

Diseño y simulación de sistema para una inyectora de plástico reciclado**System design and simulation for a recycled plastic injector****Desenho e simulação de um sistema para injeção de plástico reciclado**

Mantilla Rodriguez Luis Alfredo¹, Álvarez Vargas Fiorella Alexandra², Carrascal Santa María Luis Claudio³, Cerna Caballero Arnold Heler⁴, Romero Noriega Edgar Alonso⁵, Blas Ávalos Adiel Gilmer⁶, Contreras Vigo José Bradley⁷

Resumen

La finalidad fue desarrollar y diseñar una máquina inyectora de plástico automatizada utilizando las herramientas FluidSIM, CADe SIMU y SketchUp. Asimismo, se encontró los principales elementos que componen el mecanismo y verificamos resultados mediante comparación de rendimiento y productividad. El diseño se realizó en base a especificaciones mediante el uso del software SketchUp. Con ello se controló el sistema de inyectado neumático y diseñó el circuito en el software FluidSIM, para de tal manera poder simularlo y validarlo. Además, con el propósito de diseñar el circuito eléctrico del motor y sensores se utilizó el software CADe SIMU. También se empleó datos obtenidos de la recolección y pesaje de plástico que realiza la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera en dicho distrito, lo que nos llevó a obtener una mejora frente a una máquina manual. Esto quedó evidenciado en el rendimiento y productividad las cuales pasarían de ser 75% y 28 botellas por minuto a ser de 97% y 37 botellas por minuto. El aplicar esta automatización está completamente justificada, ya que además de aumentar el rendimiento y productividad reduciendo los tiempos muertos en los que los operarios descansaban o tenían break, también mitigará la fatiga de estos en el trabajo, sin afectar negativamente la producción.

Palabras clave: *Inyectora, plástico, productividad, rendimiento.*

Abstract

The purpose was to develop and design an automated plastic injection machine using FluidSIM, CADe SIMU and SketchUp tools. Likewise, the main elements that make up the mechanism were found and we verified results by comparing performance and productivity. The design was made to specifications using SketchUp software. With this, the pneumatic injection system was controlled and the circuit was designed in the FluidSIM software, in order to simulate and validate it. In addition, for the purpose of designing the electrical circuit of the motor and sensors, the CADe SIMU software was used. Data obtained from the collection and weighing of plastic carried out by the District Municipality of Víctor Larco Herrera in said district was also used, which led us to obtain an improvement compared to a manual machine. This was evidenced in the performance and productivity, which would go from being 75% and 28 bottles per minute to being 97% and 37 bottles per minute. Applying this automation is completely justified, since in addition to increasing performance and productivity by reducing the downtime in which operators rested or had breaks, it will also mitigate their fatigue at work, without negatively affecting production.

Keywords: *Injector, plastic, productivity, performance.*

Resumo

O propósito era desenvolver e projetar uma máquina automática de injeção plástica utilizando as ferramentas FluidSIM, CADe SIMU e SketchUp. Da mesma forma, foram encontrados os principais elementos que compõem

¹ Escuela de Ingeniería Industrial. Magister. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. alfredo.mantilla@upn.edu.pe. <https://orcid.org/0000-0002-5497-4826>.

² Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00197170@upn.pe. <https://orcid.org/0000-0002-6855-8962>.

³ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00204230@upn.pe. <https://orcid.org/0000-0002-7811-1419>.

⁴ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00172162@upn.pe. <https://orcid.org/0000-0002-1874-6260>.

⁵ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00138025@upn.pe. <https://orcid.org/0000-0003-2357-4704>.

⁶ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00054229@upn.pe. <https://orcid.org/0000-0002-9136-439X>.

⁷ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00204119@upn.pe. <https://orcid.org/0000-0002-4423-3944>.

o mecanismo e verificados resultados comparando desempeño e productividad. O projeto foi feito com base nas especificações através do uso do software SketchUp. Com isso, o sistema de injeção pneumática foi controlado e o circuito foi projetado no software FluidSIM, a fim de simulá-lo e validá-lo. Além disso, com a finalidade de dimensionar o circuito elétrico do motor e dos sensores, foi utilizado o software CAdE SIMU. Também foram utilizados dados obtidos da coleta e pesagem de plástico realizada pelo Município do Distrito de Víctor Larco Herrera no referido distrito, o que nos levou a obter uma melhoria em relação a uma máquina manual. Isso foi evidenciado no desempenho e produtividade que passaria de 75% e 28 garrafas por minuto para 97% e 37 garrafas por minuto. A aplicação desta automação é totalmente justificável, pois além de aumentar o desempenho e a produtividade ao reduzir as paradas em que os operadores descansavam ou faziam pausas, também atenuará o cansaço no trabalho, sem afetar negativamente a produção.

Palavras-chave: *Máquina injetora, plástico, produtividade, desempenho.*

Introducción

En la actualidad el uso de plásticos en diversas aplicaciones ha ido aumentando a nivel nacional de manera considerable, es por ello por lo que han surgido las industrias que se dedican a reciclar y procesar plástico para poder transformarlo en productos nuevos. Para esto los grandes fabricantes de maquinaria se han enfocado en los últimos años en desarrollar equipos cada vez más compactos y con multifunciones, un gran ejemplo de estas son las inyectoras de plástico; así, ahora es posible realizar cada vez más procesos con una sola máquina, o fabricar piezas plásticas compuestas por materiales cada vez más diversos. El controlador PID (control proporcional, integral y derivativo) es un control normal, implementado con amplificadores operacionales (Ferreira, 2000). Además, controla el envío de energía, presión y temperatura en el proceso, La acción derivativa suele mejorar el comportamiento del controlador, ya que permite aumentar las acciones proporcional e integral. Se emplea para mejorar el comportamiento de procesos que no poseen grandes retrasos pero que sí presentan grandes desfases. Este es el caso típico de procesos con múltiples constantes de tiempo. (Álamo, 2015). El relé de estado sólido, también conocido por su abreviatura en inglés (SSR), es un interruptor electrónico que varía su estado según el paso eléctrico y la aplicación de corriente en sus terminales. Este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos (Cañola, 2013). El Termopar es un sensor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia (Núñez, 2011). Es un programa informativo demostrativo (demo) para entrenamiento en el sistema neumático FluidSIM. el cual tiene la opción de diseñar ejercicios neumáticos y electroneumáticos los mismos que con ciertos conocimientos y fundamentos pueden ser resueltos solucionando problemas para llegar a la obtención de una secuencia de trabajo deseada, así como circuitos de diseño sencillo (Centeno, 2004)

La industria de la materia ya descrita en este informe trajo ha aportado demasiado valor al mundo y esto se debe a que la rapidez con la que evoluciona esta industria es fascinante, es por ello por lo que ha cambiado el aspecto del planeta en el que vivimos, sin embargo, esto trajo consecuencias, tales como el uso diario de botellas, sorbetes y distintos productos que tienen como base el plástico, esto ha contribuido en la contaminación del medio ambiente. El moldeo por inyección es una de las tecnologías de procesamiento de plástico más famosas, ya que representa un modo relativamente simple de fabricar componentes con formas geométricas de alta complejidad. Para ello se necesita una máquina de inyección las cuales durante los últimos años han evolucionado enormemente, dando facilidades de operabilidad y con una capacidad de inyección de acuerdo con los requerimientos de los procesos de inyección (Núñez, 2011). Al ser una industria en constante cambio, se necesitarán actualizaciones para la maquinaria usada en los productos que realizan con el fin de optimizar los procesos. Con la automatización se adquiere un conocimiento organizado de las funciones de cada elemento que conforman el sistema automático de la máquina inyectora además de obtener un sistema mecatrónica que reconoce ciertas condiciones mediante sensores, procesando la información, y generando sistemas de producción flexibles (Baldeón y Janeta, 2016). Las principales ventajas del procedimiento de inyección, para fabricación de artículos en plástico, residen en el ahorro del material, espacio de fabricación y tiempo de producción. Teniendo como una posible alternativa de solución la construcción

de una nueva inyectora de plástico. Este proyecto tiene como finalidad desarrollar y diseñar una máquina inyectora de plástico automatizada, con las herramientas FluidSIM Pneumatic, CADe SIMU y SketchUp. Así mismo, encontraremos los principales elementos que componen el mecanismo Y verificaremos resultados mediante comparación de rendimiento y productividad.

Material y métodos

La presente investigación es de tipo experimental y en el diseño del sistema, se hizo a base de especificaciones y especialmente para la validación del este se hizo uso del software SketchUp; para controlar el sistema de inyectado se diseñó el circuito neumático en el software FluidSIM de tal manera de poder simularlo y validarlo. Para el diseño del circuito eléctrico de motor y sensores tenemos CADe SIMU, el circuito impreso, desarrollar el software y realizar pruebas de funcionamiento. Los implementos utilizados en la elaboración fueron seleccionados de acuerdo con las siguientes especificaciones (ver tabla 1, 2, 3 y 4).

Tabla 1.

Componentes de estructura de equipo

Elemento	Cantidad	Lugar	Utilidad
Placa de soporte	1 pieza	Unidad de inyección	Funciona de soporte para toda la unidad.
Émbolo de pre plastificación	1 pieza	Unidad de inyección	Empuja la granza a través de la cámara de pre plastificación.
Cámara de pre plastificación	1 pieza	Unidad de inyección	Mantiene la temperatura correcta para la preparación del plástico, fundiéndolo hasta conseguir un estado viscoso
Torpedo calefactado	1 pieza	Unidad de inyección	Reduce la sección por la que tiene que fluir el plástico y al estar calefactado funde desde el interior de la sección del flujo.
Brida del émbolo de inyección	1 pieza	Unidad de inyección	Aprieta el émbolo contra el torpedo calefactado.
Émbolo de inyección	1 pieza	Unidad de inyección	Conduce el material fundido desde la cámara de pre plastificación por su interior a la cámara de inyección.
Cámara de pre plastificación 60 x10 ⁶ Pa	1 pieza	Unidad de inyección	Mantiene el material plástico fundido en el estado viscoso deseado.
Bridas de actuadores de inyección	1 pieza	Unidad de inyección	Transmiten la fuerza de los actuadores de inyección por todo el cuerpo de la ui y hasta el émbolo.
Soporte de la unidad de inyección	2 piezas	Unidad de inyección	Unión entre el patín de la guía lineal y las cámaras de pre plastificación y de inyección de la ui.
Tolva 45°, 0.73 x 0.6 m	1 pieza	Unidad de inyección	Digiere el plástico triturado a la cámara de pre plastificación
Mecanismo de rodillera doble	1 pieza	Unidad de cierre	Transforma el movimiento generado por el actuador neumático y generando una mayor ventaja mecánica
Elementos de fijación de la placa móvil del molde	-	Unidad de cierre	-
Piezas fijas o estructura del subconjunto	2 piezas	Unidad de cierre	-

Nota. Basado en “Inyectora de plásticos de bajo coste” de Beltrán, D., 2020

Tabla 2.

Componentes térmicos

Elemento	Cantidad
Controlador de temperatura maxthermo mc 5538.	1 pieza
Resistencias ssr 450 w, 220 v.	2 piezas
Termocupla tipo k.	1 pieza
Banda calefactora de latón ljxh 35 x 60 mm.	4 piezas

Nota. Basado en Precious Plastic, <https://preciousplastic.com/>. 2018.

Tabla 3.

Componentes eléctricos y electrónicos

Elemento	Cantidad
Relé 3-32 vdc	10 piezas
Bobina	5 piezas
Pulsador	7 piezas
PLC+HMI modelo Vision (570 –V200)	1 pieza
Motor de 15kW	2 piezas
Relé temporizador	3 piezas
Fuente de alimentación 24V Phaseo Dedicated	1 pieza

Nota. Basado en “Inyectora de plásticos de bajo coste”, de Beltrán, D., 2020

Tabla 4.

Componentes de la unidad de presión

Elemento	Cantidad
Bomba 2160 Mpa.	1 pieza
Actuadores neumáticos 25 x 10 ⁶ Pa	2 piezas

Nota. Basado en “Inyectora de plásticos de bajo coste”, de Beltrán, D., 2020

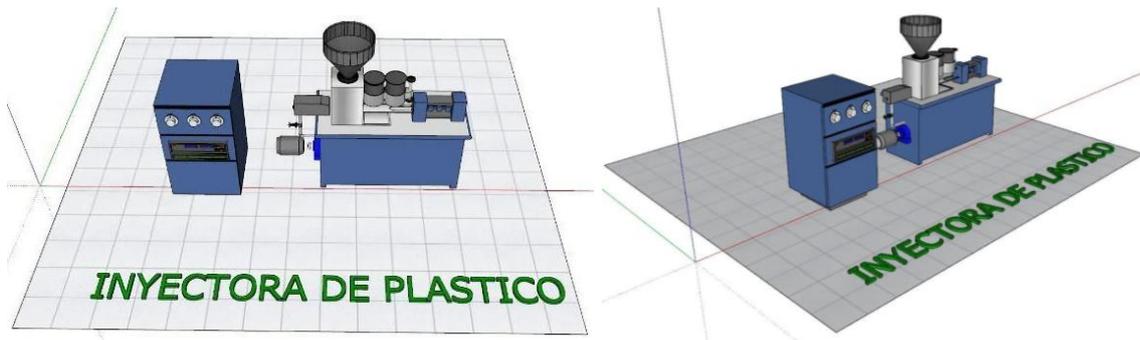


Figura 1. Vista frontal de planta (izquierda) y lateral (derecha)

Nota. Basado en “Sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclado”, Navarrete, A., 2013

Se realizó el sistema neumático de la máquina inyectora de plástico, la cual contará con dos pistones Hidráulicos; de inyección y de cierre, cada uno cumpliendo una función determinada al accionar el interruptor, el proceso de funcionamiento se dará cuando el personal accione el interruptor, el cual dará paso a la energía hacia el relé K1, el cual permitirá el paso de energía hacia el relé interruptor – retardado de energía (T1), el tiempo de duración de este relé será de 10 minutos promedio permitiendo que el plástico pueda derretirse dentro del cilindro especial, pasado el tiempo programado se activará el switch T1 desplazando así el pistón hidráulico de cierre (solenoides Y3) (B+), cerrando así el molde donde se inyectará el plástico fundido, luego desplazando el pistón hidráulico de inyección (solenoides Y1) (A+), dando por completo la primera etapa de la inyección, dando así pase a la activación del segundo relé interruptor – retardado de energía (T2), los pistones permanecerán activos un promedio de 12 minutos para lograr el enfriamiento completo del plástico inyectado al molde, cumplido el tiempo se activará el switch T2, el cual permitirá el pase de la energía hacia el solenoide Y2 haciendo que el pistón de hidráulico de inyección regrese a su estado de reposo (A-) y posteriormente pasará la energía hacia el solenoide Y4, haciendo que el pistón hidráulico de cierre regrese a su estado de reposo (B-), mostrado en la figura 3.

Accionamos el pulsador de “STAR” (-S), dando arranque al motor (KM) y al encendido de las resistencias (KR). Por consiguiente, cuando los sensores de temperatura hallen la temperatura adecuada

mandarán la señal de que, dará paso a energizar la electroválvula del molde provocando su cierre (EVM). Luego empezará a llenar el inyector de plástico en grano (EVT-0) y este se comenzará a derretir. Después de un tiempo, ya habiéndose derretido el plástico, el pistón del inyector, este se accionará de manera que lo empujará hacia el molde (EVI-0), llenándolo así, y a la vez cerrado la cavidad inferior de la tolva para que no se desperdicie la materia prima (EVT-1). Ya habiendo llenado el molde totalmente, pasará un tiempo de enfriamiento, automáticamente el molde abrirá (EVI-1), cayendo así el molde de plástico listo en un recipiente de recojo. Al finalizar de todo esto, comenzará nuevamente el sistema de inyección por moldeo, cerrando el molde nuevamente y así comenzando un nuevo ciclo. Como adicional para detener el procedimiento se mantendrá accionado el pulsador de “STOP” (-S1), mostrado en la figura 4.

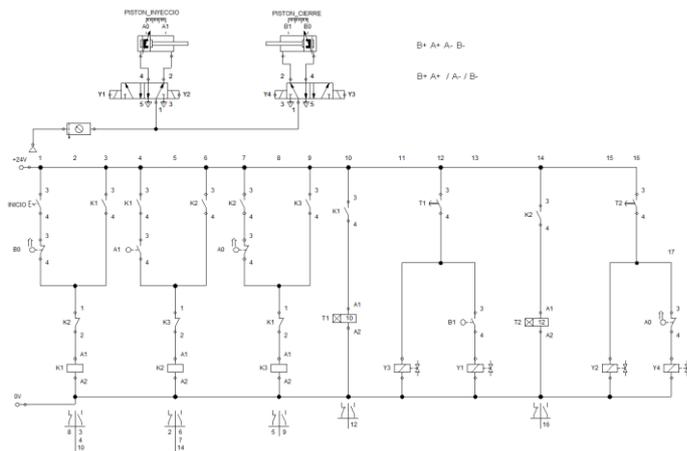


Figura 3. Automatización de circuito neumático mediante FluidSIM.

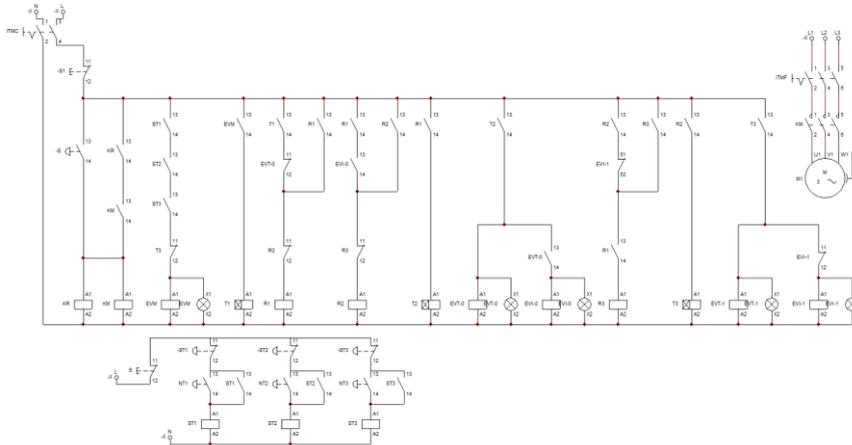


Figura 4. Automatización de circuito eléctrico mediante CAdE SIMU.

Resultados

Se trabajó con datos obtenidos de la recolección y pesaje de plástico que hace la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera en dicho distrito. El último mes de octubre, la MDVLH recolectó 7.5 toneladas de plástico.

Entonces: 7.5 toneladas = 7 500 kg de plástico (7 500 000 gramos). Tiempo de fundido = 20 kg por hora (60 minutos). Por regla de 3 simple tenemos de que 7 500 kg de plástico en teoría se fundirían en 375 horas.

$$x = \frac{7\,500}{20} = 375\,h$$

Además, una botella de plástico de medio litro tiene un peso aproximado de 9 gramos. Entonces,

teóricamente:

$$\frac{7\,500\,000\text{ g de plástico}}{9\text{ g por botella de plástico}} \approx 834\,000\text{ botellas}$$

Ahora, si 7 500 kg de plástico vendrían a ser aproximadamente 834 000 g botellas de plástico de medio litro, entonces en 20 kg habría 2 224 botellas.

$$x = \frac{834\,000\ (20\,000)}{7\,500\,000} = 2\,224\text{ botellas}$$

Acogiéndose a la realidad, el personal puede fundir 15 kg de plástico por hora. Entonces, en 15 kg de plástico se funden aproximadamente 1 668 botellas de desechos.

$$P.\text{ actual} = \frac{\text{unidades fundidas}}{\text{tiempo de fundición}}$$

$$P.\text{ actual} = \frac{1\,668\text{ botellas}}{60\text{ minutos}} \approx 28\text{ botellas de plástico fundidas/min}$$

Teniendo en cuenta los datos anteriores:

$$R.\text{ actual} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción teórica}}$$

$$R.\text{ actual} = \frac{1\,668\text{ botellas}}{2\,224\text{ botellas}}$$

$$R.\text{ actual} = 75\%$$

Como resultado, tenemos que la máquina funcionando de forma manual tiene un rendimiento actual del 75% de su capacidad real. Al automatizar el funcionamiento de la máquina, se eliminaron tiempos muertos que ralentizaban la producción como los descansos de los operarios y break. Esto ocasionaba que la producción aumente de 15 kg a 19,5 kg de plástico fundido por hora. Entonces, en 19,5 kg de plástico obtenemos aproximadamente 2 167 botellas de plástico de medio litro vacías:

$$P.\text{ actual} = \frac{\text{unidades fundidas}}{\text{tiempo de fundición}}$$

$$P.\text{ actual} = \frac{2\,167\text{ botellas}}{60\text{ minutos}} \approx 37\text{ botellas de plástico fundidas/min.}$$

Teniendo los datos obtenidos al automatizar la máquina podemos obtener lo siguiente:

$$R.\text{ actual} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción teórica}}$$

$$R.\text{ actual} = \frac{2\,167\text{ botellas}}{2\,224\text{ botellas}}$$

$$R.\text{ actual} = 97\%$$

Como resultado, tenemos que al automatizar la máquina esta alcanza un rendimiento del 97% de su capacidad real. Según la información que nos proporcionó la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera, cada 375 horas se funden 7 500 kg de plástico, además, se logró calcular que por cada 60 minutos se logra fundir 20 kg de plástico reciclado. También, la productividad aumentó gracias a la eliminación de tiempos muertos, ya que benefició en el tiempo de producción que pasó de 28 botellas fundidas a 37 botellas fundidas. Finalmente, se logró obtener el máximo rendimiento de la máquina fundidora gracias a la automatización realizada, la cual nos permitió un aumento de 22% de su capacidad real.

Discusión

Con nuestros resultados podemos afirmar que, aunque el tiempo de producción aumenta por haber eliminado el tiempo muerto, en la realidad de una empresa promedio puede ser variante el margen de

error por lo que de 28 botella fundida a 37 botellas crea un margen de error de 9 botella que la diferencia de producción en el denominado tiempo muerto. Según (Hidalgo, 2017) la principal ventaja de que la relación longitud diámetro (L/D) sea grande, es que, al proveer de un mayor recorrido entre la tolva y el molde, hace que el tiempo de residencia sea mayor, y por lo tanto permitirá que una mayor plastificación con menores temperaturas, lo que ayuda a disminuir el tiempo de ciclo, y por lo tanto permitirá el aumento de la productividad. Sin embargo, esta misma ventaja es su principal punto débil, ya que, al tener un tiempo de permanencia largo, algunos polímeros tienden a degradarse, lo que ocasiona una pérdida en las propiedades mecánicas de estos ocasionando un aumento del ciclo, bajando la productividad.

Conclusiones

El uso de los softwares FluidSIM, CADESIMU y SketchUp para diseñar y posteriormente realizar pruebas de funcionamiento de una inyectora de plástico automatizada, nos llevó a concluir que se da una mejora frente a una manual esto evidenciado en el rendimiento y la productividad las cuales pasarían de ser 75% y 28 botellas por minuto a ser de 97% y 37 botellas por minuto así que la inversión en aplicar esta mejora estaría completamente justificada ya que además de la mejora en rendimiento y productividad por reducir los tiempos muertos en los que los operarios descansaban o tenían break también mitigara la fatiga de estos en el trabajo, sin afectar negativamente la producción.

Referencias

- Álamo Cantarero, T. (2015). *Diseño del Controlador PID*. Sevilla-España: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
- Baldeón, P. & Orozco, J. (2016). *Automatización y puesta en marcha de una máquina inyectora de plástico para la empresa matricería y producción Edbor*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5161>.
- Beltrán, D. & Rosado, P. (2020). *Inyectora de plásticos de bajo coste*. [Tesis de maestría, Universitat Jaume I]. Repositorio institucional de la Universitat Jaume I. <http://hdl.handle.net/10234/189192>.
- Cañola Pino, J. É., & Espinosa Alzate, L. F. (2013). *Rediseño y modificación del sistema de control de máquina empastadora de libros*.
- Centeno J. & Jiménez V. (2010). *Manual consultivo de control neumático y electroneumático utilizando el software festo FluidSIM*. [Trabajo de Diploma, Universidad Técnica de COTOPAXI]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/604/1/T-UTC-1070.pdf>.
- Ferreira, A., & Fuentes, R. (2000). *Estudio Comparativo entre Control PID y Difuso*. XV SOMI Congreso de Instrumentación, CON-4, Guadalajara. Jal. México.
- Hidalgo, L., Imbaquingo, J. & Mideros, D. (2017). *Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente*. Enfoque UTE [en línea] Vol 8(5), p 89-102 [fecha de Consulta 16 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572261717009>.
- Navarrete Silva, A. E. (2014). *Sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclado*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3525>.
- Núñez, LL. & Carrillo, R. (2011). *Inyección de plástico en la empresa Halley Corporación, deficiencia en la producción en moldes pequeños, análisis y alternativa de solución*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/1605>.