

Diseño e Implementación de un Sistema Automático Compactador PET Utilizando Elementos Hidráulicos

Design and Implementation of an Automatic Compactor System for PET using Hydraulic Elements

Rolando Tipán^{1a}, Verónica Mora^{2b}, Edwin Altamirano^{2c}

¹Roltronic Technology, 180150, Ambato, Ecuador

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060150, Riobamba, Ecuador

Emails: ^arolo_762@hotmail.com, ^bveronica.mora@epoch.edu.ec, ^cedwin.altamirano@epoch.edu.ec

Resumen- El presente trabajo tuvo como objetivo general diseñar e implementar un sistema automático compactador PET utilizando sistema hidráulico. El sistema automático compactador se compone de la estructura del contenedor, el sistema electrónico y el sistema de control por software. El contenedor se encuentra construido de Tol galvanizado el cual muestra resistencia a agentes externos como el agua y la humedad logrando así precautelar la integridad de los sistemas electrónicos internos. El sistema electrónico está conformado por dos controladores, el controlador principal Arduino Uno se encarga de manejar la comunicación con las celdas de carga para luego enviar dicha información al controlador secundario Logo Siemens el cual desempeña las funciones de control de las electroválvulas hidráulicas debido que manejan señales de control de 24 Voltios, generando las acciones para la activación del cilindro hidráulico que compacta las botellas plásticas a una presión calibrada de 700 Newton, las botellas plásticas son compactadas previo un control de ingreso para evitar el ingreso de botellas de otro material. El sistema de control desarrollado en LabView cuenta con una interfaz amigable para el usuario, donde se desarrollan tareas de monitoreo y control en tiempo real del sistema automático. Con la compactación de botellas plásticas PET se logra reducir en un 58% el volumen de cada botella, disminuyendo así el volumen ocupado por residuos plásticos y facilitando el proceso de reciclaje de botellas plásticas. Concluyendo que la utilización de tecnología hidráulica en el sistema de compactación obtuvo un alto nivel de presión hidráulica constante en el cilindro, teniendo así una respuesta adecuada del sistema automático, al no generar fugas ni pérdidas de presión al momento de la compactación.

Palabras Clave- Arduino, Botellas plásticas, Celdas de carga, Compactador Automático, Hidráulica, LabView, Logo Siemens, PET, Sistema Automático

Abstract- The main purpose of this degree work was to design and implement an automatic system of polyethylene terephthalate compactor (PET) by using a hydraulic system. The automatic compactor system is formed by the container structure, the electronic system, and a control system by software. The container was constructed of galvanized steel showing resistance to external agents such as water and humidity, which protects the integrity of the internal electronic systems. The electronic system; was formed by two controllers: the main controller Arduino One; was programmed to handle communication with the load cells, and then, it sends this information to the Siemens Logo secondary controller. This secondary controller is programmed to the control of hydraulic solenoid valves since they handle control signals of 24 Volts,

by generating actions to the activation of the hydraulic cylinder that compacts the plastic bottles at a calibrated pressure of 700 Newton. The plastic bottles were compacted previously to their control to avoid the entrance of bottles of another material. The control system was developed in LabView where monitoring and control of the automatic system in real time were performed with a friendly interface for the user. The compaction of plastic bottles PET made possible to reduce the volume of each bottle by 58%, reducing the volume occupied by plastic waste, and facilitating the recycling process of plastic bottles. It is concluded that the use of hydraulic technology in the compaction system, generated a high level of constant hydraulic pressure in the cylinder, thus getting an appropriate response of the automatic system, since leaks or pressure losses at the time of compaction are not generated. It is recommended to incorporate a human machine interface (HMI) to the system enabling users to see the information generated by the system in real time.

Keywords- Arduino, Plastic Bottle, Load Cells, Automatic Compactor, Hydraulic, LabView, Logo Siemens, PET, Automatic System

I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la producción y el consumo de envases plásticos aumentado considerablemente convirtiéndose en un problema social de contaminación, ya que según el ministerio del ambiente, 270 millones de botellas plásticas no reciben un tratamiento adecuado después de ser utilizadas, Los centros de reciclaje realizan procesos manuales de separación, empaqueo y transporte hacia plantas de tratamiento lo que ocasiona una reducción en los espacios de almacenaje y aumentando los costos de transporte al no ser procesos tecnificados. [1]

Los centros de reciclaje principalmente realizan sus procesos en compactadoras mecánicas y manuales, requiriendo sistemas automáticos para el proceso de compactación desde el sitio que se genera la utilización de botella reduciendo gastos de transporte y de almacenaje hacia dichos centros.

El sistema automático compactador PET, realiza el proceso de compactación mediante tecnología hidráulica lo que mejora los niveles de compactación mediante cilindros al no tener pérdida de presión, además de contar con un sistema de control mediante una interfaz desarrollada en LabView que nos permitirá tener un monitoreo en tiempo real del proceso.

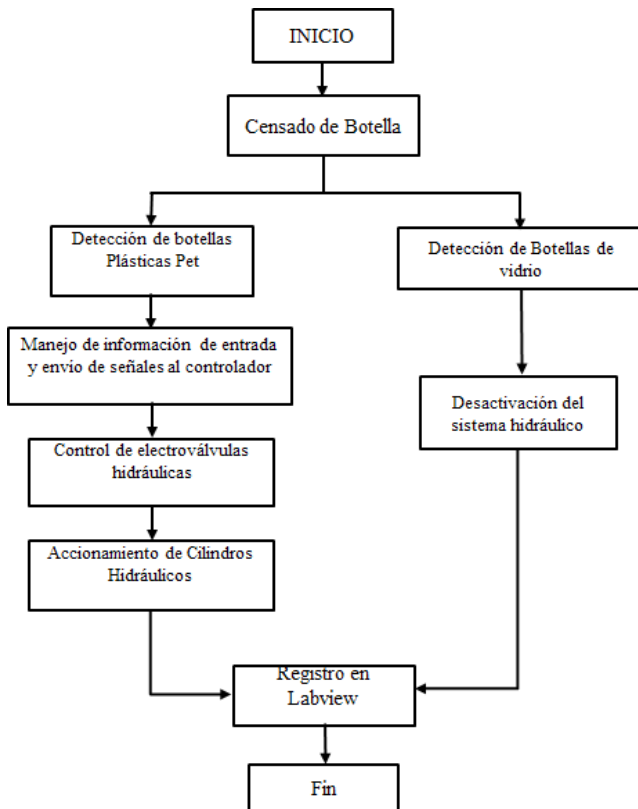


Fig. 1. Etapas de proceso de compactación.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de secuencia de Automatización del sistema de compactación fue necesario el uso de un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros [2].

A. Etapas del Proceso

El proceso general del sistema automático se compone de varias etapas mostradas en la Figura 1 y las cuales son descritas a continuación.

En la primera etapa se procederá con la utilización de sensores localizados en la parte inferior de la estructura del contenedor en este caso una celda de carga con un módulo amplificador; que nos permite conocer si existe el peso de una botella el cual puede ser reprogramado si existiera la necesidad, las botellas son ingresadas de forma manual al contenedor; en un futuro se le puede integrar una banda transportadora para el ingreso automático de las botellas a ser compactadas.

En la segunda etapa las celdas de cargas envían una alerta al controlador; determinando y diferenciando si son botellas plásticas, vidrio u otro material de acuerdo con el peso de estas para su posterior compactación o no, dependiendo de las características antes mencionadas.

En la tercera etapa la información generada, permite que el controlador mediante la programación establecida envíe se-

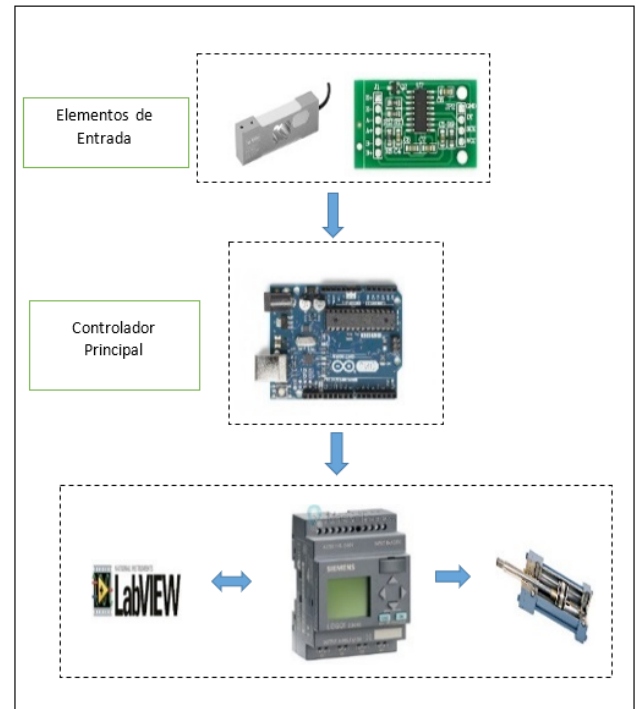


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema.

ñales de activación hacia las electroválvulas, las cuales en la tercera etapa permiten gracias al movimiento generado por los cilindros hidráulicos, la compactación de las botellas plásticas se lo realiza dentro del contenedor sobre una base liza de tol instalada sobre las celdas de carga para tener facilidad para empujar las botellas y posteriormente compactarse sobre la misma base.

En la cuarta y quinta etapa, después de realizar etapas anteriores los cilindros hidráulicos y electroválvulas se activan para realizar la compactación a una fuerza específica, realizando una compactación uniforme, después de realizar este proceso las botellas compactadas ingresan a un espacio específico en la parte inferior del contenedor donde se alojan las botellas compactadas, la capacidad de almacenamiento es de 33 botellas compactadas, llega a esa cantidad y le indica que el contenedor está lleno mediante una galga extensiométrica que pesa el total compactado.

Posteriormente en la sexta y última etapa la información registrada por todo el sistema será enviada a la interfaz desarrollada en LabView 2014 SP1, nos permite tener un registro de total de botellas compactadas desde un minuto hasta de meses para realizar posteriores estudios para mejorar el reciclaje mediante las normas del ministerio del ambiente [1].

B. Sistema Electrónico

En la Figura 2 podemos visualizar mediante un diagrama base de bloques todas las etapas del sistema en donde se observa los sensores necesarios para cumplir con los objetivos a desarrollar para luego el controlador encargarse de manejar dichas señales eléctricas y convertirlas en datos e información que será registrada y almacenada, a su vez generando las señales de control necesarias para la activación de los actuadores cilindros hidráulicos.

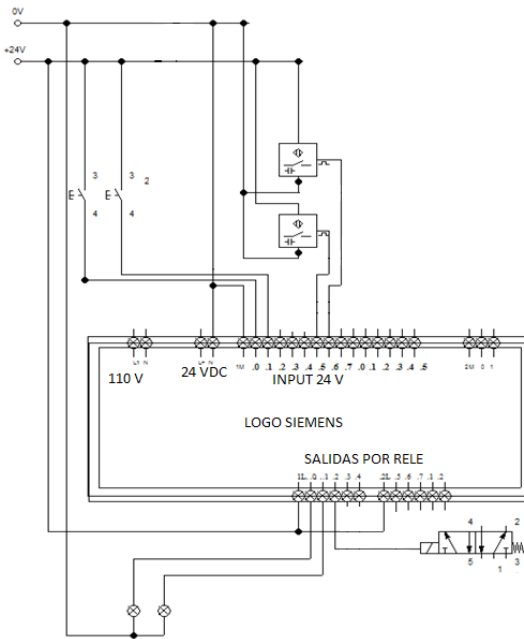


Fig. 3. Diagrama Electrónico del sistema.

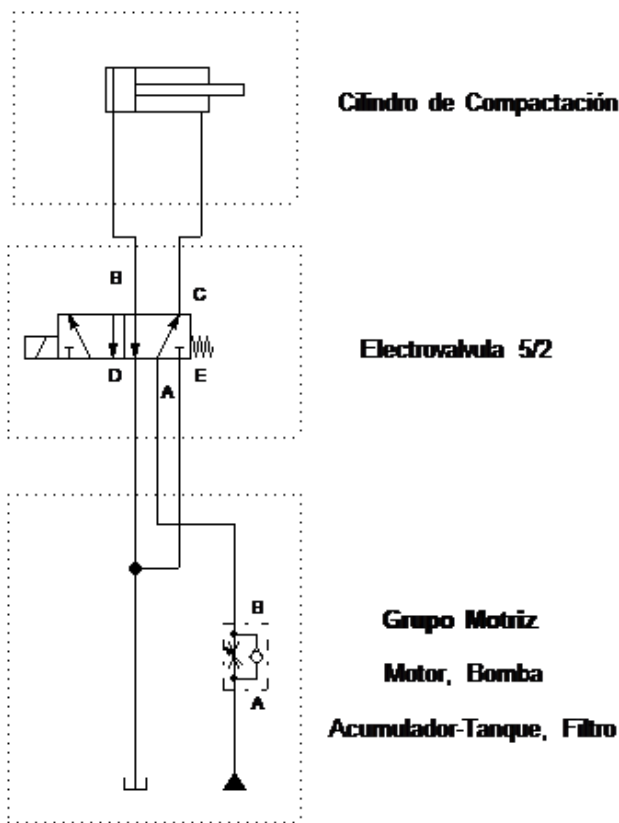


Fig. 4. Circuito Hidráulico.

C. Circuito Electrónico

En la Figura 3 podemos observar el diseño del sistema electrónico en cual se basa el sistema de control de compactación, mediante el circuito y el logo PLC SIEMENS con salida Ethernet se logró la calibración tanto del pistón hidráulico como de los sensores de peso y la presión necesaria para el proceso.

Tabla I.
ESTUDIOS PREVIOS DE COMPACTACIÓN MANUAL DE BOTELLAS

| Botella | Masa [Kg] | Fuerza Aplicada [N] | Reducción de Volumen [%] |
|---------|-----------|----------------------|--------------------------|
| Pequeña | 0.025 | 200-300 600-700 | 30 50 |
| Grande | 0.075 | 300-400 1100-1300 | 50 60 |

D. Circuito Hidráulico

El circuito hidráulico mostrado en la Figura 4 del sistema hidráulico fue desarrollado en el programa Fluidisim versión 2014 V4, Hidráulica V4 especializado en la simulación de sistemas hidráulicos previo a la implementación del sistema.

El sistema hidráulico de compresión de botellas consta de los siguientes elementos:

- Grupo Motriz: Motor, Bomba hidráulica, Acumulador, tanque, filtro.
- Válvula monoestable 5/2 activación por
- Relé 24 V.
- Cilindro hidráulico de 20 cm de recorrido.

E. Dimensionamiento de elementos hidráulicos

Para un correcto y óptimo funcionamiento del sistema hidráulico es necesario determinar el nivel de caudal que se requiere para mantener una presión constante en los actuadores hidráulicos presentes en el sistema.

Para realizar los cálculos necesarios se tuvo como base la información suministrada en la Tabla I, la misma que ha sido generada en un estudio previo de una maquina compactadora manual desarrollada en Perú [3]. Dicha máquina mostraba que el mayor nivel de compactación de botellas pequeñas se genera con máximo 700 N.

Entonces, la presión que debe ser generada por el sistema hidráulico puede ser calculado de la siguiente manera: Entonces, la presión que debe ser generada por el sistema hidráulico puede ser calculado de la siguiente manera:

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_f + \Delta P_v = 0.975 + 0.1 + 0.2 = 1.1 \text{ Bar}$$

donde:

- ΔP_t = pérdida de carga en la tubería
- ΔP_f = pérdidas del filtro de retorno
- ΔP_v = pérdidas válvula distribuidora

Teniendo la presión de trabajo total sumando la presión de trabajo sin pérdidas + presión de pérdidas:

$$P_t = \Delta P + p_l = 1.1 + 50.93 = 52.03 \text{ Bar}$$

Determinando que la bomba seleccionada de tamaño nominal 6.3 que produce 9.4 l/min satisface las necesidades de caudal y de presión de trabajo requeridas para el sistema

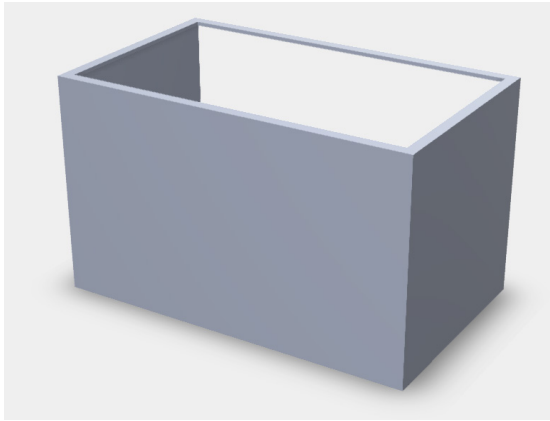


Fig. 5. Área donde se alojan las botellas después de su compactación

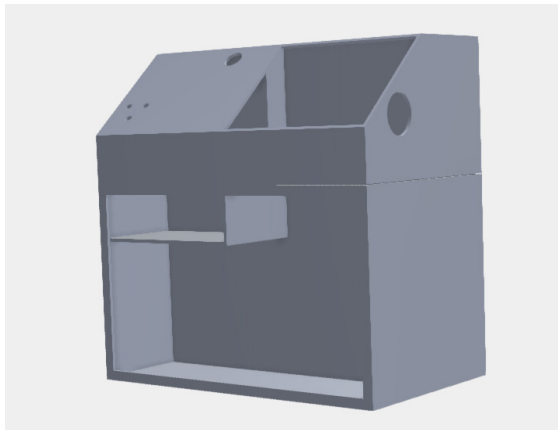


Fig. 6. Diseño estructural de contenedor.

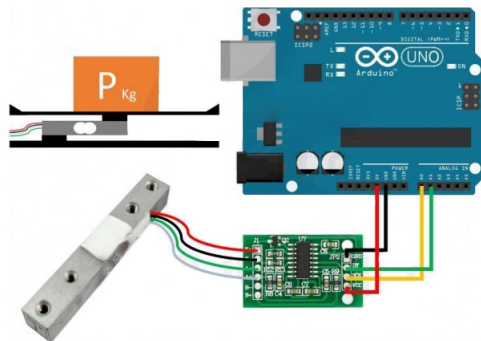


Fig. 7. Circuito electrónico de detección de peso.

F. Control de Peso

Para establecer el peso de las botellas dentro del contenedor se utiliza dos celdas de carga capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, esto la hace a través una o más galgas internas que posee dentro de su estructura esta señal es recibida por el controlador y el módulo Arduino UNO para su posterior lectura de sus datos.

En la Figura 5 podemos visualizar el circuito electrónico de sarrollado, el cual mediante el uso de un controlador como el Arduino UNO podemos manejar las señales de la celda de carga, sirviendo el módulo como una interface entre la celda y el controlador, este se encarga de convertir las lecturas analógicas a señales digitales con un conversor A/D interno de 24 bits para poder trabajar de mejor manera.



Fig. 8. Componentes mecánicos del contenedor terminado.



Fig. 9. Contenedor terminado y en funcionamiento.

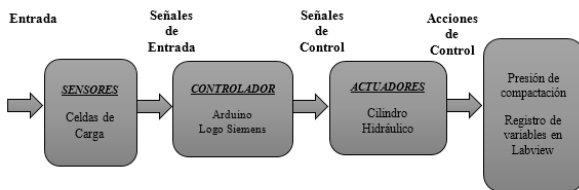
G. Diseño e Implementación del Sistema Mecánico

El contenedor es un elemento indispensable para depósito de las botellas plásticas PET, el diseño estructural se lo realiza en software CAD como SolidWorks 2010 SP3, que nos permite plantear el diseño adecuado y las características de construcción del contenedor [3]. El software resultó muy útil dado que por medio de la simulación permitió realizar cortes y piezas exactas para el montaje del compactador. Algunas de las vistas del contenedor obtenidas del software de diseño se muestran en las Figuras 6 y 7. Además, en las Figuras 8 y 9 se muestran las implementaciones finales del compactador de botellas PET.

Una vez realizado el diseño se obtienen así las características mostradas en la Tabla II las cuales fueron las dimensiones reales de construcción del sistema de compactación mostrado en la Figura 9. Se realizaron varias pruebas de funcionamiento en las que se realizó una recolección de datos para una evaluación más objetiva de la compactación, verificando que no haya errores en su operación.

Tabla II.
CARACTERÍSTICAS DEL COMPACTADOR IMPLEMENTADO

| Característica | Valor |
|----------------|---------------------|
| Área Inferior | 2.81 m ³ |
| Área Superior | 1.77 m ³ |
| Área total | 4.58 m ³ |
| Material | Tol Galvanizado |



69

Fig. 10. Etapas del sistema de control.

H. Sistema de Control

Mediante el estudio realizado de todos los elementos que componen el sistema de compactación PET, el sistema de control utilizado sobre el trabajo de implementación reportado sigue un enfoque de control a lazo abierto, permitiendo que las señales de salida de nuestro sistema no influirán en las acciones para el proceso de control, teniendo en cuenta que las señales de los sensores integrados sirven para control directo de los actuadores en el proceso [5]. Teniendo el esquema de sistema de control en la Figura 10.

I. Interfaz del sistema de compactación

La interfaz de control se lo realizó en LabView 2014 SP1 y puede ser observada en la Figura 11. Una vez que el sistema automático de compactación está encendido, la interfaz en el computador muestra un indicador verde encendido cuando se ingresa una botella plástica PET. Además de mostrar gráficamente en el momento en que el cilindro hidráulico está siendo activado, se presenta información detallada acerca del proceso de compactación que se está llevando a cabo.



Fig. 11. Interfaz del sistema

Tabla III.
RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPACTACIÓN

| Cantidad de Botellas | Peso Total (g) | Medición antes de compactación (cm ³) | Medición después de compactación (cm ³) |
|----------------------|----------------|---|---|
| 1 | 10 | 7.2 | 3 |
| 2 | 20 | 14.4 | 6 |
| 3 | 30 | 21.3 | 9 |
| 4 | 40 | 28.8 | 12 |
| 5 | 50 | 36 | 15 |
| 10 | 100 | 72 | 30 |



Fig. 12. Porcentaje de compactación de botellas PET con el sistema implementado.

III. RESULTADOS

Para establecer los tiempos de calibración del sistema para una correcta compactación se realizaron pruebas de funcionamiento, en donde al ingresar un tipo de botella aleatoria plástica PET el sistema procedía a compactarla y mediante observación se determinó el momento en que la botella se compacto, tomando el tiempo en que se activaba la electroválvula hasta su desactivación, mientras se lleva el proceso de compactación nos muestra en la interface la cantidad de botellas que se compacto estos datos son almacenados en una base de datos para su posterior análisis.

Como resultado de la compactación del sistema, se logró reducir la cantidad de espacio ocupado por las botellas plásticas PET. Para determinar la cantidad volumen que el sistema logra reducir al compactar las botellas plástica PET, se realizaron pruebas de ello con diferentes cantidades como se muestra en la Tabla III.

Como se puede observar en la Figura 12, la compactación de la botella plástica PET es casi en un 60% de su volumen inicial.

IV. CONCLUSIONES

Las normas que se utilizó para el análisis fueron normas del ministerio del ambiente para el manejo y uso de material PET [1]. La implementación del sistema automático PET en base a los requerimientos hidráulicos de presión, es capaz de compactar una botella plástica PET de 500 ml con la utilización de actuadores hidráulicos controlados por Arduino, además de contar con sensores de peso cuya información y la del sistema automático tiene una comunicación con LabView encargado del registro de los procesos realizados.

La estimación de volumen de residuos plásticos determinó que en el caso de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo el nivel de residuos generados semanalmente es de 1,06 m³, teniendo que el sistema automático de compactación PET tiene la capacidad compactar dicho volumen de botellas plásticas PET.

El diseño y el dimensionamiento del compactador de botellas plásticas PET en base al volumen por unidad de botella de 500 ml, redujo el nivel de presión requerido en la compactación ya que al tener un nivel bajo de volumen de botellas el compactador reduce el esfuerzo realizado en todo el sistema hidráulico y reduciendo el tiempo requerido de compactación.

En base a las pruebas experimentales realizadas de compactación, se asegura una presión de compactación adecuada y calibrada para botellas plásticas PET de 500 ml, logrando así un volumen mínimo de compactado por cada botella. Reduciendo en nivel de volumen por cada botella del 60%.

Se comprobó que el sistema de medición de peso no presenta variaciones con respecto al valor real de cada una de las botellas, teniendo un sistema de selección efectiva al momento del ingreso de cada una, previo al proceso de compactación, evitando así el ingreso de botellas de otro tipo de dimensiones y de material.

Con la utilización de la tecnología hidráulica en el sistema de compactación de botellas plásticas, se obtuvo un alto nivel de presión hidráulica constante en cilindro, teniendo así una respuesta adecuada del sistema automático, al no generar fugas ni pérdidas de presión al momento de la compactación de la botella.

REFERENCIAS

- [1] MINISTERIO DE AMBIENTE. Ecuador incrementó la recolección de Botellas PET. (En línea).2012. (Consulta: 10 de agosto 2017). Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-incremento-la-recoleccion-de-botellas-pet-en-2012/>
- [2] GARCÍA, E. Automatización de Procesos Industriales (1a edición). México: Alfaomega. (2002).
- [3] LOMBARD, M. SolidWorks 2010 Bible. (1a edición). Indianapolis: Wiley Publishing. (2010).
- [4] PATIÑO, A. Diseño y construcción de una máquina Compactadora manual de botellas de Plástico Pet. [Tesis Pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. (2013). Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4501>.
- [5] OGATA, K. Ingeniería de Control Moderna. (5a edición). Madrid-España: PEARSON. (2010).
- [6] <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-incremento-la-recoleccion-de-botellas-pet-en-2012/>.(1)