



Automatización de máquina serigráfica, cálculos y selección de dispositivos

Ricardo Navarro Soto, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez, Martín Dario Castillo Sánchez *

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es desarrollar los cálculos, los programas y la selección de dispositivos que nos permitan automatizar una máquina serigráfica cilíndrica manual utilizada en la impresión de botellas de plástico, esto con el fin de aumentar la productividad, disminuir errores de producción y retrabajos. Se logró la selección de dispositivos electromecánicos, la elaboración de la configuración eléctrica y los programas para desarrollar la automatización más adecuada a este tipo de máquina, lo cual nos permitió obtener una configuración final a través de un programa de diseño en tercera dimensión con simulación aplicada.

ABSTRACT

The objective of the present work is to develop the calculations, the programs and the selection of devices that allow us to automate a manual cylindrical screen printing machine used in the printing of plastic bottles, this in order to increase productivity, reduce production errors and rework. The selection of electromechanical devices, the elaboration of the electrical configuration and the programs to develop the most appropriate automation for this type of machine were achieved, which allowed us to obtain a final configuration through a three-dimensional design program with applied simulation.

Palabras claves: Automatización, serigrafía, impresión, bastidor, mallas.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería como tal en sus inicios fue generada a partir de la experimentación, prueba y error, con el tiempo fue afinando sus procesos, pero es finalmente con la ayuda de las matemáticas cuando se formaliza, haciendo de la matemática una herramienta muy poderosa que le permite desarrollar procesos analíticos para la solución de problemas, crear modelos de sistemas reales que nos permiten predecir comportamientos y mediante lenguaje matemático resolver problemas. La palabra serigrafía tiene su origen en la palabra del latín “sericum” (=seda) y en la griega “graphé” (=acción de escribir, describir o dibujar). La Serigrafía es un procedimiento de impresión que consiste en el paso de la tinta a

través de una plantilla que sirve de enmascaramiento, unida a una trama tensada en un bastidor. Los antecedentes más antiguos de este sistema se han encontrado en China, Japón y en las islas Fidji, donde los habitantes estampaban sus tejidos usando hojas de plátano, previamente recortadas con dibujos y que, puestas sobre los tejidos, empleaban unas pinturas vegetales que coloreaban aquellas zonas que habían sido recortadas. En el transcurso de la 2ª Guerra Mundial, los Estados Unidos descubrieron lo apropiado de este sistema para marcar material bélico tanto en las fábricas como en los propios frentes de guerra, habiéndose encontrado restos de talleres portátiles una vez acabada la contienda. El desarrollo de la Publicidad y el trabajo industrial en serie a partir de los años 50, convirtieron a la serigrafía en el sistema de impresión indispensable para todos aquellos soportes que, por la composición de su materia, forma, tamaño o características especiales, no se adaptan a las máquinas de impresión de tipografía, offset, hueco grabado, flexografía, etc. La impresión por serigrafía es el sistema que ofrece mayores posibilidades, pues prácticamente no tiene ningún tipo de limitaciones.

La máquina de serigrafía por automatizar, se utiliza para imprimir envases de plástico con forma cilíndrica y cónica, para una capacidad desde medio litro hasta de un litro. En un turno de 8 horas se realizan aproximadamente 5, 000 impresiones y esta se puede observar en la Figura 1. Esta máquina tiene dos diferentes movimientos, uno vertical y uno horizontal. El movimiento vertical se encuentra en el cabezal donde se coloca la pantalla y que se levanta para colocar el objeto a imprimir y una vez colocado el objeto baja para iniciar la impresión del objeto. Este se realiza por medio de un pedal que al momento de pisarlo acciona un sistema mecánico de resortes que permite levantar el cabezal de la pantalla y al soltarlo permite el descenso del cabezal. El movimiento horizontal también se ubica en el cabezal para la pantalla y que al desplazarse de izquierda a derecha es como se realiza la impresión en el objeto colocado. Este se realiza por medio de unos baleros colocados en la parte trasera del cabezal conectados a una corredera ubicada en la base de la máquina, este movimiento lo realiza el operario al desplazar con las manos el cabezal en la dirección que este lo requiera ya sea de derecha a izquierda o al contrario. Soria (2018), Balcells (2016).

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Dario Castillo Sánchez, C Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com

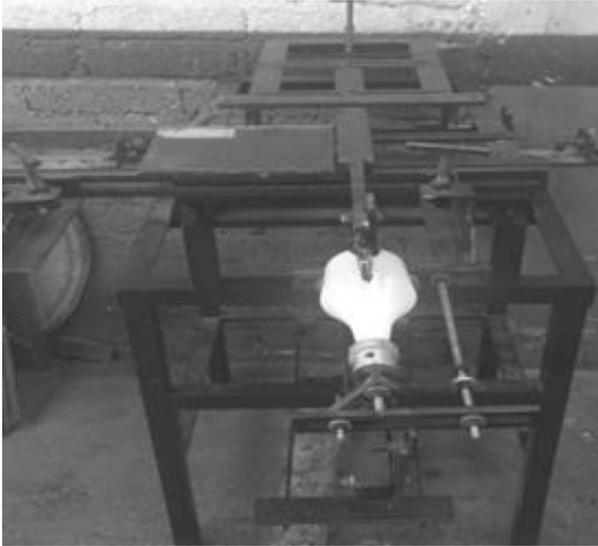


Figura 1. Máquina para impresión cilíndrica.

Volumen: una vez obtenidos los resultados de las Ecuaciones 2 y 3, se calcula el Volumen de avance (Ecuación 4) y el Volumen de retroceso (Ecuación 5)

$$V_{av} = S_{avance} * C \quad (4)$$

$$V_{ret} = S_{retroceso} * C \quad (5)$$

Donde C= Carrera

Ya con los resultados de las ecuaciones 4 y 5, se puede calcular el Volumen Total con la Ecuación 6.

$$V_T = V_{av} + V_{ret} \quad (6)$$

Caudal: una vez calculado el Volumen total, se procede a calcular el caudal con la Ecuación 7.

$$Q = \frac{V_T}{T} \quad (7)$$

Donde T= tiempo total en que el cilindro realizara el ciclo.

CILINDRO PARA DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LA PANTALLA

El sistema de desplazamiento horizontal donde se colca la pantalla tiene un peso aproximado de 5 kg y el marco de la pantalla tiene un peso de 500 g, considerando que este es de madera ya que es el más común, dando un peso total de 5.5 kg aproximadamente, el cilindro deberá tener una carrera de 260mm. Sustituyendo valores en la ecuación 1, se obtiene la ecuación 8.

$$F = (5.5 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 53.955 \text{ N} \quad (8)$$

De acuerdo a los valores de ecuación 8, se tienen los valores de ecuación 9.

$$\Phi_v = 4 \text{ mm} \quad \Phi_e = 12 \text{ mm} \quad (9)$$

Sustituyendo los valores de ecuación 9 en ecuación 2 se obtienen ecuaciones 10 y 11.

$$S_{av} = \frac{\pi \cdot \Phi_e^2}{4} = \frac{\pi \cdot (12)^2}{4} = 113.097 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

$$S_{ret} = \frac{\pi \cdot (\Phi_e^2 - \Phi_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((12)^2 - (4)^2)}{4} = 100.530 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Sustituyendo los valores de ecuaciones 10, 11 y la carrera del pistón en ecuaciones 4 y 5, se obtienen ecuaciones 12 y 13.

$$V_{av} = S_{av} * C = (113.097) * (260) = 29405.22 \text{ mm}^3 \rightarrow 0.0294 \text{ L} \quad (12)$$

DESARROLLO

CÁLCULO DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS

Para poder realizar el cálculo de los cilindros neumáticos se deben considerar:

1. El peso a desplazar por el cilindro.
2. La longitud que recorrerá el vástago.
3. La gravedad, ya que esta afecta al trabajo realizado por el actuador.

Teniendo en cuenta estas variables se deberá calcular. Creus (2016).

Fuerza:

$$F = m * G \quad (1)$$

Dónde: m = masa a desplazar [Kg] y G = gravedad [$\frac{m}{s^2}$].

Sección de avance (anterior): para el cálculo de la sección de avance se utiliza la Ecuación 2.

$$S_{avance} = \frac{\pi \cdot \Phi_e^2}{4} \quad (2)$$

Sección de retroceso (posterior): para la sección de retroceso empleamos la Ecuación 3.

$$S_{retroceso} = \frac{\pi \cdot \Phi_e^2}{4} - \frac{\pi \cdot \Phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot (\Phi_e^2 - \Phi_v^2)}{4} \quad (3)$$

Dónde: para ambas formulas

Φ_e = Diámetro del émbolo

Φ_v = Diámetro del vástago



$$V_{ret} = S_{ret} * C = (100.530) * (260) = 26\ 137.8\ mm^3 \rightarrow 0.0261\ L \quad (13)$$

Al sustituir los valores de ecuaciones 12 y 13 en ecuación 6, se obtiene ec.14

$$V_T = V_{av} + V_{ret} = (29\ 405.22) + (26\ 137.8) = 55\ 543.02\ mm^3 \rightarrow 0.0555\ L \quad (14)$$

Al sustituir el valor de ecuación 14 y el tiempo de operación del cilindro en ec.7, se obtiene ec.15.

$$Q = \frac{V_T}{T} = \frac{(0.0555\ L)}{(0.0666\ min)} = 0.8333\ L/min \rightarrow 0.2201\ gpm \quad (15)$$

CILINDRO PARA DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA PANTALLA

Se estima que todo el cabezal de la maquina donde se colca la pantalla, mismo que es levantado por un pedal ubicado en la parte inferior de la maquina tiene un peso aproximado de 20 kg y que el cilindro deberá tener una carrera de 85mm. Sustituyendo valores en la ecuación 1, se obtiene la ecuación 16.

$$F = (25\ kg) * (9.81\ m/s^2) = 245.25\ N \quad (16)$$

De acuerdo a los valores de ec.16, se tienen los valores de ec.17

$$\phi_v = 10\ mm \quad \phi_e = 25\ mm \quad (17)$$

Sustituyendo los valores de ec.17 en ec. 2 se obtienen las ecuaciones 18 y 19

$$S_{av} = \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot (10)^2}{4} = 78.5398\ mm^2 \quad (18)$$

$$S_{ret} = \frac{\pi \cdot (\phi_e^2 - \phi_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((25)^2 - (10)^2)}{4} = 412.334\ mm^2 \quad (19)$$

Sustituyendo los valores de ecuaciones 18, 19 y la carrera del pistón en ecuación 4 y 5, se obtienen ecuaciones 20 y 21.

$$V_{av} = S_{av} * C = (78.5398) * (85) = 6675.88\ mm^3 \rightarrow 0.006676\ L \quad (20)$$

$$V_{ret} = S_{ret} * C = (412.334) * (85) = 35\ 048.39\ mm^3 \rightarrow 0.0350\ L \quad (21)$$

Al sustituir los valores de ecuaciones 20 y 21 en ec.6, se obtiene ec.22

$$V_T = V_{av} + V_{ret} = (6675.88) + (35\ 048.39) = 41\ 724.27\ mm^3 \rightarrow 0.0417\ L \quad (22)$$

Al sustituir el valor de ec. 22 y el tiempo de operación del cilindro en ec. 7, se obtiene ec. 23.

$$Q = \frac{V_T}{T} = \frac{(0.0417\ L)}{(0.133\ min)} = 0.3135\ L/min \rightarrow 0.0825\ gpm \quad (23)$$

CILINDRO CON INYECCIÓN DE AIRE A PRESIÓN

Este cilindro no cargara ninguna fuerza, en cambio tendrá que mantener la botella en su posición una vez esta sea colocada, también tendrá que inyectar suficiente aire a presión para eliminar las imperfecciones de las botellas. La carrera total de este pistón será de 30mm, la presión desarrollada será de 3 a 4 bar. Sánchez (2009).

CILINDROS PARA RACERO Y ESPÁTULA

Estos cilindros no cargaran fuerzas, en cambio deberán ejercer poca presión para que al momento de pasar sobre la pantalla puedan realizar bien su función que será imprimir o colocar tinta. Estos tendrán una carrera total de 40mm. Ver ecuación 24.

Diámetro del vástago y embolo:

$$\phi_v = 4\ mm \quad \phi_e = 12\ mm \quad (24)$$

Sustituyendo los valores de ec. 24 en ec. 2 se obtienen ecuaciones 25 y 26.

$$S_{av} = \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot (4)^2}{4} = 12.5664\ mm^2 \quad (25)$$

$$S_{ret} = \frac{\pi \cdot (\phi_e^2 - \phi_v^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((12)^2 - (4)^2)}{4} = 100.530\ mm^2 \quad (26)$$

Sustituyendo los valores de ecuaciones 25 y 26 y la carrera del pistón en ecuaciones 4 y 5, se obtienen las ecuaciones 27 y 28.

$$V_{av} = S_{av} * C = (12.5664) * (40) = 502.656\ mm^3 \rightarrow 0.000503\ L \quad (27)$$

$$V_{ret} = S_{ret} * C = (100.530) * (40) = 4\ 021.2\ mm^3 \rightarrow 0.00402\ L \quad (28)$$

Al sustituir los valores de ecuaciones 27 y 28 en ec. 6, se obtiene ec. 29.

$$V_T = V_{av} + V_{ret} = (502.656) + (4\ 021.2) = 4\ 523.856\ mm^3 \rightarrow 0.004524\ L \quad (29)$$

Al sustituir el valor de ec. 29 y el tiempo de operación del cilindro en ec. 7, se obtiene ec.30



$$Q = \frac{V_T}{T} = \frac{(0.00854 L)}{(0.0233 \text{ min})} = 0.256 L/min \rightarrow 0.0676 \text{ gpm} \quad (30)$$

DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICO

Para realizar el diagrama eléctrico se usó el software Automation Studio 5.0, que como se puede observar en la Figura 2. El diagrama está dividido en 2 partes, la primera parte es el circuito de operación automática y la segunda es el circuito de operación manual.

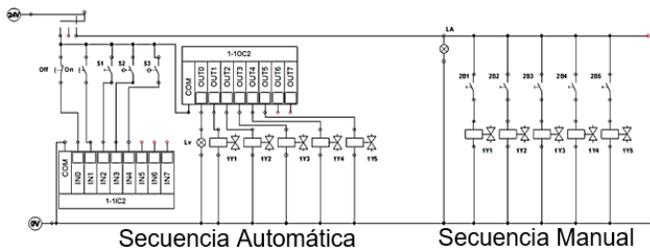


Figura 2. Diagrama de conexión Eléctrico

DIAGRAMA DE CONEXIÓN NEUMÁTICA

De igual manera, para realizar el diagrama y simulación neumática que se puede observar en la Figura 3. Se empleó el software Automation Studio 5.0. Este consiste en 5 pistones. Tutosaus (2019).

1. Pistón de elevación vertical de la pantalla.
2. Pistón de desplazamiento horizontal de la pantalla.
3. Pistón de inyección de aire a presión.
4. Pistón de movimiento del rasero.
5. Pistón de movimiento de la espátula.

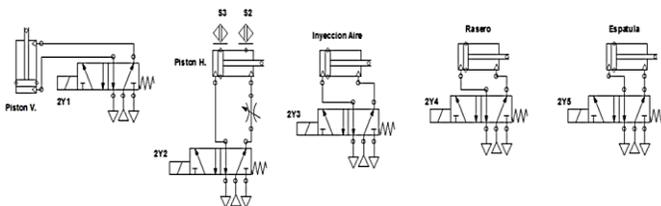


Figura 3. Diagrama de Conexión Neumática

PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Ya que se tiene la lista de asignación, se puede iniciar la programación del PLC, esta se realizó en el software LogixPro, con el simulador de entradas y salidas para poder apreciar más fácilmente (Tabla 1,2), que en efecto, el programa realiza lo que se desea (Figura 5). Millar (1998).

PROTOTIPO DE MAQUINA SEMIAUTOMÁTICA

A continuación, en la Figura 4. Se puede observar la propuesta de las modificaciones que se harán a la máquina y donde se colocarán los dispositivos seleccionados para las mismas.

Tabla 1. Asignación de entrada

Asignación	Dispositivo	Función
I:1/0	Botón de Arranque	Botón Pulsador N/A
I:1/1	Botón de Paro	Botón Pulsador N/C
I:1/2	Sensor Botella	Sensor de presencia
I:1/3	Limite Pistón Horizontal	Detector magnético
I:1/4	Inicio Pistón Horizontal	Detector magnético

Tabla 2. Asignación de salidas

Dirección	Uso	Descripción
O:2/0	Indicador Encendido de la maquina	Indicador luminoso
O:2/1	Pistón Vertical	Electroválvula 5/2
O:2/2	Pistón Horizontal	Electroválvula 5/2
O:2/3	Pistón Inyección Aire	Electroválvula 5/2
O:2/4	Pistón Rasero	Electroválvula 5/2
O:2/5	Pistón Espátula	Electroválvula 5/2

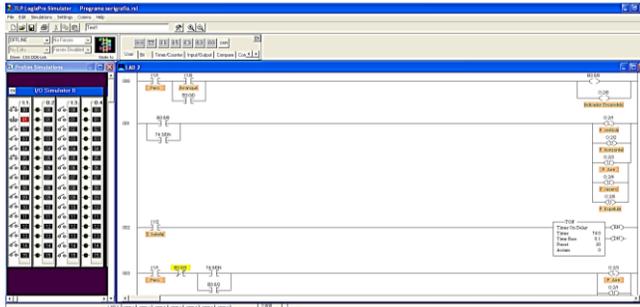


Figura 4. Pantalla de Inicio LogixPro

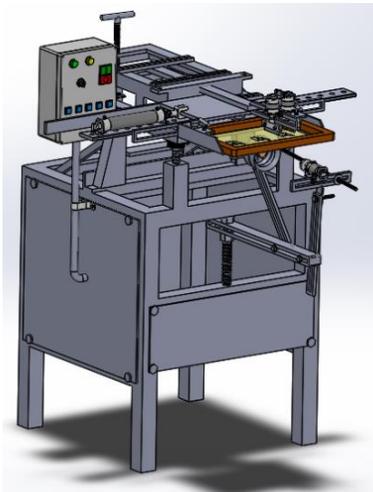


Figura 5. Propuesta Máquina Semiautomática

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los cálculos nos permiten obtener un cilindro neumático para el movimiento horizontal con una capacidad de desplazamiento de 0.02611 y una presión de 6 bares, así mismo, el cilindro para el desplazamiento vertical tendrá una presión de 6 bares y un desplazamiento de 0.4171 en el avance, el cilindro para inyección de aire a las botellas desplazara aire a una presión de 4 bares, los cilindros para rasero y espátula desplazaran 0.004521 de aire a una presión de 4 bares, con esta información elaboramos el diagrama neumático, posteriormente elaboramos el diagrama eléctrico utilizando el software Automation Studio 5.0, el diagrama lo dividimos en dos partes, una es el circuito de operación automática y otra de la operación manual, el diagrama de conexión neumática considera 5 pistones a saber: de elevación vertical, de pantalla, de desplazamiento horizontal de pantalla, de inyección de aire a presión, de movimiento de rasero y de movimiento de la espátula, aplicamos un controlador lógico programable ayudándonos del software LogixPro, mediante simulación obtenemos un acierto ya que funciona de acuerdo a lo sperado, finalmente podemos elaborar una propuesta mediante un programa de diseño en 3D con simulador.

CONCLUSIONES

Se obtuvo a través de los cálculos matemáticos, el razonamiento crítico, el modelado matemático, el empleo de software especializado y la selección de componentes llegar a una propuesta viable de automatización de la maquina planteada.

La automatización de la maquina serigráfica planteada, aumentará la producción de la empresa al hacer que la línea de producción o impresiones sea constante, al remplazar parcialmente el elemento humano, el operario solo tendrá que colocar y retirar las botellas, lo que reducirá al mínimo el esfuerzo físico. Así mismo los costos de producción se reducirán, lo que puede reflejarse en mayores ganancias para la empresa.

El margen de reducción de retrabajos es el punto en el que más se impactara en este proyecto, ya que este puede llegar a ser de hasta un 10 a 30%, de la producción total, este problema se solucionará con la inyección de aire a presión y permitirá que se reduzca en gran medida las perdidas monetarias y costos de producción.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Balcells J. (2016), *Autómatas Programables*. México: Alfaomega.
- Creus A. (2019), *Neumática e Hidráulica*. México: Alfaomega.
- Millor N. (1998), Elementos de un proceso a automatizar. [En línea] Disponible en: http://www.infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_Teoría_iniciacion_Automata.pdf.
- Sánchez R. (2009), Ingeniería de máquinas. [En línea] Disponible en: http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapunt es.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Carlos%20Tutosaus-introduccion_automatizacion.pdf.
- Soria S. (2018), *Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos*. México: Alfaomega.
- Tutosaus C. (2019), Introducción a la automatización. [En línea] Disponible en: <http://www.herrera.unt.edu.ar/eiipc/material/apuntes/Automatas%20Programables.pdf>.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Ricardo Navarro Soto: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ingeniería Mecánica en energética, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.



Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Experto en Manufactura, profesor de tiempo completo en el IPN.

Martín Dario Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

