantalla 2 muestra la información para el trabajador en la operación de envasado: a) Formato de envasado seleccionado en mL, b) Grafica de barra que muestra el nivel de líquido en el tanque, la señal proviene de un sensor de ultrasonido localizado en la parte superior del tanque, c) Contador del número de botellas dosificadas por ciclo, d) Indicadores para presencia B y V para Botella y apertura de Válvula respectivamente, e) Botones para INICIO y PARO de ciclo, cambio de FORMATO, RESET del contador y botón para REGRESAR al menú principal. En la pantalla 4 y 8 el trabajador puede observar y seleccionar uno de tres posibles formatos de envasado en mL preestablecidos por el supervisor.

La figura 4, muestra las pantallas de ajuste para FORMATO, BOQUILLA y VÁLVULA. La pantalla 6 muestra

un botón grande, en color verde o rojo para abrir o cerrar respectivamente la válvula de solenoide, esta función se utiliza para purgar el sistema en operación de limpieza o cambio de producto.

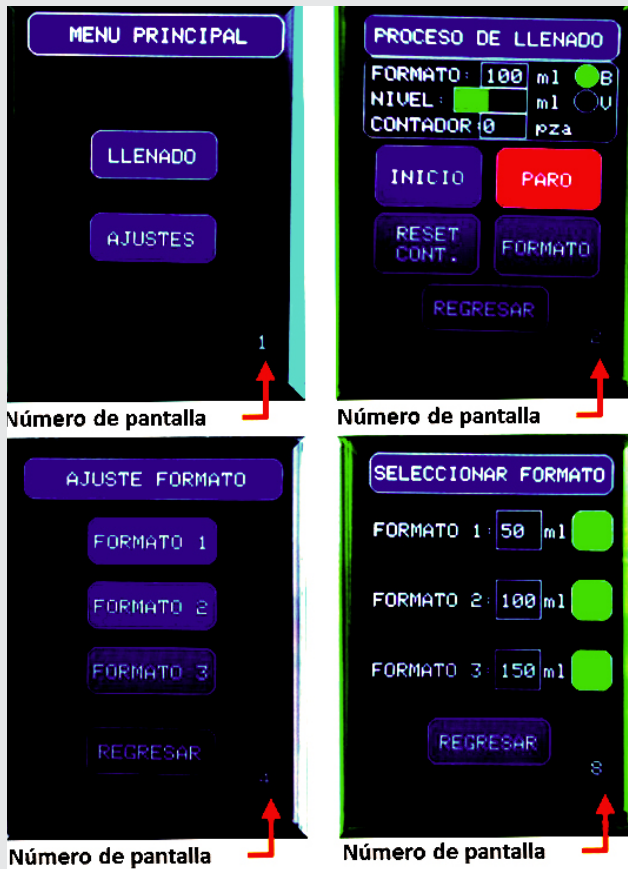


Figura 3. Imágenes de la pantalla táctil para el trabajador en ciclo de envasado continuo.

La pantalla 5 para ajuste de boquilla establece la posición del extremo del dosificador en función del formato y la altura de la botella. Finalmente en la pantalla 9 se ajusta el formato de envasado en mL correspondiente al tiempo de apertura de la válvula en ms; cuando se conoce el parámetro se ingresan 4 dígitos o se puede usar la función de AUTOSET que abre la válvula hasta que el supervisor observa que se alcanza el nivel deseado en la botella; inmediatamente se muestra el valor correspondiente en ms. Oprimiendo el botón GUARDAR se almacena el formato.

El programa para la interfaz humano-maquina consta de 2400 líneas de código, se programó en IDE para Arduino Mega, las librerías invocadas son: Adafruit_GFX.h para gráficos, Adafruit_ILI9341.h para hardware 2.8" TFT Touch Shield para Arduino con pantalla táctil resistiva, SPI.h para puerto de comunicación serial, SD.h para memoria SD, Wire.h para comunicación por I2C, TouchScreen.h para la pantalla táctil resistiva, Ultrasonic.h para el sensor de nivel ultrasónico, Stepper.h para el control del motor a pasos en el ajuste de altura de la boquilla, EEPROMex.h para extender la funcionalidad de la memoria EEPROM.

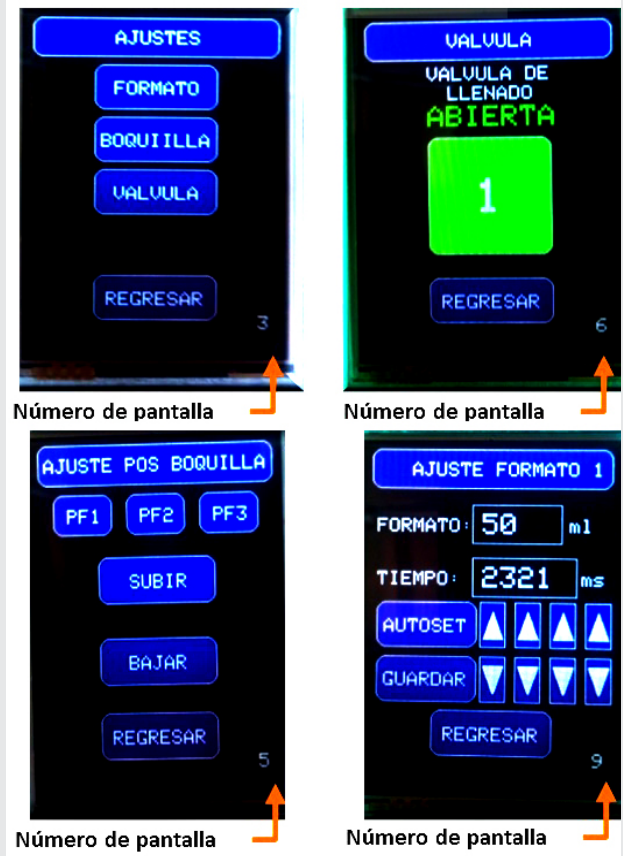


Figura 4. Imágenes de la pantalla táctil para ajuste de parámetros por el supervisor.

En la figura 5, se muestra el segmento de código para la función de llenado que abre la válvula de solenoide enviando una señal en alto (HIGH) o cerrando la válvula enviando una señal en bajo (LOW), La instrucción de retardo de 3000 ms otorga un tiempo de espera posterior a la señal de presencia de la botella. La variable contador se incrementa una unidad por cada botella llenada en el ciclo de envasado continuo.

```
//Llenado
void llenado() {
  int inicio_time, t_retardo;
  inicio_time = millis();
  Serial.println("Inicio de llenado");
  delay(3000);
  //Tiempo de confirmacion de botella presente
  digitalWrite(out_valvula, HIGH);
  tft.fillCircle(210, 80, 10, ILI9341_GREEN);
  //X,Y,R,color-Indicador valvula
  delay(tfs);
  digitalWrite(out_valvula, LOW);
  tft.fillCircle(210, 80, 10, cfondo);
  //X,Y,R,color-Indicador valvula
  contador = contador + 1;
  tft.setCursor(114, 100); //X, Y
  tft.setTextColor(ILI9341_WHITE);
  tft.setTextSize(2);
  tft.fillRect(112, 96, 42, 20, cfondo);
  // Recuadro nivel
  tft.print(contador);
  Serial.println("Fin de llenado");
}
```

Figura 5. Segmento del código para la función de proceso de Llenado.

Las instrucciones sobre el monitor serial, Serial.println("....."), se utilizaron para verificar la correspondencia de la ejecución de la instrucción con el hardware, durante la etapa de diseño y pruebas. Cabe mencionar que varias líneas de código del programa corresponden a la construcción de los elementos gráficos de la interfaz. Por ejemplo la instrucción tft.fillRect(112,96,42,20,cfondo); dibuja un rectángulo sólido según las coordenadas y el color de la variable cfondo.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En las pruebas de funcionamiento la máquina de envasado ha estado en operación continua por 12 horas, durante 5 días sin interrupción, simulando una jornada laboral típica de 60 horas semanales. La operación en ciclo continuo de envasado consta de 3 etapas: 1) Ajuste de parámetros y limpieza del sistema al inicio de la operación. 2) Envasado continuo y recarga de producto en el tanque. 3) Limpieza del sistema al finalizar la jornada. Durante las pruebas no se presentaron fallas en los sistemas electrónicos y mecánicos, concluimos que nuestra propuesta es robusta.

Las pruebas en la máquina envasadora se han realizado con agua, jugo, tequila, y agua azucarada con saborizante concentrado. Cabe señalar que la máquina funcionó como se esperaba para los primeros tres productos, pero se presentó una falla al inicio de la jornada en el segundo día en el proceso de agua azucarada con concentrado. La mezcla contenía sólidos insolubles que se acumularon en el cuerpo de la válvula y fue necesario abrirla y realizar una limpieza manual. Concluimos que la limpieza en la jornada previa no se realizó exhaustivamente.

Las condiciones sanitarias a las cuales se realizan las operaciones de envasado, favorecen que la pantalla táctil se conserve aceptablemente limpia y no presente fallas, por otro lado, el tamaño y el color en el diseño gráfico de los botones evita equivocaciones del trabajador.

En las pruebas de envasado obtuvimos un error en la precisión del 1% para 200 ciclos continuos, sin embargo se tiene contemplado como trabajo futuro obtener más datos estadísticos a través de un estudio sobre la capacidad de proceso y comparar la precisión entre un tanque abierto contra un tanque presurizado.

La inversión para la construcción de la máquina envasadora fue de \$18,000 pesos y se sugiere un precio de venta de \$25,000 pesos. Lo que representa un precio de comercialización 10% menor comparado con máquinas dosificadoras automatizadas con PLC, sin pantalla táctil, sin sensores y mecanismos de ajuste de boquilla. Concluimos que la relación costo-beneficio de nuestra propuesta de máquina envasadora con interfaz humano-máquina con pantalla táctil es conveniente para Pymes de la industria de alimentos y bebidas.

NOMENCLATURA

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
IDE Integrated Development Environment
I²C Inter-Integrated Circuit
PYME Pequeña y mediana empresa(s)
PLC Programmable Logic Controller
PROFIBUS - DP Process Field Bus Decentralized Peripherals
SD Secure Digital
SME Small and medium enterprises

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. H. Salgado Rodríguez, Ing. R. Gómez Lee, Ing. L. Escobar, I.S.C. A. Tovar Arriaga, A. Espinosa Gómez, A. Amaral Rocha del ITS Zapopan y a las empresas Fresenius Medical Care y Casa Cuervo por su contribución a este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Abro A., Sulaiman S., Mahmood A, Khan M. (2015) *Investigation of fingertip contact area and shape for precise target selection on multi-touch screen. Proceedings of the 9th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication. Bali, Indonesia, Num. 32.*
- [2] Atar A. A., Misal V. A., Hajare U.D. (2013) *Design of Automatic bottle Packing Machine. International Journal on theoretical and applied research in mechanical engineering, Vol. 2(2), pp. 2319-3182.*
- [3] Alfa Laval, (2015) Documento No. PF-T00367EN1010, Astepo PTAF system, Disponible: 9 Oct 2015, www.alfalaval.com.
- [4] Caldwell D. G. (2013) *Robotics and Automation in the Food Industry: Current and Future Technologies, 1 Ed. Woodhead Publishing Limited, p. 25.*
- [5] Castorena O. H. (2011). *El impacto de los procesos productivos en el rendimiento de la pyme manufacturera de México: un estudio empírico. Universidad Autónoma de Aguascalientes. TEC Empresarial, Vol. 5(1).*
- [6] Doshi I., Dani G., Patel B., Chauhan V., Modi C. K., (2009) *Machine vision bases liquid level inspection system using Laplacian of gaussian Edge detection Technique. College of Engineering & Technology, International Conference on Signals, Systems & Automation, India, pp. 35-40.*
- [7] Greenfield D., (2013). *How Embedded Systems Are Changing Automation. AutomationWorld, Online: 8 oct 2015. <http://www.automationworld.com/embedded-control/how-embedded-systems-are-changing-automation>*

[8] Ilyukhin S. A., Haley T. A., Singh R. K. (2001), *A survey of automation practices in food industry*. *Food Control Journal*, Elsevier Vol. 12(5), pp. 285-296.

[9] Liu, J. M., Wang J. H., Sun D. H. (2014) *The Design and Application of Beverage Automatic Filling System*. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 563, pp. 366-371.

[10] Lu Y., Zeng, L., Zheng F., Kai, G. (2015) *Analysis and Design of PLC-based Control System for Automatic Beverage Filling Machine*. *Advance Journal of Food Science and Technology*, Vol. 7(1), pp. 28-31.

[11] Meike J., (2015) *Expertise Development With Different Types of Automation: A Function of Different Cognitive Abilities*. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. September 2015

[12] Moore C.A. (1991) *Automation in the food Industry*, 1 Ed., Springer, United States of America, pp. 96-119.

[13] Rohner P. (1996) *Automation with Programmable Logic Controllers*, 1 Ed. University of New Wales Press, Australia.

[14] Scott, A. J. (1998). *The impact of touch screen technologies on the product interface*. Tesis de Maestría, Queensland University of Technology.

[15] Stocchi G. "Filling machine with time-controlled dosing valves". DE Patents DE05702384T1, Feb. 10, 2004.



Ciencias de la Computación

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla