



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO COMPACTADOR PET UTILIZANDO
SISTEMA HIDRAÚLICO."

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: TIPAN TISALEMA ROLANDO FABIÁN

TUTORA: ING. VERÓNICA MORA.

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Rolando Fabián Tipán Tisalema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo a la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO COMPACTADOR PET UTILIZANDO SISTEMA HIDRÁULICO. De responsabilidad del señor Rolando Fabián Tipán Tisalema, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna. E DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA	-----	-----
Ing. Freddy Chávez. V DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	-----	-----
Ing. Verónica Mora. Ch DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
Ing. Edwin Altamirano. S MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----

RESPONSABILIDAD DEL AUTOR

Yo, Rolando Fabián Tipán Tisalema soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Rolando Fabián Tipán Tisalema

DEDICATORIA

A mis padres quienes siempre me brindaron su apoyo incondicionalmente y creyeron en mí, teniendo en mi madre palabras de apoyo y siendo el pilar fundamental de mi vida académica y personal.

Rolando

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de obtener un título profesional para servicio de la sociedad y el país.

A la Facultad de Informática y Electrónica por permitirme desarrollar mi Trabajo de Titulación, adquiriendo conocimientos prácticos y experiencias para alcanzar nuestras metas propuestas.

Rolando

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
A	Amperios
AC	Corriente alterna
AWG	American wire gauge
cm	Centímetro
CPU	Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento)
DC	Corriente directa
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
g	Gramo
KHz	Kilohercio
M	Metro
mA	Miliamperios
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mV	Milivoltio
MHz	Megahercio
Mpa	Mega pascal
OPC	OLE for Process Control
N	Newton
PED	Polietileno tereftalato
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
Psi	Pounds-force per square inch (libra-fuerza por pulgada cuadrada)
USB	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
V	Voltios
VDC	Voltaje de corriente directa
VAC	Voltaje de corriente alterna
W	Watt o vatio

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
PORTADA	
DERECHO DE AUTOR	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE FORMULAS	xii
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	3

CAPITULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
1.1.	Plástico	10
1.2.	Reciclaje	13
1.2.1.	<i>Proceso de reciclaje de los plásticos</i>	13
1.3.	Compactadoras	15
1.3.1.	<i>Compactadoras Mecánicas</i>	15
1.3.2.	<i>Compactadoras hidráulicas manuales</i>	15
1.3.3.	Compactadoras hidráulicas automáticas.	15
1.4.	Hidráulica	16
1.4.1.	<i>Sistemas Hidráulicos</i>	16
1.4.2.	<i>Sistemas Neumáticos</i>	17

1.4.3.	<i>Cilindros o actuadores hidráulicos</i>	18
1.4.4.	<i>Tipos de actuadores hidráulicos</i>	19
1.4.5.	<i>Bombas Hidráulicas</i>	21
1.4.6.	<i>Motor hidráulico</i>	22
1.4.7.	<i>Depósito hidráulico</i>	22
1.5.	Sistema Electrónico	23
1.6.	Automatización Industrial	23
1.7.	Sensores	24
1.7.1.	<i>Sensores de presión</i>	25
1.8.	Tableros de control	25
1.9.	Control Automático	26
1.9.1.	<i>Sistema de control de lazo abierto</i>	27
1.9.2.	<i>Sistema de control de lazo cerrado</i>	27

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	28
2.1.	Estimación de volumen de residuos de botellas platicas Pet	28
2.1.1.	<i>Producción y consumo de Plásticos Pet</i>	28
2.1.2.	<i>Lugar de Estudio</i>	29
2.2.	Estimación de uso de botellas en la ESPOCH	30
2.2.1.	<i>Características de Botellas Pet</i>	31
2.2.2.	<i>Estimación del volumen de botellas Pet</i>	32
2.3.	Diseño del sistema automático compactador Pet	33
2.3.1.	<i>Etapas del proceso</i>	33
2.3.2.	<i>Diseño del sistema Electrónico</i>	34
2.3.3.	<i>Selección de Sensores</i>	38
2.3.4.	<i>Selección del Controlador primario</i>	40
2.3.5.	<i>Selección del Controlador secundario</i>	42
2.4.	Diseño del Sistema Hidráulico	44
2.4.1.	<i>Diseño del Circuito Hidráulico</i>	45
2.4.2.	<i>Selección del Cilindro Hidráulico</i>	46
2.4.3.	<i>Dimensionamiento de elementos hidráulicos</i>	48
2.4.4.	<i>Electroválvulas hidráulicas</i>	53

2.5.	Diseño del contenedor	55
2.5.1.	Programación del sistema de compactación automático	62
2.6.	Sistema de control.....	68

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	69
3.1.	Pruebas de sensado de botellas plásticas Pet.....	69
3.2.	Pruebas del Sistema Automático de Compactación Pet.....	71
3.2.1.	<i>Presión en el cilindro hidráulico</i>	73
3.3.	Nivel de compactación.....	74
3.4.	Pruebas del sistema automático en Labview.....	75
3.4.1.	<i>Interfaz del Sistema</i>	76
3.4.2.	<i>Funcionamiento de la interfaz del sistema compactador</i>	76
3.5.	Análisis económico del Sistema de Compactación.....	77

CONCLUSIONES.....	90
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	91
----------------------	----

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Propiedades del Pet.....	12
Tabla 2-1. Ventajas y Desventaja de Sistemas Hidráulicos	17
Tabla 3-1. Ventajas y Desventaja de Sistemas Neumáticos.....	18
Tabla 4-1. Tipos de cilindros hidráulicos.....	19
Tabla 5-1. Dimensiones Nominales	26
Tabla 1-2. Características de botellas 500 ml	31
Tabla 2-2. Símbolos del sistema Electrónico	36
Tabla 3-2. Comparación de módulos transmisores de señal	38
Tabla 4-2. Especificaciones Técnicas Modulo HX711	39
Tabla 5-2. Requerimientos de entradas al controlador.....	40
Tabla 6-2. Requerimientos de salidas del controlador	40
Tabla 7-2. Comparación de Controladores arduino	41
Tabla 8-2. Características del Arduino Uno.....	41
Tabla 9-2. Comparación de controlador secundario	42
Tabla 10-2. Características de Siemens Logo	43
Tabla 11-2. Comparación de sistemas Neumáticos e Hidráulicos	45
Tabla 12-2. Comparación de cilindros hidráulicos	47
Tabla 13-2. Información técnica del cilindro	48
Tabla 14-2. Estudios previos de compactación manual de botellas	49
Tabla 15-2. Comparación de electroválvulas hidráulicas	54
Tabla 16-2. Datos técnicos de Electroválvulas	55
Tabla 17-2. Se muestra una Comparación de software de diseño CAD	56
Tabla 18-2. Dimensiones finales del contenedor	59
Tabla 1-3. Tipos de Botellas Plásticas Pet	69
Tabla 2-3. Pruebas de peso del sistema Automático.....	70
Tabla 3-3. Mensajes de identificación de botellas	71
Tabla 4-3. Pruebas de tiempo de compactación	72
Tabla 5-3. Tabla de Frecuencias	73
Tabla 6-3. Pruebas de compactación.....	74
Tabla 7-3. Costos de desarrollo e ingeniería	77
Tabla 8-3. Costo Económico del sistema	78
Tabla 9-3. Costo total del sistema	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Polímeros de plástico	10
Figura 2-1. Tipos de Plásticos.....	12
Figura 3-1. Compactadora Hidráulica Manual.....	15
Figura 4-1. Compactador hidráulica Automática.....	16
Figura 5-1. Cilindro Simple Efecto.....	20
Figura 6-1. Cilindro Doble Efecto	21
Figura 7-1. Bomba hidráulica	22
Figura 8-1. Motor Hidráulico.....	22
Figura 9-1. Tanque Hidráulico.....	23
Figura 1-2. Producción global de botellas plásticas Pet.....	29
Figura 2-2. Consumo de botellas por contenido	30
Figura 3-2. Botella de 500 ml	31
Figura 4-2. Etapas del proceso.....	33
Figura 5-2. Diagrama Electrónico del sistema de compactación.....	35
Figura 6-2. Diagrama de bloques del sistema	37
Figura 7-2. Módulo HX711	39
Figura 8-2. Circuito Electrónico de peso.	40
Figura 9-2. Siemens Logo 230Rc	43
Figura 10-2. Elementos básicos de un sistema hidráulico	44
Figura 11-2. Circuito Hidráulico.....	46
Figura 12-2. Cilindro Hidráulico	48
Figura 13-2. Datos nominales de Bombas	51
Figura 14-2. Electroválvula hidráulica.....	55
Figura 15-2. Diseño Estructural de contenedor.....	57
Figura 16-2. Área de compactación	59
Figura 17-2. Área superior	60
Figura 18-2. Estructura del compactador	60
Figura 19-2. Estructura final del contenedor.....	61
Figura 20-2. Vista lateral del contenedor	61
Figura 21-2. Programación Ladder Logo Siemens Parte 1	63
Figura 22-2. Programación Ladder Logo Siemens Parte 2	64
Figura 23-2. Configuración OPC Client	66
Figura 24-2. Variables en el Servidor OPC	66
Figura 25-2. Programación del sistema de control y monitoreo en Labview	67
Figura 26-2. Sistema de control de lazo abierto.....	68
Figura 1-3. Frecuencia relativa-tiempos de compactación	73
Figura 2-3. Presión de trabajo del cilindro hidráulico.....	74
Figura 3-3. Porcentaje de compactación por botella	75
Figura 4-3. Botella compactada	75
Figura 5-3. Pantalla de control del sistema de compactación	76
Figura 6-3. Pantalla de Funcionamiento del sistema	77

ÍNDICE DE FORMULAS

Ecuación 1-2. Volumen cilíndrico de botella Pet.....	32
Ecuación 2-2. Radio de la botella.....	32
Ecuación 3-2. Volumen de la base	32
Ecuación 4-2. Volumen de la tapa	32
Ecuación 2-5. Velocidad media del vástago	49
Ecuación 2-6. Caudal del cilindro	50
Ecuación 2-7. Presión de trabajo sin pérdidas.....	50
Ecuación 8-2. Velocidad de fluido en la tubería	51
Ecuación 9-2. Velocidad en tuberías.....	51
Ecuación 10-2. Numero de Reynolds	52
Ecuación 11-2. Coeficiente de rozamiento	52
Ecuación 12-2. Perdidas del sistema	52
Ecuación 13-2. Presión de trabajo Total	53
Ecuación 14-2. Perímetro lateral superior.....	57
Ecuación 15-2. Área lateral superior.....	57
Ecuación 16-2. Área superior Total	57
Ecuación 17-2. Área de la base	58
Ecuación 18-2. Área lateral inferior.....	58
Ecuación 19-2. Área Total	58
Ecuación 1-3. Nivel de compactación.....	74

INDICE DE ANEXOS

Anexo A	Encuesta
Anexo B	Resultados gráficos de la encuesta
Anexo C	Datasheet Cilindro Hidráulico
Anexo D	Datasheet Electroválvula Neumática 5/2
Anexo E	Diagrama General del Sistema

RESUMEN

El trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema automático compactador de teraftalato de polietileno (PET) utilizando sistema hidráulico. El sistema automático compactador se compone de la estructura del contenedor, sistema electrónico y sistema de control por software. El contenedor se construyó de tol galvanizado el cual muestra resistencia a agentes externos como el agua, humedad logrando precautelar la integridad de los sistemas electrónicos internos, el sistema electrónico fue conformado por dos controladores, el controlador principal Arduino Uno se programó para manejar la comunicación con las celdas de carga para luego enviar dicha información al controlador secundario Logo Siemens, el cual fue programado para el control de electroválvulas hidráulicas debido a 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 fueron compactadas previo un control, para evitar el ingreso de botellas de otro material. El sistema de control fue desarrollado en Labview con un interfaz amigable para el usuario, donde se desarrollaron tareas de monitoreo y control en tiempo real del sistema automático. Con la compactación de botellas plásticas Pet se logró reducir un 58% el volumen de cada botella, disminuyendo 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; recomendando incorporar una interfaz hombre máquina (HMI) al sistema, la cual muestre la información que genera el sistema en tiempo real hacia los usuarios.

PALABARAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>, <COMPACTADOR DE BOTELLAS PLÁSTICAS>. <CELDA DE CARGA>, <LOGO SIEMENS>, <TERAFTALATO DE POLIETILENO (PET)>.

SUMMARY

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 in order 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: < TECHNOLOGY AND SCIENCES ENGINEERING >, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <AUTOMATION OF INDUSTRIAL PROCESSES>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>, <PLASTIC BOTTLE COMPACTOR>. <LOAD CELLS>, <SIEMENS LOGO>, <POLYETHYLENE (PET)TEREPHTHALATE>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el reciclaje es un tema de vital importancia en el mundo debido a la contaminación que generan los desperdicios plásticos, papel, vidrio entre otros, el interés que se genera al reciclaje de botellas plásticas Pet es debido a que es uno de los materiales más utilizados en la industria alimenticia y de mayor consumo.

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.

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.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ANTECEDENTES

Un compactador es una máquina o mecanismo que se utiliza para reducir el tamaño del material de desecho o del suelo a través de la compactación. Un compactador de la basura es utilizado en los hogares y en las empresas para reducir el volumen de la basura, Normalmente funciona con el sistema hidráulico, los compactadores pueden tomar muchas formas y tamaños.

Los sistemas automáticos compactadores PET fueron creados en Estados Unidos, y fue en el año 1920 y a finales 1950 en donde se evoluciona la construcción de este tipo de sistemas, posteriormente se crea la primera patente de Reserve Vending Machine fue en EEUU en el año la primera máquina autónoma de compactación de botellas fue inventada y fabricado por Wicanders en Suecia.

Fue desde 1969 en donde inicia la manufactura y el diseño de mejores y renovados sistemas automáticos compactadores, En Europa una empresa española fue la primera en fabricar una maquina compactador. Estos compactadores, normalmente vienen con una operación eléctrica e hidráulica, y con muchas configuraciones de carga. (García, 2011)

México es el país líder en América en la recuperación de residuos de envases de PET y líder mundial en reciclaje botella a botella grado alimenticio. En los últimos 12 años, México ha acopiado más de 2 millones de toneladas de envases de PET post consumo. De lo acopiado, 38% se queda en México y se utiliza en las plantas de reciclado de PET, Dichas plantas tienen una capacidad instalada de consumo de 208 mil toneladas por año y una inversión de más de 262 millones de dólares.(Crónica Ambiental,2017)

En continentes como Europa y Asia el espacio consumido por botellas plásticas es sumamente alto, ya que es un producto muy utilizado sobretodo en bebidas de consumo, Un botella tarda unos 700 años en descomponerse, teniendo que el 90% del costo del agua embotellada es por el envase plástico. El 80% de las botellas no se reciclan y millones van cada año a la basura. (Bottled wáter, 2010)

En el mismo sentido en Ecuador en el Gobierno Municipal del Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago el sistema integral de residuos inorgánicos con mayor proporción de plásticos

PET, tiene un área de 50 m² que proporcionan diferentes formas de la recolección de los desechos. En suma tiene un costo de 12708.88 USD.

La realización de este trabajo es una respuesta a la desinformación que existe en la comunidad escolar de los centros educativos de cobertura del Ilustre Municipio de Riobamba en esta temática, originada principalmente por el desconocimiento en los niños y niñas a los procedimientos para recolectar y eliminar las botellas plásticas que ocupan un volumen considerable, en la actualidad en la ciudad de Riobamba se calcula que 10000 botellas plásticas son utilizadas en el consumo de bebidas al día. De las cuales el 60 % son arrojadas en la calle ocupando un volumen considerable y produciendo contaminación.

Desde esta perspectiva, los materiales PET se convierten de residuos mal utilizados en recursos capaces de mejorar los niveles culturales, económicos, sociales y la calidad de vida de los niños y niñas de Riobamba. Existen varios sistemas compactadores creados en todo el mundo, por ejemplo en Perú se diseñó un Sistema electromecánico compactador de botellas. Benjamín Barriga desarrolló una maquina con un sistema de compactación la cual usa dos rodillos con púas para perforar y compactar la botellas, la transmisión de fuerza es mediante cadena con un motor reductor.

En la actualidad vivimos en un mundo globalizado que directa o indirectamente ocasiona un impacto ambiental a nuestro planeta debido a la producción en masa de alimentos consumibles, por ello nuestros gobernantes están creando conciencia en el reciclaje de todo tipo de desechos, para evitar la contaminación del medio ambiente con buenas prácticas, leyes e incentivos para el reciclaje.

En el futuro los sistemas de compactación tendrán gran acogida, teniendo estos una proyección de que en de cada 10 familias en el mundo 4 o 5 familias tendrán a disposición un sistema en sus hogares. Por el efecto del cambio climático y tratando siempre de cuidar el medio ambiente, los sistemas compactadores o recicladores en un futuro funcionaran con energía limpia es decir con paneles solares ya que estos funcionan como sistemas autónomos, siendo también manipulados por medio de nuestros dispositivos móviles .

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- 1) ¿Es posible realizar una selección efectiva del proceso de ingreso de botellas plásticas PET?
- 2) ¿Qué elementos electrónicos eléctricos y mecánicos son necesarios para construir el sistema Compactador de Botellas Plásticas PET?
- 3) ¿Es posible adecuar un sistema hidráulico en el sistema de compactado de botellas PET automático, frente a un compactado manual?
- 4) ¿Cómo ayudará en la reducción de contaminación del medio ambiente el sistema automático compactador de botellas PET?

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

El presente proyecto técnico tiene su base de investigación en el Diseño realizado en México el cual se comenzó a utilizar para la fabricación de Máquinas Compactadoras PET, dicho estudio fue desarrollado por "MIGUEL BERNARD" , tesista del INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

El sistema constaba de cuatro etapas: El análisis de los requerimientos de la compactadora automática, funcionalidad y aplicación. La determinación de los elementos necesarios para lograr que el sistema tenga cierto nivel de inteligencia. La implementación del estudio realizado y dimensionamiento definido en función de los requerimientos y la evaluación de los resultados obtenidos se valoran mediante un análisis del cumplimiento de los objetivos.

Son muchos los aspectos críticos del sistema, de allí la importancia del reciclaje encargado de brindar un correcto y buen uso a estos residuos plásticos, los mismos que son utilizados para diferentes aplicaciones. Creando una correcta imagen y buena cultura al momento de reciclaje en los estudiantes, docentes y empleados de la FIE para disminuir el riesgo de contaminación del ambiente.

La implementación del sistema automático de compactación tiene como partes fundamentales la aplicación de la tecnología hidráulica, electrónica, sensores y además de la utilización de herramientas Informáticas.

Con la utilización de la Hidráulica en el trabajo de titulación se logra un alto grado de automatización simplificando la utilización de máquinas eléctricas, teniendo movimientos sencillos y a la vez logrando economizar los costos del sistema, para el proceso de compactación de las botellas plásticas Pet.

Los controladores Logo Siemens y arduino se caracterizan porque pueden ser programados para controlar cualquier tipo de proceso. Permittiéndonos la entrada, el control y generar señales hacia los actuadores, Además de poder ser reprogramados, son automáticos, es decir son aparatos que comparan las señales emitidas por la máquina controlada y toman decisiones en base a las instrucciones programadas, para mantener estable la operación de dicha máquina (Prieto, 2007).

La variedad de sensores en el mercado en nuestro caso las celdas de carga, nos permiten convertir variaciones del tipo mecánico, físico en señales del tipo eléctrico que serán utilizadas para el accionamiento de los actuadores mediante el controlador.

El sistema desarrollado en Labview es una aplicación de software que nos permite la supervisión, adquisición de datos y control del proceso de compactación, permitiendo la comunicación entre los dispositivos como el controlador y los sensores, mostrando el estado de estos dispositivos en la pantalla del ordenador.

El sistema automático compactador PET, permitirá el ingreso de un solo tipo de botella de 500 ml, la cual ha sido establecida mediante la encuesta realizada en el trabajo de titulación, en donde como resultado de dicha encuesta se determina que el envase plástico de mayor utilización en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo es la botella de 500ml ocupada en envases de bebidas.

Justificación aplicativa

El desarrollo del proyecto de titulación reduce el volumen de botellas plásticas, mediante la construcción de un sistema hidráulico de compactación de botellas plásticas PET. Teniendo en cuenta que el sistema de compactación no requiere de la presencia de un operario o el

mantenimiento constante, el proceso de reciclaje será de mejor calidad, optimizando tiempo y recursos económicos.

Las etapas que tendrá el compactador PET son las siguientes:

- Etapa de detección de botellas.
- Inicio del proceso de compactación.
- Activación del sistema.
- Compactación de botellas

La primera etapa de detección de botellas se la realiza mediante sensores localizados en la parte inferior de la estructura del contenedor en este caso dos celdas de carga con un módulo amplificador que nos permite conocer si existe el peso determinado de botella para la compactación, el cual puede ser reprogramado si existiera la necesidad.

En la segunda etapa del proceso, la información generada por los sensores permite que el controlador mediante la programación establecida envíe señales de activación hacia las electroválvulas, las cuales en la tercera etapa permiten mediante el movimiento generado por los cilindros hidráulicos generar la compactación de las botellas plásticas dentro del contenedor.

El funcionamiento del sistema hidráulico permite que una bomba se encargue de producir presión continuamente mediante la utilización del aceite, recorriendo una red de tuberías que forman un circuito conectándose con los actuadores del sistema, dicho aceite retorna a un tanque hidráulico para generar un nuevo ciclo de compactación.

Por lo que se puede inferir que el conocimiento del funcionamiento mecánico y electrónico de los sistemas que utilizan la hidráulica como medio de transmisión de potencia, fue de vital importancia para la construcción de la compactadora PET y la implementación de sus sistemas electrónicos.

Con la implementación del sistema Automático compactador de botellas PET se pretende dar solución al reconocimiento del tipo de material, mediante la identificación del peso de la botella diferenciando el tipo de composición plástico o vidrio. El sistema notifica el tipo del material de la botella, al tener el caso de ser vidrio el sistema por medio de una alerta impide que el proceso se ejecute, evitando daños a los usuarios y al sistema.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema automático compactador PET utilizando sistema hidráulico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar el volumen de residuos de botellas plásticas PET para su posterior compactación.
- Diseñar y Dimensionar el compactador de botellas plásticas PET de acuerdo al volumen.
- Realizar las pruebas experimentales del sistema de compactación de botellas PET.
- Utilizar tecnología hidráulica para aprovechar la presión en el fluido para el empuje del pistón en la compactación de botellas plásticas.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Plástico

El plástico es un material el cual da mediante la unión química de polímeros que son proporcionados por la industria petroquímica, el tamaño y la estructura de cada molécula determinan las propiedades de los distintos tipos de plásticos que se utilizan en la vida diaria.

Dependiendo de cada tipo de plástico a este se le asigna un código de identificación, siendo este un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial para distinguir la composición de resinas en los envases y otros productos plásticos. Dicho sistema fue realizado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en el año 1988, con el fin de propiciar y dar más eficiencia al reciclaje.

Los diferentes tipos de plástico tienen una identificación con un número del 1 al 7 el cual está ubicado en el interior con el signo de reciclado (triángulo de flechas en seguimiento). En la **Figura 2-1** podemos observar la guía de reciclaje en donde se indica el tipo de plástico y ciertas características con ejemplos. (La Clasificación de los Plásticos - ElBlogVerde.com)



Figura 1-1. Polímeros de plástico

Fuente: <http://cdn3.computerhoy.com/sites/computerhoyfiles/styles/fullcontent/public/novedades/plastico-reciclado.jpg>

El plástico es un compuesto que se puede moldear mediante la presión o el calor y que se obtiene a través de un proceso de polimerización de resinas y sustancias obtenidas del petróleo y otros materiales.

Una de las primeras sustancias denominadas como plástico fue producida en el año 1860, pero no fue hasta principios del siglo XX, sobre todo a partir de la segunda década, cuando se extendería su estudio, y con él, su aplicación industrial. Dando lugar también a distintas variedades de plásticos, atendiendo a su composición, uso, propiedades y el método de fabricación.

Tipos de Plásticos

- 1. PET (Polietileno tereftalato): El PET utilizado en la producción de botellas para bebidas. A través del proceso de reciclado se puede obtener fibras para relleno de bolsas de dormir, alfombras, cuerdas y almohadas entre otros.
- 2. HDPE (Polietileno de alta densidad): El HDPE se lo utiliza para envases de leche, detergente, aceite para motor etc. El HDPE después del proceso de reciclado se lo utiliza para la elaboración de macetas, contenedores de basura y botellas de detergente.
- 3. PVC (Cloruro de polivinilo): El PVC es utilizado en botellas de champú, envases de aceite de cocina, artículos de servicio para casas de comida rápida, etc. El PVC después del proceso de reciclado se lo utiliza para la elaboración de tubos de drenaje e irrigación.
- 4. LDPE (Polietileno de baja densidad): El LDPE se encuentra en bolsas de supermercado, de pan, plástico para envolver. El LDPE después del proceso de reciclado se lo utiliza para la elaboración de bolsas de supermercado nuevamente.
- 5. PP (Polipropileno): El PP se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, sorbetes, tapas de botella, etc. El PP después del proceso de reciclado se lo utiliza para la elaboración de viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos.
- 6. PS (Poliestireno): El PS se encuentra en tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico, cajas de cintas para casetes y macetas.
- 7. OTROS: Indica que es una mezcla de varios tipos plásticos. Algunos de los productos de este tipo de plástico son: botellas de ketchup, platos para hornos de microondas, etc. Estos plásticos no se reciclan porque no se sabe con certeza qué tipo de resinas contienen.



Figura 2-1. Tipos de Plásticos

Fuente: <http://elblogverde.com/wp-content/uploads/2011/01/tipos-de-plasticos.jpg>

PET

El PET es un poliéster aromático. Su denominación técnica es polietilén tereftalato o politereftalato de etileno y forma parte del grupo de los termoplásticos, razón por la cual es posible reciclarlo.

El PET se caracteriza por su alto nivel de pureza, alta resistencia y tenacidad. Además de presentar propiedades de transparencia y resistencia química. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería. (Tecnología de los plásticos, 2011)

En la **Tabla 1-1** podemos observar las características principales del plástico Pet los cuales sirven como valores de referencia para la elaboración del trabajo de titulación.

Tabla 1-1. Propiedades del Pet

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ /°C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento

Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Realizado por: Rolando Tipán.2017

Fuente: Industria del Plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard.

1.2. Reciclaje

Se puede establecer al reciclaje como un proceso que consiste en someter una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima y a su vez la posibilidad de elaborar un nuevo producto. (El reciclaje en la sociedad actual, 2010)

1.2.1. *Proceso de reciclaje de los plásticos*

Existen distintos procesos de reciclaje en función de los distintos tipos de plásticos que se utilicen. Los métodos principales y más utilizados de reciclaje son los siguientes:

- **Reciclaje mecánico**

EL reciclaje mecánico consiste en cortar las piezas de plástico en pequeñas partículas para posteriormente tratarlas. Todos los procesos de reciclaje mecánico comienzan con las siguientes etapas:

Limpieza: una vez que los plásticos recuperados llegan a la empresa donde se van a tratar lo primero es acondicionarlos para obtener una materia prima adecuada, sin suciedad o sustancias que puedan dañar tanto a las máquinas como al producto final
Clasificación: se deben separar los distintos tipos de plásticos antes de transformarlos, sobre todo en el caso de los que provienen de la industria.

Trituración: esta fase se lleva a cabo cuando los materiales no han sido triturados anteriormente o porque el tamaño de grano no es el adecuado.

Lavado: en tanques o cubas de gran tamaño se lavan los granos de plástico para eliminar cualquier tipo de suciedad o impureza.

- **Reciclaje Químico**

El reciclaje Químico se basa en degradar los diferentes tipos de plásticos, mediante calor o con catalizadores, hasta llegar al punto que se rompan las macromoléculas dejándolas en moléculas sencillas (monómeros), desde las cuales se podría conseguir otros tipos de plásticos o combustibles. Entre las distintas técnicas de reciclaje químico tenemos:

Gasificación: Mediante la utilización de este proceso obtenemos gas de síntesis (CO y H₂O) que es un gas combustible, utilizado con frecuencia en la industria metalúrgica. El primer paso es la compactación de plásticos para reducir su volumen, produciendo una desgasificación y después la pirólisis que continúa elevando la temperatura para la gasificación. Una de las mayores ventajas de la gasificación es que se puede llevar a cabo sin la necesidad de separar distintos tipos de plásticos.

Pirólisis: Este método se lo utiliza para materiales plásticos tipo PP y PS además para mezclas de plásticos difíciles de separar. Mediante la pirólisis se produce la descomposición térmica, en atmósfera inerte, de las moléculas que conforman los materiales plásticos en tres fracciones: gas, sólido y líquido, que servirán de combustible y de productos químicos. En el caso de los polietilenos se podría conseguir, con esta técnica, la obtención de etileno para fabricación de nuevos plásticos. El gran inconveniente de la pirólisis es el elevado coste de instalaciones y producción. Actualmente en España existe una planta piloto para probar este método, mientras que en Canadá está totalmente implantado.

Hidrogenación: Para este proceso se utiliza la energía térmica a los materiales plásticos en presencia de hidrógeno para dar lugar a combustibles líquidos. La hidrogenación es una de las técnicas más estudiadas y bastante desarrolladas.

Cracking: Este proceso es similar al que se produce con el petróleo crudo en las refinerías. Consiste en la ruptura de moléculas mediante el uso de catalizadores, como pueden ser las zeolitas, obteniéndose cadenas de hidrocarburos de diversas longitudes, Utilizándolos como como combustibles.

Disolventes: La utilización de disolventes se utiliza para separar mezclas de plásticos, difíciles de separar por otras técnicas. La ciclohexanona puede extraer el PVC de una mezcla y otro disolvente bueno es el xileno. Una vez separados los materiales se podrán reciclar por separado

mediante alguna de las técnicas descritas anteriormente.(¿Cómo se deben reciclar los plásticos?,2017)

1.3. Compactadoras

1.3.1. Compactadoras Mecánicas

Las compactadoras mecánicas usan Motor eléctrico, y sistema de un cigüeñal que rueda. Sube y baja rotando, el cual es un sistema lento que en la actualidad con los requerimientos diarios están que dando por debajo de los márgenes de trabajo.

1.3.2. Compactadoras hidráulicas manuales

Las compactadoras hidráulicas manuales han superado a las prensas mecánicas siendo las preferidas en la manufactura mundial por las ventajas que representa a pesar de que el Llenado de material a comprimir es manual así como el empaquetado o amarre del mismo sea manual y el manejo del pistón de compresión sea manejado por el operador.

En la **Figura 3-1** se muestra una compactadora manual con 3 cilindros hidráulicos.



Figura 3-1. Compactadora Hidráulica Manual

Fuente: <http://www.prensahidraulicas.com.mx/images/Compactadora%20horizontal%201.jpg>

1.3.3. Compactadoras hidráulicas automáticas.

En la actualidad son más rápidas y más confiables que nunca debido al mejoramiento de la tecnología, inclusive: los nuevos sellos, mejores bombas, las mangueras reforzadas y los acoplamientos mejorados así como también el uso de controladores PLC (Control Lógico Programable) y otros controles electrónicos ha mejorado la velocidad y la flexibilidad de estas prensas en el proceso de manufactura, con la integración de las compactadoras con Interfaces con la computación y monitoreo.

En la **Figura 4-1** se muestra una compactadora hidráulica automática desarrollada por la empresa Fluidica, la cual presenta un control por medio de PLC, circuitos de fuerza y de control.



Figura 4-1. Compactador hidráulica Automática
Fuente: <http://fluidica.com/images/fac-2-crop-u13989.jpg>

1.4. Hidráulica

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos (aceite) como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. Generalmente formados por una bomba hidráulica, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización. (Solé, 2010)

1.4.1. Sistemas Hidráulicos

El sistema hidráulico trabaja en base al principio de fluido a presión forzando la acción mecánica. A uno de estos sistemas instalado en una máquina se le llama "circuito hidráulico". Estos circuitos están compuestos de una bomba para comprimir el fluido, líneas para llevarlo, un cilindro donde se bombea el líquido y un pistón movido por el mismo a presión en el cilindro. El sistema hidráulico también puede accionar ejes para motores hidráulicos y cintas transportadoras.

Ventajas y Desventajas de los sistemas Hidráulicos

La **Tabla 2-1** determina las ventajas y desventajas que se pueden producir al utilizar los sistemas hidráulicos.

Tabla 2-1. Ventajas y Desventaja de Sistemas Hidráulicos

Sistemas Hidráulicos	
Ventajas	Desventajas
- Alto rendimiento en la transmisión de fuerza (hasta un 90%). - Regulación precisa de la fuerza y velocidad ejercida. - Control de los elementos de mando. - Duración de los elementos hidráulicos debido a la lubricación. - Transmisión de grandes fuerzas utilizando pequeños elementos.	- Se requiere circuito de retorno. - Velocidades bajas en los actuadores. - El costo de bombas, motores, válvulas proporcionales y servo válvulas es alto. - Propenso a producir fugas de líquido a alta presión.

Realizado por: Rolando Tipán.2017

1.4.2. *Sistemas Neumáticos*

Los sistemas neumáticos son sistemas que utilizan el aire u otro gas como medio para la transmisión de señales o de potencia. Dentro del campo de la neumática la tecnología se ocupa sobre todo la aplicación del aire comprimido en la automatización industrial (ensamblado, empaquetado, etc.), dentro de la neumática tenemos ciertas características:

- **Abundante:** Se refiere principalmente al aire, el cual es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. No precisa conductos de retorno; lo cual implica que el aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.
- **Almacenaje:** El aire es almacenado y comprimido en acumuladores o tanques, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.
- **Antideflagrante:** El aire está a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispas en atmósferas explosivas y puede ocuparse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática.

- **Temperatura:** El aire es fiable, incluso a temperaturas extremas.
- **Limpieza:** Cuando se produce escapes de aire no son perjudiciales y pueden colocarse en las líneas, en depuradores o extractores para mantener el aire limpio.
- **Elementos:** El diseño y constitución de los elementos es fácil y de simple conexión.
- **Velocidad:** Se obtienen velocidades muy elevadas en aplicación de herramientas de montaje atornilladores, llaves, etc.
- **Sobrecargas:** Se puede llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgos de sobrecarga o tendencia al calentamiento.

Ventajas y Desventajas de los sistemas Neumáticos

En la **Tabla 3-1** determinamos las ventajas y desventajas que se pueden producir al utilizar los sistemas neumáticos en la industria.

Tabla 3-1. Ventajas y Desventaja de Sistemas Neumáticos

Sistemas Neumáticos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Cambios instantáneos de sentido - No utiliza un elemento como el aceite. - No requiere circuitos de retorno - Puede almacenarse y transportarse en depósitos - No existen riesgos de fugas que producirían explosión ni incendios 	<ul style="list-style-type: none"> - Genera ruido cuando se vierte al exterior, resultando molesto. - El aire comprimido debe ser tratado antes de su utilización eliminando impurezas y humedad. - Se producen pérdidas de cargas considerables en circuitos muy extensos - No permiten aplicar grandes fuerzas, Debido a la presión que trabaja anormalmente.

Realizado por: Rolando Tipan.2017

1.4.3. *Cilindros o actuadores hidráulicos*

Los actuadores son los dispositivos que sirven para generar actividades físicas produciendo una fuerza a partir de líquidos, energía eléctrica entre otros. Dichos dispositivos brindan una salida para un elemento de control, un ejemplo de esta podría ser una Válvula. Los actuadores reciben la orden de ejecución por parte de un regulador o controlador dando la salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

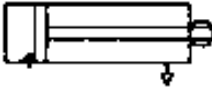
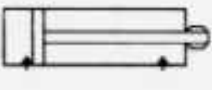

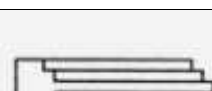

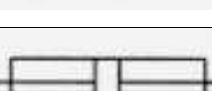
Los actuadores hidráulicos basan su funcionamiento en la presión ejercida por un líquido de tipo aceite. Las maquinas conformadas por actuadores hidráulicos presentan una mayor velocidad y mayor resistencia mecánica siendo de gran tamaño, siendo usados para aplicaciones de una carga pesada. Los sistemas hidráulicos se encuentran sellado herméticamente a modo que no permita fugas del líquido que contiene, ya que existiría un gran riesgo. Los actuadores hidráulicos requieren equipo para el suministro de energía y del mantenimiento periódico de todos sus elementos.

De acuerdo con su función y las características de los actuadores hidráulicos podemos clasificarlos en diferentes tipos.

1.4.4. Tipos de actuadores hidráulicos

De acuerdo a la construcción mecánica y a la aplicación de los cilindros hidráulicos se dividen en varios tipos teniendo en la **Tabla 4-1** los más importantes.

Tabla 4-1. Tipos de cilindros hidráulicos

Tipo de Cilindro	Símbolo
Cilindro de simple efecto	
Cilindro de doble efecto	
Cilindro de doble efecto con amortiguamiento ajustable en el extremo de la tapa	
Cilindro diferencial	
Cilindro telescópico	
Cilindro de doble vástago	

Fuente: <http://www.serviciohidraulico.com.mx/images/tips/cilindros.gif>

Realizado por: Rolando Tipan.2017

Cilindro de presión dinámica

Los cilindros de presión dinámica llevan la carga en la base del cilindro hidráulico. Los costos de fabricación de dichos cilindros por lo general son bajos ya que no hay partes que resbalen dentro del cilindro.

Cilindro telescópico

En los cilindros de tipo telescópico la barra de tipo tubo multietápico es empujada sucesivamente conforme se va aplicando al cilindro aceite a presión. Se puede lograr una carrera relativamente en comparación con la longitud del cilindro

Cilindro de efecto simple

El cilindro de simple efecto como se observa en la **Figura 5-1** se compone de una barra la cual es colocada en un extremo del pistón, cuando la presión es ejercida en la parte contraria al extremo del pistón donde está localizada la barra, esta sube hasta donde la presión lo empuje, ejerciendo una fuerza sobre la barra de contracción, después la barra es regresada a la posición inicial por la simple acción de resortes o de la gravedad. La carga solo puede colocarse en un extremo del cilindro.

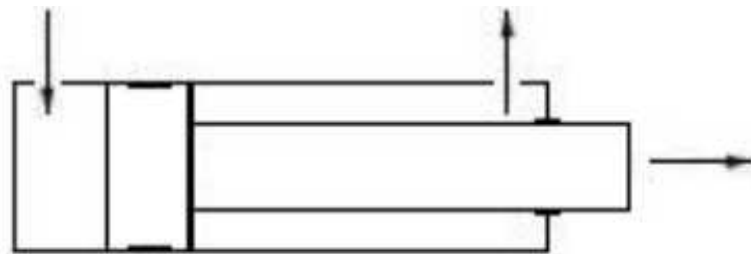


Figura 5-1. Cilindro Simple Efecto

Fuente: <https://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%201.pdf>

Cilindro de efecto doble

Los cilindros doble efecto funciona de tal manera que tanto el movimiento de salida como el de entrada son debidos a la presión, es decir, el la presión generada ejerce su acción en las dos cámaras del cilindro, de esta forma puede realizar trabajo en los dos sentidos del movimiento. La carga puede colocarse en cualquiera de los lados del cilindro. Como podemos ver en la **Figura 1-6** Se genera un impulso horizontal debido a la diferencia de presión entre los extremos del pistón cuando el líquido entra en este.

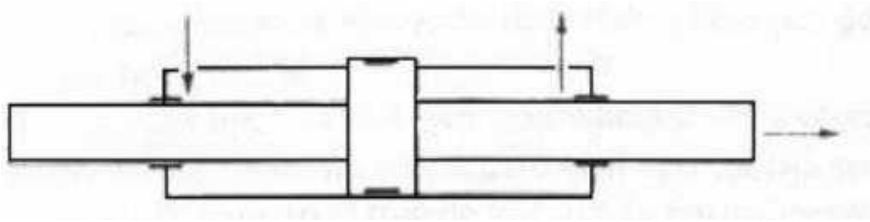


Figura 6-1. Cilindro Doble Efecto

Fuente: <https://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%201.pdf>

1.4.5. Bombas Hidráulicas

La bomba hidráulica es la encargada de convertir la energía mecánica en energía hidráulica. Dicho dispositivo toma energía de una fuente (motor eléctrico) convirtiéndola en otra forma de energía hidráulica. La bomba hidráulica toma aceite de un depósito de almacenamiento (tanque) y lo envía como un flujo al sistema hidráulico. La presión atmosférica empuja el aceite a través del conducto de entrada a las cámaras de entrada de la bomba. Los engranajes de la bomba llevan el aceite a la cámara de salida de la bomba. El volumen de la cámara disminuye a medida que se acerca a la salida.

La bomba sólo produce flujo (litros por minuto) utilizado por el sistema hidráulico. La bomba NO produce “presión”. La presión se produce por acción de la resistencia al flujo. La resistencia puede producirse a medida que el flujo pasa por las mangueras, orificios, conexiones, cilindros, motores o cualquier elemento del sistema que impida el paso libre del flujo al tanque en la **Figura 7-1** se observa las partes básicas de la bomba hidráulica.

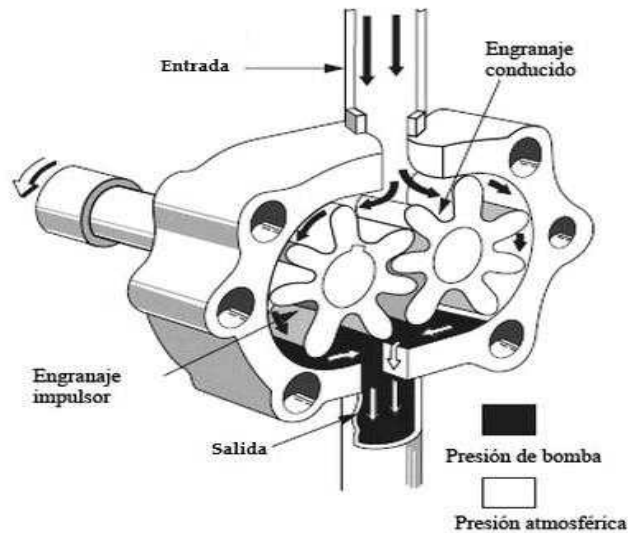


Figura 7-1. Bomba hidráulica
 Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/CZGbBtbDI.jpg>

1.4.6. Motor hidráulico

El motor hidráulico es el encargado de convertir la energía hidráulica en energía mecánica. El motor hidráulico usa el flujo de aceite enviado por la bomba y lo convierte en un movimiento rotatorio para impulsar otros dispositivos como los son los mandos finales, diferencial, transmisión, rueda, ventilador, otra bomba, etc.

En la **Figura 8-1** podemos observar las partes principales de un motor y del flujo de aceite que se genera en el motor.

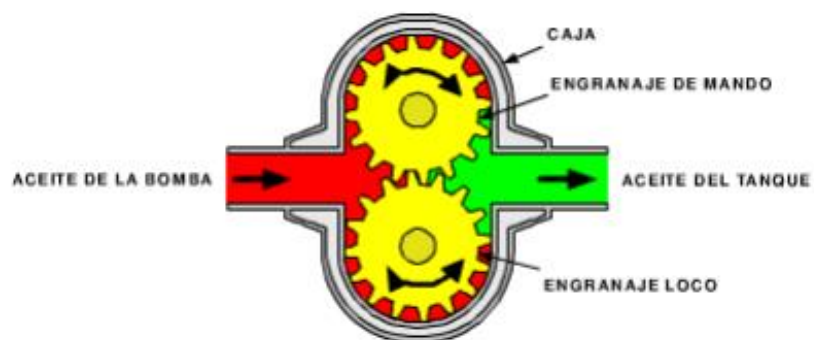


Figura 8-1. Motor Hidráulico
 Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica/images/hidraulica14.jpg>

1.4.7. Depósito hidráulico

La principal función del tanque hidráulico es almacenar aceite. Dicho tanque también debe eliminar el calor y separar el aire del aceite. Los tanques deben tener resistencia y capacidad adecuadas, y no deben dejar entrar la suciedad externa. Los tanques hidráulicos generalmente son herméticos. La **Figura 9-1** nos muestra los siguientes componentes básicos del tanque hidráulico.

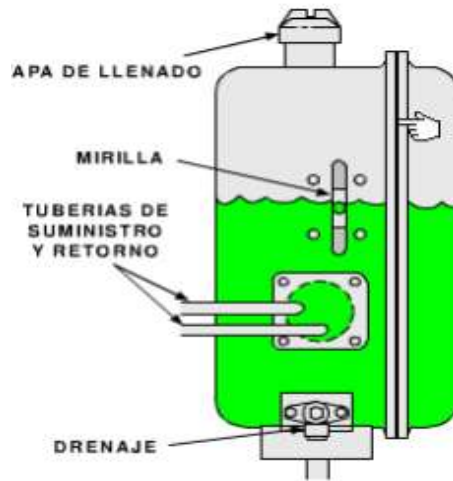


Figura 9-1. Tanque Hidráulico

Fuente: <http://ramiommota.blogspot.com/2015/02/tanque-hidraulico.html>

1.5. Sistema Electrónico

Un sistema electrónico es un grupo de componente conectados entre sí para realizar una función deseada o requerida. Un componente o elemento es generalmente la parte más simple de un sistema electrónico que tiene una función específica y bien definida.

Los sistemas electrónicos reciben, transmiten y almacenan información, brindando diferentes funciones para procesar esta información, como amplificación de señales débiles generalmente tomada desde sensores y transductores, generación de ondas de radio, extracción de información pudiendo ser esta de un proceso industrial, operaciones lógicas, etc. (Bustos, 2008).

1.6. Automatización Industrial

La Automatización Industrial es el uso de sistemas autónomos para controlar y monitorear un proceso, máquina o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, funcionando de manera automática y reduciendo la intervención de operarios. Buscando generar la mayor cantidad de producto, en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costos y garantizar calidad en el producto terminado.

Ventajas:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, esta dependerá de la eficiencia del sistema implementado.
- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos y disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.

Desventajas:

- Decremento severo en la flexibilidad.
- Incremento en la dependencia del mantenimiento y reparación.
- Decremento de la mano de obra para el proceso.

1.7. Sensores

Los sensores son dispositivos diseñados para captar variaciones de tipo mecánico, magnético, térmico, óptico o químico y convertirlas en señales del tipo eléctrico las cuales mediante su procesamiento se las utiliza como señales de control o indicadores (Creus, 2012).

1.7.1. Sensores de presión

Los sensores de presión son elementos que transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud eléctrica. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar.

Para cubrir los diferentes rangos de medida, precisión y protección, existe una gran variedad de transductores de presión, fabricados con diferentes tecnologías, que permiten cubrir todas sus necesidades.

1.8. Tableros de control

Los tableros de control son la parte principal en los sistemas industriales. En los tableros se encuentran los diferentes dispositivos de seguridad y control que además de tener un método sistemático de instalación requieren un método de protección de agentes externos como polvo, agua, humedad entre otros.

Los tableros de control industrial son conjuntos de dispositivos e instrumentos cableados en planta, tales como controladores, interruptores, reveladores y dispositivos auxiliares. Los tableros pueden incluir dispositivos de desconexión así como dispositivos de protección de los circuitos que alimentan a los motores.

Para fabricar los tableros de control se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada. El cumplimiento de estas normas garantiza la seguridad tanto del proceso, así como también de los operarios.

Una importante medida de seguridad para los tableros es la instalación de interruptores de seguridad. Dichos interruptores de seguridad suelen ser de dos tipos: termo magnético, que se encarga de proteger tanto el tablero de control como la instalación de variaciones en la corriente, y diferencial, que está dirigido a la protección de los usuarios.

A continuación en la **Tabla 5-1** se muestra las dimensiones nominales de tableros según las normas NCh 4/2003.

Tabla 5-1. Dimensiones Nominales

Alto (mm)	Ancho (mm)	Fondo (mm)
400 mm	300 mm	200 mm
500 mm	400 mm	200 mm
600 mm	400 mm	250 mm
700 mm	500 mm	250 mm
800 mm	600 mm	250 mm
1000 mm	800 mm	320 mm
1200 mm	800 mm	300 mm
1400 mm	800 mm	400 mm

Realizado por: Rolando Tipan.2017

Fuente: <http://www.domme.cl/tableros-electricos/>

1.9. Control Automático

El control automático desempeña un papel importante vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, convirtiéndose en una parte importante e integral en los sistemas que requieran el control de temperatura, presión, humedad, flujo etc.

“El control moderno se basa en el análisis del dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales, simplificando el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se requiere controlar” (Ogata, 2010, p.1).

Para entender la teoría del control se necesita definir términos utilizados en el área.

Planta: Se puede definir a la planta como un equipo o un conjunto de elementos de una máquina que funcionan juntos para realizar una operación

Proceso: En el área de control automático se puede definir al proceso como cualquier operación artificial o voluntaria que conducirá a un resultado o propósito.

Sistema: Se define al sistema como como una combinación de componentes que actuaran juntos para lograr un objetivo determinado.

Perturbación: La perturbaciones pueden ser cualquier señal externa o interna que puede afectar negativamente al valor de la salida de un sistema.

1.9.1. Sistema de control de lazo abierto

Se denomina sistemas de control de lazo abierto a los sistemas cuya salida no tiene efecto sobre la acción de control es decir; la salida no se mide para compararla con la entrada de referencia del sistema (Ogata, 2010, p.8).

1.9.2. Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en donde el controlador se alimenta con la señal de error de actuación que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar al sistema a la salida deseada generalmente utilizada en sistemas críticos (Ogata, 2010, p.7).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

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. (García M, 2002)

En Ingeniería de software se desarrolla un modelo en cascada, el enfoque metodológico ordena rigurosamente las etapas del proceso para el desarrollo de sistemas, de tal forma que el inicio de cada etapa debe esperar a la finalización de la etapa anterior, teniendo así una metodología de trabajo efectiva como lo es: definir antes de diseñar y diseñar antes de implementar (Pressman, R, Pág. 26-30)

Al final de cada etapa, el modelo está diseñado para llevar a cabo una revisión final, logrando así corregir errores menores en la etapa de diseño y evitando problemas mayores en la etapa de implementación, determinando si el proyecto está listo para avanzar a la siguiente fase, teniendo así las siguientes fases de desarrollo del sistema compactador.

- Estimación de volumen de residuos de botellas plásticas Pet.
- Diseño y Dimensionamiento del sistema compactador de botellas Pet.
- Implementación de sistema compactador.
- Realizar pruebas experimentales.

2.1. Estimación de volumen de residuos de botellas plásticas Pet

2.1.1. *Producción y consumo de Plásticos Pet*

Nivel Mundial

La producción de plásticos Pet ha aumentado en los últimos años considerablemente como se indica en la **Figura 1-2**, ocasionado que los esfuerzos de por mantener el reciclaje de estos elementos sea casi imposible.

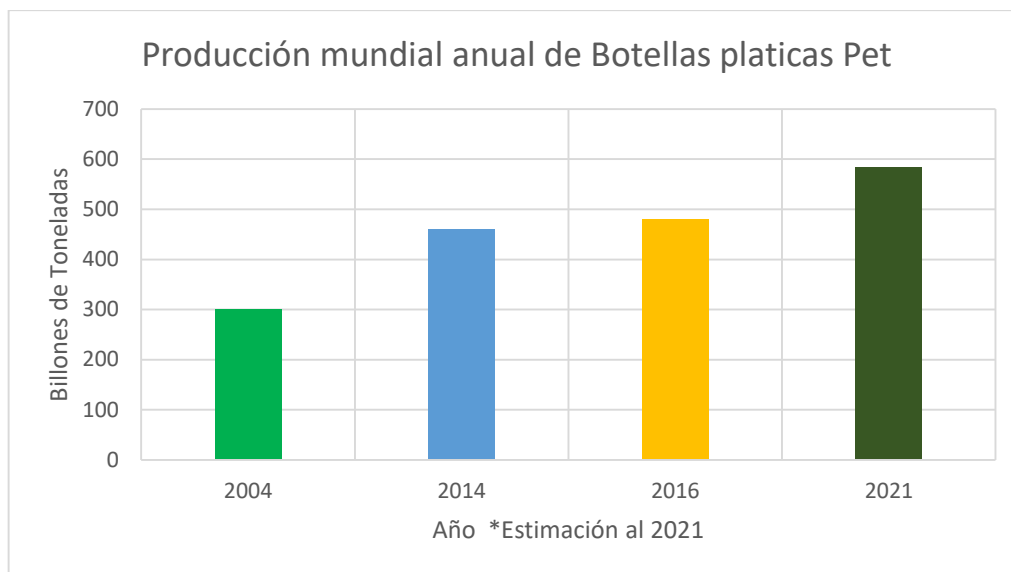


Figura 1-2. Producción global de botellas plásticas Pet

Fuente: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28>

Realizado por: Rolando Tipan.2017

Menos de la mitad de las botellas compradas en 2016 fueron recolectadas para reciclaje y sólo el 7% de las recogidas se convirtieron en botellas nuevas. En su lugar la mayoría de las botellas de plástico producidas terminan en vertederos o en el océano. (Theguardian, 2017)

Ecuador

En el país se produjeron 1 406 millones de botellas plásticas Pet, de las cuales se lograron recuperar 511 millones de los embotelladores y 624 millones de los centros de acopio y recicladores, logrando una recolección total de 1 136 millones de Pet. Dejando un total de 270 millones de botellas a las cuales no se les dio un adecuado manejo de recolección y reciclaje. (ambiente.gob.ec, 2017)

2.1.2. Lugar de Estudio

El trabajo de titulación se basa en la información generada en la Escuela Superior politécnica del Chimborazo debido a que presenta utilización de plásticos Pet en cantidades considerables además de presentar deficiencias en sistemas de recolección de plásticos y de reciclaje. Lugar donde el sistema de compactación puede generar beneficios ambientales de reciclaje.

2.2. Estimación de uso de botellas en la ESPOCH

Para determinar un tipo de botellas plásticas Pet estándar para el diseño del sistema automático se realizó un estudio previo de todos los tipos de botellas utilizadas en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

Dicho estudio se lo realizó mediante la utilización de una herramienta como lo es la encuesta, detallada en el **Anexo A**, en donde mediante en base al análisis de las respuestas se establece un tipo de botellas utilizadas además de tener en conocimiento varios aspectos como el reciclaje dentro de la Espoch. Dicho estudio se lo realizo en el diseño y construcción de un modelo de máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de Mecánica-ESPOCH como tesis de pregrado.

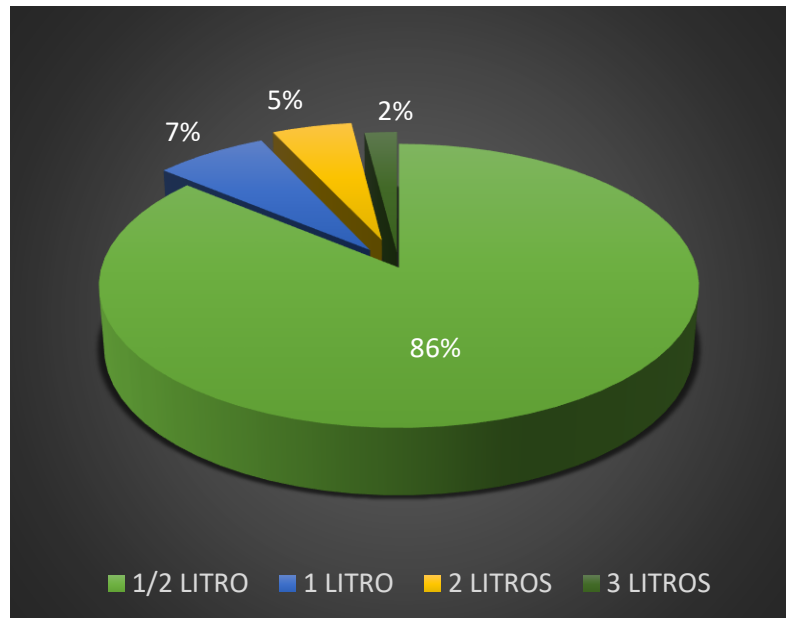


Figura 2-2. Consumo de botellas por contenido

Fuente: **Castillo, W. & Daquilema, R.** (2014). *Diseño y construcción de un modelo de máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de Mecánica-ESPOCH.*

Una vez establecidos los resultados de la encuesta realizada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se determinó que el tipo de botellas más consumidas en dicho lugar son de 500 ml con un 86 % de consumo, mostrada en la **Figura 2-2**, además se debe tomar en cuenta que los picos de las botellas en todos los tamaños de botella vienen estandarizados, teniendo que en una semana 2005 botellas de 500 ml son consumidas en toda la institución.

2.2.1. Características de Botellas Pet

Una vez determinado el tipo de botella de mayor uso en la institución, establecemos las características físicas de la botella como se visualiza en la **Figura 3-2** para el posterior cálculo de volumen de plásticos Pet de 500ml.



Figura 3-2. Botella de 500 ml

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La **Tabla 1-2** muestra las características físicas de las botellas Pet las cuales posteriormente tienen incidencia en el diseño estructural del comprador automático y en los cálculos de volumen.

Tabla 1-2. Características de botellas 500 ml

Características	Descripción
Masa	25 gramos
Altura de la botella	250 mm
Diámetro de la botella	72 mm
Diámetro del pico de la botella	27 mm
Altura del pico de la botella	12 mm
Altura del anillo de la botella	4 mm
Altura de la etiqueta de la botella	34 – 44 mm

Fuente: **Castillo, W. & Daquilema, R.** (2014). *Diseño y construcción de un modelo de máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de Mecánica-ESPOCH.*

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

2.2.2. *Estimación del volumen de botellas Pet*

Para realizar una estimación del volumen total de botellas plásticas Pet realizamos el cálculo de del volumen individual de una botella para luego establecer el volumen total, destacando que el volumen de la botella no es el mismo que el volumen del líquido que contiene.

Calculamos el volumen de la parte cilíndrica de la botella:

$$V = (\pi)(r^2)(h) \quad \text{Ecuación 1-2. Volumen cilíndrico de botella Pet}$$

En donde:

V=Volumen cilíndrico de la botella

r=radio de la botella

h= altura de la botella

$$r = \frac{D}{2} \quad \text{Ecuación 2-2. Radio de la botella}$$

En donde:

r = radio de la botella

D= diámetro de la botella

$$r = \frac{72}{2} = 36 \text{ mm}$$

$$V_{base} = (\pi)(36^2)(200) = 814300.81 \text{ mm}^3 \quad \text{Ecuación 3-2. Volumen de la base}$$

Calculamos el volumen del área de la tapa de la botella:

$$V_{tapa} = (\pi) \left(\frac{27}{2}\right)^2 (12) = 6870.66 \text{ mm}^3 \quad \text{Ecuación 4-2. Volumen de la tapa}$$

El volumen total de la botella será:

$$V_{botella} = V_{base} + V_{tapa} = 814300.81 \text{ mm}^3 + 6870.66 \text{ mm}^3 = 821171.47 \text{ mm}^3$$

Una vez establecido el volumen de una botella Pet y conociendo el consumo semanal de estas botellas mediante la encuesta realizada, el volumen total de botellas plásticas Pet en utilizadas en institución está dada por la ecuación siguiente:

$$Vestimadototal = Vbotella * cantidad\ de\ botellas = 821171.34\ mm^3 * 2005$$

$$Vestimadototal = 1646448797.35mm^3 = 1.65\ m^3\ semanales$$

Semanalmente se estima que el Escuela superior politécnica del Chimborazo se producen 1.65 metros cúbicos de botellas plásticas Pet, teniendo un total de 6.59 metros cúbicos de botellas plásticas siendo este un gran nivel de botellas plásticas que generalmente son desechadas en basureros y no son recicladas al no existir las facilidades de reciclaje en dicha institución.

2.3. Diseño del sistema automático compactador Pet

2.3.1. Etapas del proceso

El proceso general del sistema automático se compone de varias etapas mostradas en la **Figura 4-2** y las cuales son descritas a continuación:

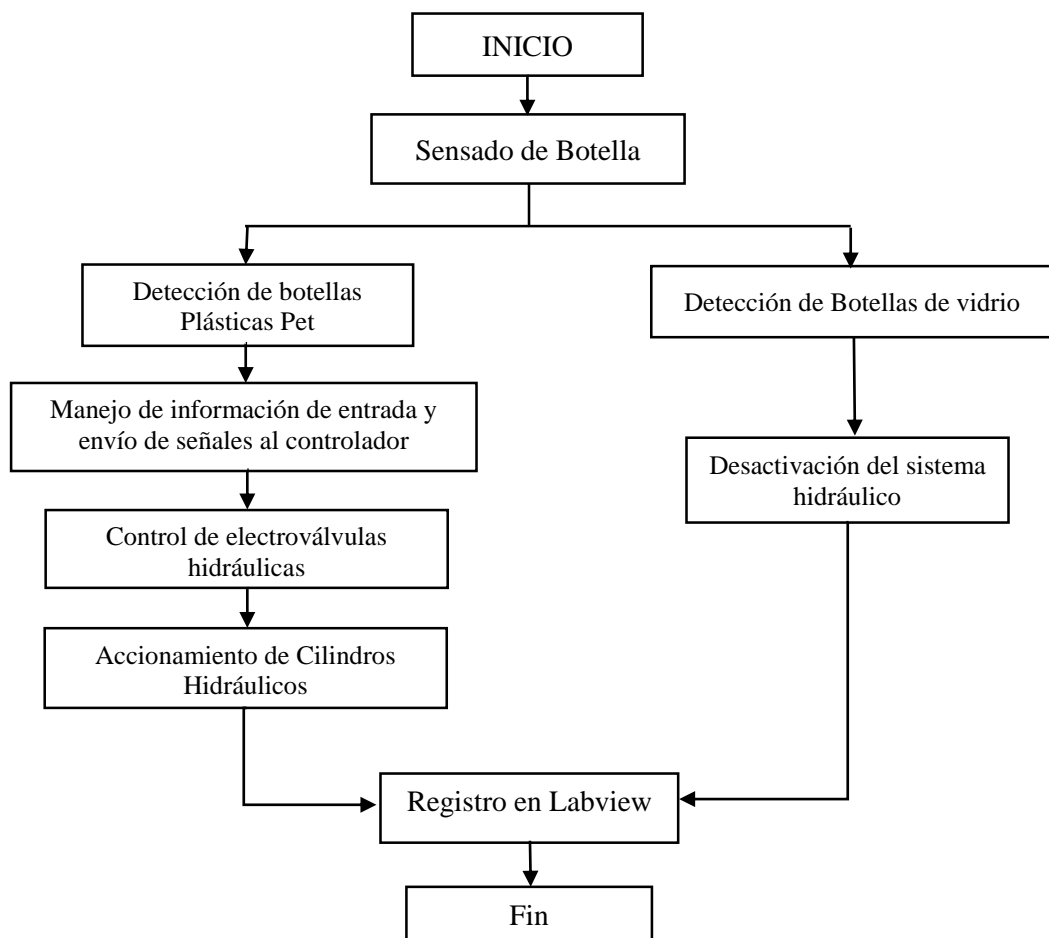


Figura 4-2. Etapas del proceso

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La primera etapa del proceso de compactación Pet, es la utilización de sensores localizados en la parte inferior de la estructura del contenedor en este caso una celda de carga con su respectivo módulo amplificador, que nos permite conocer si existe el peso de la botella el cual puede ser reprogramado si existiera la necesidad.

En la segunda etapa la información generada, permite que el controlador mediante la programación establecida envíe señales de activación hacia las electroválvulas,

En la tercera etapa mediante el movimiento generado por el cilindro hidráulico permite generar la compactación de las botellas plásticas dentro del contenedor.

Posteriormente en la última y cuarta etapa la información registrada por todo el sistema será enviada a la interfaz desarrollada en Labview.

2.3.2. *Diseño del sistema Electrónico*

Diagrama Electrónico del sistema de compactación

La **Figura 5-2** muestra el diseño del sistema electrónico en cual se basa el sistema de control de compactación.

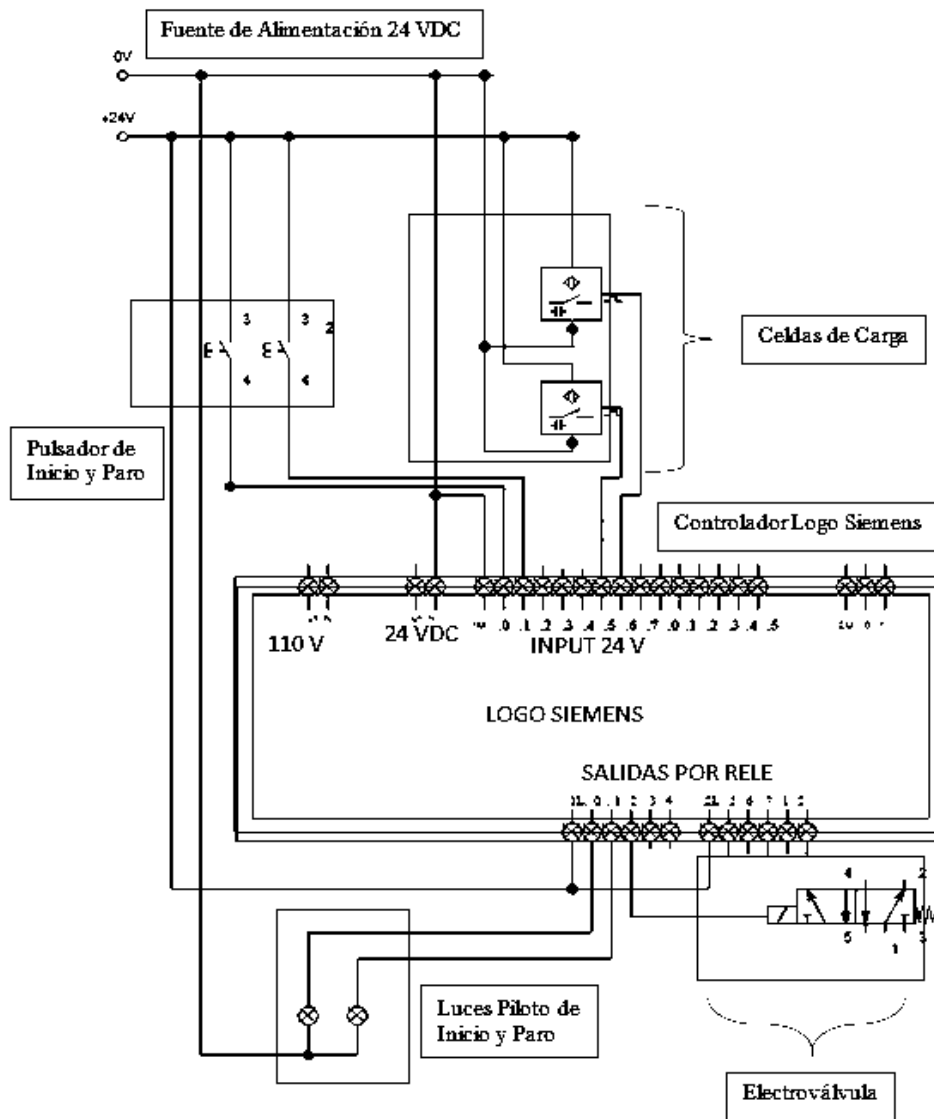
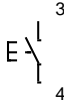
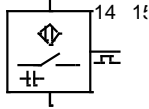
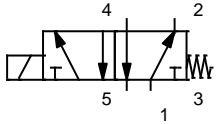




Figura 5-2. Diagrama Electrónico del sistema de compactación

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La **Tabla 2-2** identifica los tipos de símbolos utilizados en el diagrama de conexiones del controlador Logo Siemens, para tener una mejor interpretación de dicho diagrama e identificar los dispositivos utilizados.

Tabla 2-2. Símbolos del sistema Electrónico

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Pulsadores de marcha y paro
	Sensores de proximidad capacitivos
	Electroválvulas 5/2 activación por Relé de 24 V
	Luces piloto indicadoras verde y roja
	Fuente de alimentación de 24V

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Diagrama de bloques del sistema Electrónico

La **Figura 6-2** visualiza 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.

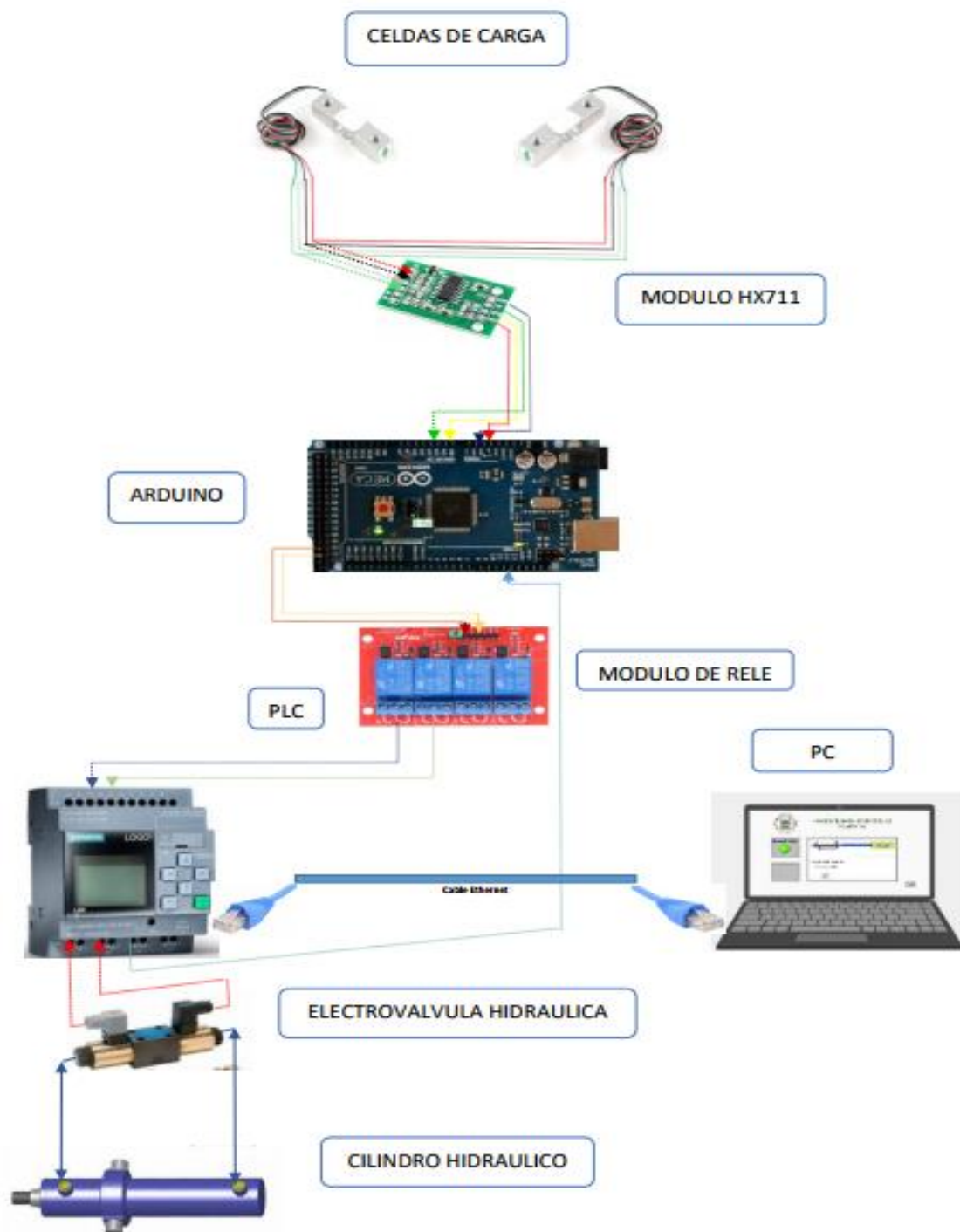


Figura 6-2. Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Tipán Rolando. 2017



2.3.3. Selección de Sensores

Celdas de carga

Para establecer el peso de las botellas dentro del contenedor se utilizó 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.

Para trabajar con las señales obtenidas por la celda de carga es necesario amplificar dicha señal es por eso que se utilizan los Módulos Transmisores de señal para la celda de carga, en la **Tabla 3-2** se realizó una comparación de 2 módulos existentes en el mercado.

Tabla 3-2. Comparación de módulos transmisores de señal

Modulo	Características
 <p data-bbox="491 1339 612 1373">FBS-2LC</p>	<p data-bbox="772 965 1034 999">Número de canales: 2</p> <p data-bbox="772 1014 1294 1048">Resolución: 16-bit (incluyendo bit de señal)</p> <p data-bbox="772 1064 1219 1097">Frecuencia de conversión: 1/3/5/8 Hz</p> <p data-bbox="772 1113 1075 1146">Voltaje de excitación: 5V</p> <p data-bbox="772 1162 1315 1249">Nivel de sensibilidad: 2mV/V, 5mV/V, 10mV/V, 20mV/V</p> <p data-bbox="772 1265 1214 1299">Consumo de poder: 24V-15%/+20%.</p>
 <p data-bbox="507 1664 596 1697">HX711</p>	<p data-bbox="772 1397 1123 1431">Voltaje de operación: 5 VDC</p> <p data-bbox="772 1447 1246 1480">Consumo de corriente: menor a 10 mA</p> <p data-bbox="772 1496 1251 1529">Voltaje de entrada diferencial: ± 40 mV</p> <p data-bbox="772 1545 1187 1579">Resolución conversión A/D: 24 bit</p> <p data-bbox="772 1594 1134 1628">Frecuencia de refresco: 80 Hz</p> <p data-bbox="772 1644 1034 1677">Número de canales: 2</p>

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

En base a la comparación realizada se determinó que el módulo HX711 presenta mejores prestaciones en base a requerimientos técnicos como el voltaje de operación de 5 V, que se adapta al nivel de voltaje del controlador; además su resolución es de 24 bits y un consumo bajo de energía menor a 40 mA.

Dicho módulo seleccionado y con disponibilidad en el mercado se puede observar en la **Figura 7-2** con sus características de operación en la **Tabla 4-2**.

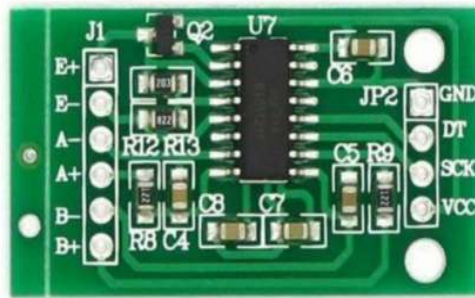


Figura 7-2. Módulo HX711

Fuente: <http://www.arduconce.cl/image/cache/data/hx-711-02-500x500.jpg>

Tabla 4-2. Especificaciones Técnicas Modulo HX711

Características	• Descripción
Voltaje de operación:	5 VDC
Consumo de corriente	menor a 10 mA
Voltaje de entrada diferencial	± 40 mV
Resolución conversión A/D	24 bit
Frecuencia de refresco	80 Hz

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

La **Figura 8-2** representa el circuito electrónico desarrollado, el cual mediante el uso de un controlador como el arduino podemos manejar las señales de la celda de carga, sirviendo el módulo como una interface entre la celda y el controlador, ya que se encarga de convertir las lecturas analógicas a señales digitales con un conversor A/D interno de 24 bits.

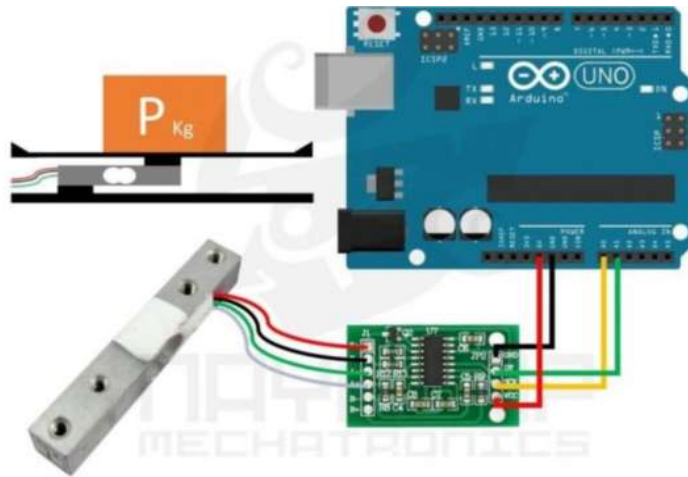


Figura 8-2. Circuito Electrónico de peso.

Fuente: <http://www.naylampmechatronics.com/modules//smartblog/images/25-single-default.jpg>

2.3.4. Selección del Controlador primario

El trabajo de titulación se rige bajo un controlador el cual es el arduino que maneja las señales provenientes de las celdas de carga y sus módulos.

Para establecer el controlador a ser utilizado se realizó un análisis de entradas, salidas y las características del controlador, en la **Tabla 5-2** se registran todas las entradas a ser utilizadas y en la **Tabla 6-2** se muestran las salidas para determinar el controlador que satisfaga las necesidades del proyecto.

Tabla 5-2. Requerimientos de entradas al controlador

No	Dispositivo	Tipo de señal	Número de señales
1	Celdas de carga y módulos	Analógica	2
2	Pulsadores	Digital	3
		TOTAL	5

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

El total de las entradas del controlador Arduino satisface los requerimientos que necesita el trabajo de titulación.

Tabla 6-2. Requerimientos de salidas del controlador




No	Dispositivo	Tipo de señal	Número de señales
1	Electroválvula	Digital	1
2	Luz Piloto	Digital	1

		TOTAL	2
--	--	-------	---

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

La **Tabla 7-2** realiza una comparación de las características de 3 controladores que pertenecen a la misma familia, para posteriormente determinar criterios que nos permitirán elegir el más adecuado para el sistema de compactación.

Tabla 7-2. Comparación de Controladores arduino

Controlador			
Características	Arduino Pro mini	Arduino Uno	Arduino Mega 2560
Micro controlador	AVR Atmega 168 8 bits	AVR Atmega 328 8 bits	AVR Atmega 2560 8 bits
Memoria RAM	2 KiB	2 KiB	2 KiB
Memoria EEPROM	1 KiB	1 KiB	1 KiB
Pines digitales Entradas/salidas	14/14	14/14	54/54
Pines Analógicos Entradas/salidas	6/0	6/0	16/0
Conexión USB	No (Necesita adaptador externo)	Si	Si
Tensión/resolución pines analógicos	3.3V o 5 V 10 bits (1024 valores)	5V10 bits (1024 valores)	5V10 bits 10 bits (1024 valores)
Tensión/corriente pines digitales	3.3Vo 5V 40 mA	5V 40 mA	5V 40 mA

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

En base a la comparación de los controladores arduino y al requerimiento de entradas y salidas digitales y analógicas del sistema, se estableció al Arduino Uno como el controlador primario del trabajo de titulación al tener una conexión USB para un fácil manejo de programación, además de contar con un número de 14 entradas digitales y 6 análogas que cubren el requerimiento para la programación del controlador, en la **Tabla 8-2** tenemos las características principales.

Tabla 8-2. Características del Arduino Uno

Características	Descripción
Micro controlador	Arduino Uno
Voltaje de entrada	7-12V.
Pines Digitales	14 pines digitales de Entrada/Salida
Memoria	256k de memoria flash.



Pines análogas	6 entradas análogas.
----------------	----------------------

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

2.3.5. Selección del Controlador secundario

Además del controlador principal se requiere del controlador siemens logo debido a que el manejo de las electroválvulas hidráulicas se la realiza con señales de 24 VDC en donde este controlador las realiza directamente sin necesidad de dispositivos externos.

Tabla 9-2. Comparación de controlador secundario

Modelo	 Simatic S7-1200 1211	 Siemens Logo 230Rc
Alimentación	120/230 ADC	115/230 ADC
Memoria de trabajo	30 Kbyte	-
Entradas digitales	6; integrada	8
Salidas digitales	4; Relé	4; Relé
Entradas análogas	2; 0 a 10 V	-
Dimensiones	90 x 100 x 75 mm	72 x 90 x 55 mm

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

La comparación de dispositivos de la **Tabla 9-2** para el controlador secundario se basó en dos dispositivos de la misma marca debido a que presentan buenas prestaciones en el ámbito industrial debido a su robustez, El controlador secundario no necesita de un número considerable de señales de entra y salida ya que solo se encarga del manejo de las electroválvulas hidráulicas.

Debido al costo y al requerimiento mínimo del controlador se decidió instalar un Siemens Logo 230Rc, destacando que tiene un rango de alimentación amplio de 115 a 230 VDC, 8 entradas digitales y 4 salidas por relé las cuales son de vital importancia para el accionamiento de los actuadores hidráulicos.

La **Figura 9-2** indica las características físicas del controlador Siemens Logo y en la **Tabla 10-2** las características técnicas del dispositivo.



Figura 9-2. Siemens Logo 230Rc

Fuente: <https://masvoltaje.com/1996-logico-display-al-e-s-230v-ac-230v-ac-reles.jpg>

Tabla 10-2. Características de Siemens Logo

Características	Descripción
Tensión de alimentación	115 VDC
	230 VDC
Rango admisible, límite inferior (DC)	100 V
Rango admisible, límite superior (DC)	253 V
Entradas digitales	
Cantidad/entradas binarias	8
Salidas digitales	
Número/salidas binarias	4; Relé
Funcionalidad/resistencia a cortocircuitos	No; requiere protección externa
Poder de corte de los contactos	
Con carga inductiva, máx.	3 A

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

2.4. Diseño del Sistema Hidráulico

La hidráulica juega un papel importante en cuanto a la automatización y transmisión de energía. Los sistemas hidráulicos son utilizados en procesos donde se requiere la aplicación de fuerzas y presiones elevadas. (Diseño del sistema hidráulico, 2017)

La **Figura 10-2** representa los elementos necesarios para el diseño de un sistema hidráulico, en los cuales se basa el trabajo de titulación.

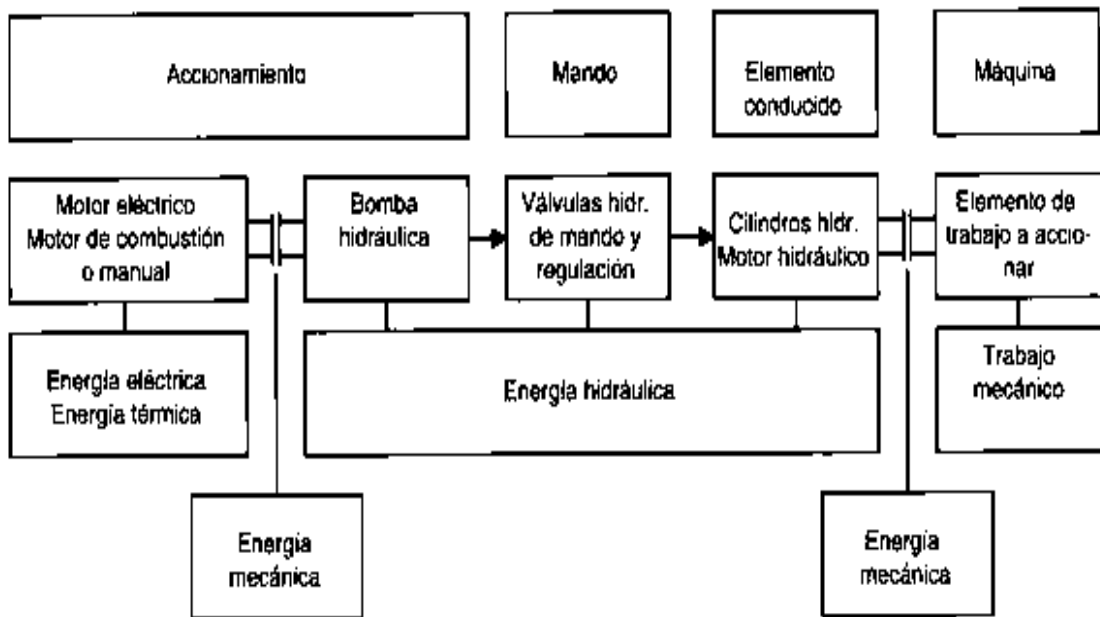


Figura 10-2. Elementos básicos de un sistema hidráulico

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tello_c_vr/capitulo8.pdf

Por las características en la automatización industrial que presentan los sistemas hidráulicos y neumáticos, se decidió realizar un análisis de los 2 tipos de tecnologías para el trabajo de titulación.

La **Tabla 10-2** visualiza las características entre los sistemas neumáticos e hidráulicos que permitieron la selección de la tecnología hidráulica.

Tabla 11-2. Comparación de sistemas Neumáticos e Hidráulicos

Características	Sistema Neumático	Sistema Hidráulico
Efecto de fugas	Solo perdida de energía	Contaminación
Influencia del ambiente	A prueba de explosión, Insensible a la temperatura	Riesgo de incendio en caso de fuga. Sensible a cambios de temperatura
Almacenaje de energía	Fácil	Limitada
Transmisión de energía	Hasta 1.000m. Caudal $V=20-40$ m/s.	Hasta 1.000m. Caudal $V=2-6$ m/s.
Velocidad de operación	$V=1.5$ m/s	$V=0.5$ m/s
Coste de alimentación	Muy alto	Alto
Movimiento lineal	Simple con cilindros. Fuerzas limitadas. Velocidades dependiente de la carga	Simple con cilindros. Buen control de velocidad. Fuerzas muy grandes.

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Debido a la característica de la cantidad de fuerza que los sistemas hidráulicos proporcionan, y a la velocidad de operación adecuada para el sistema de compactación Pet se determinó usar esta tecnología en el trabajo de titulación teniendo que generar condiciones óptimas de funcionamiento para dicho sistema hidráulico además de presentar características adicionales como:

- Transmisión de grandes fuerzas a tamaño relativamente reducidos de actuadores.
- El funcionamiento bajo carga completa es posible desde reposo.
- Simple protección contra sobrecargas.
- Desarrollo de movimientos rápidos y también lentos que serán controlables.

2.4.1. *Diseño del Circuito Hidráulico*

El circuito hidráulico mostrado en la **Figura 11-2** fue desarrollado en el programa Fluidísimo 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.

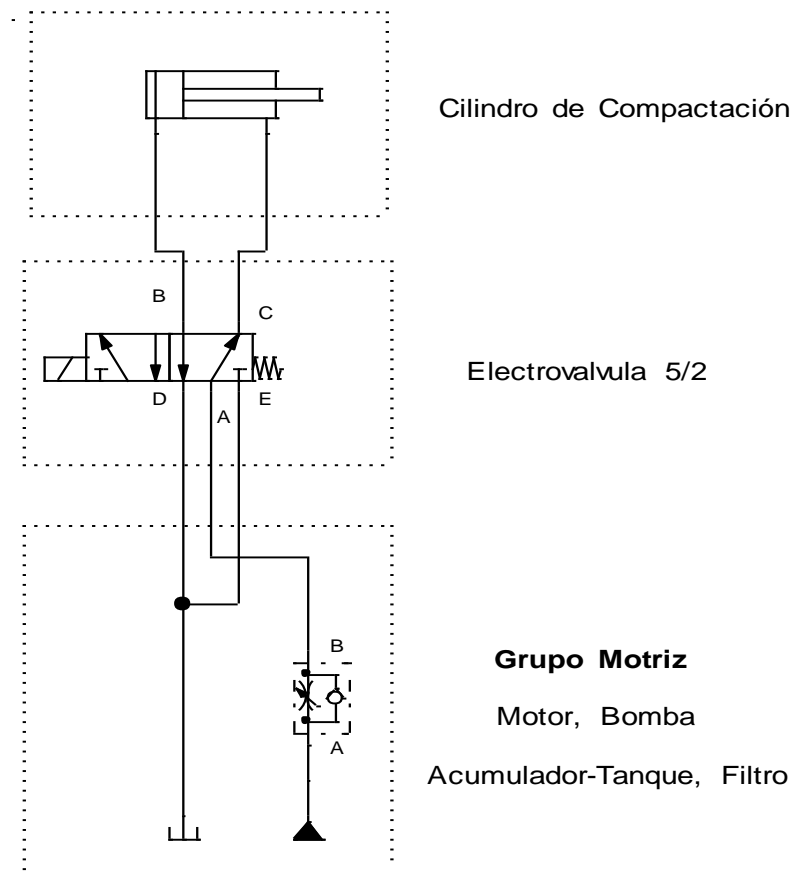


Figura 11-2. Circuito Hidráulico



Fuente: Tipán Rolando, 2017

2.4.2. Selección del Cilindro Hidráulico

Como una de las partes fundamentales del sistema hidráulico tenemos el actuador (cilindro hidráulico), elemento encargado de realizar la presión sobre las botellas plásticas a compactar.

Para la selección del cilindro hidráulico, se tomó en cuenta los equipos que se encuentren en el mercado ecuatoriano, teniendo así en la **Tabla 12-2** una comparación de dos cilindros de diferentes marcas.

Tabla 12-2. Comparación de cilindros hidráulicos

<p>Modelo de Cilindro</p> <p>Características</p>	 <p>Cilindro d.e.4070/80300</p>	 <p>Hydropneu Type 55</p>
Carrera :	300 mm	200 mm
Presión de trabajo Max:	200 Bar	100 Bar-16 Mpa
Velocidad :	Mín.: 0 m/s - (0 ft/s) Máx.: 0.5 m/s - (1.64 ft/s)	Mín.: 0 m/s - (0 ft/s) Máx.: 0.5 m/s - (1.64 ft/s)
Temperatura de trabajo :	-25° / +80°.	-
Fluido :	Aceite mineral	Aceite mineral
Tipo	Doble Efecto	Doble Efecto

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Después de realizar la comparación técnica de los cilindros hidráulicos, se estableció que el cilindro de marca Hydropneu tiene las características de compresión que se requieren con un nivel máximo de 100 Bar, y un recorrido de 20 cm, observando las características de dicho dispositivo en la **Tabla 13-2**.



Figura 12-2. Cilindro Hidráulico

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/14757-2973495.jpg

Tabla 13-2. Información técnica del cilindro

Características	Descripción
Carrera	200 mm
Diámetro del cilindro	50 mm
Presión de trabajo Max	100 Bar-16 Mpa
Tipo	Doble Efecto
Área	8.423 cm ²
	13.744 cm ²
Velocidad	Mín.: 0 m/s - (0 ft/s)
	Máx.: 0.5 m/s - (1.64 ft/s)

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

2.4.3. 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 de la **Tabla 14-2** generada en un estudio previo de una máquina compactadora manual desarrollada en Perú, la cual nos muestra que el mayor nivel de compactación de botellas pequeñas se genera con 700 N.

Tabla 14-2. Estudios previos de compactación manual de botellas

Botella	Características				
	Capacidad litros	Masa kg	Diámetro mm	Fuerza Aplicada Newton	Reducción de volumen (%)
Pequeña	0.525	0.025	70	200-300	30
				600-700	50
Grande	3	0.075	120	300-400	50
				1100-1300	60

Fuente: Patiño, A. (2013). *Diseño y construcción de una máquina Compactadora manual de botellas de Plástico Pet*
 Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Tomando en cuenta que los siguientes parámetros para el diseño del circuito hidráulico:

- Fuerza requerida para comprimir un envase Pet = 700 N.
- Las pérdidas en el filtro de retorno son de 0.2 bar.
- Las pérdidas de carga en la válvula distribuidora son de 0.1 bar.

Determinamos un tiempo promedio de compresión por botella que es de 5 seg Destacando que este es un valor aproximado de compactación, valor que puede variar dependiendo de la calibración del sistema.

Para la velocidad media de salida del vástago en donde se realiza el mayor consumo de caudal, se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$V = \frac{L}{t}$$

Ecuación 2-5. Velocidad media del vástago

En donde:

V= Velocidad media del vástago

L =Longitud de carrera

t =tiempo de compactación

$$V = \frac{L}{t} = \frac{0.2}{10} = 0.02 \frac{m}{s}$$

$$Q1 = V.A1$$

Ecuación 2-6. Caudal del cilindro

En donde:

Q1 = Caudal del cilindro

L = Longitud de carrera

A1 = Área del cilindro

$$Q1 = V.A1 = 0.02 * 13.744 * 10^{-4} = 0.000027488 \frac{m^3}{s} = 1.64928 \text{ litros/min}$$

Calculamos la presión de trabajo sin tener en cuentas las pérdidas generadas.

$$p1 = \frac{F}{A1}$$

Ecuación 2-7. Presión de trabajo sin pérdidas

En donde:

p1 = Presión de trabajo sin perdidas

F = Fuerza requerida para presión de botellas Pet

A1 = Área del cilindro

$$p1 = \frac{F}{A1} = \frac{700 \text{ N}}{13.744 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 50931.31 \frac{N}{m^2} = 50.93 \text{ bar}$$

Estableciendo la bomba para el sistema hidráulico con los valores calculados y con el uso de la **Figura 13-2** sin tener en cuenta las pérdidas del sistema:

Tamaño constructivo			TC2						
Tamaño nominal	TN		6,3	8	11	13	16	19	22
Masa ⁴¹	m	kg	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1
Rango de revoluciones ¹³	n_{min}	min ⁻¹	600						600
	n_{max}	min ⁻¹	3600						3000
Cilindrada	V	cm ³	6,5	8,2	11	13,3	16	18,9	22
Caudal ²¹	Q _v	L/min	9,4	11,9	16	19,3	23,2	27,4	31,9
Presión de servicio, absoluta			0,6 hasta 3						
- Entrada	p	bar	0,6 hasta 3						
- Salida, continua	p_{max}	bar	210	210	210	210	210	210	180
- Salida, intermitente ³¹	p_{max}	bar	250	250	250	250	250	250	210
Potencia de accionamiento min. requerida para $\Delta p = 0$ bar			0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,1	1,1

Figura 13-2. Datos nominales de Bombas

Fuente: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/neumatica/Practica%20Oleohidraulica%20Sol.pdf>

Para selección de la bomba de tamaño nominal 6.3 que produce 9.4 l / min, se tomó de la **Figura 2-13** que presenta los parámetros más adecuados para el funcionamiento del sistema hidráulico.

Posteriormente se determina las pérdidas generadas por el circuito hidráulico.

Para calcular las pérdidas de carga en el movimiento de salida del vástago, con el caudal generado por la bomba, se utilizó la siguiente ecuación.

$$V = \frac{Q1}{A1} = \frac{Q2}{A2}$$

Ecuación 8-2. Velocidad de fluido en la tubería

$$Q2 = Q1 \cdot \left(\frac{A1}{A2}\right) = 9.4 \frac{l}{m} * \frac{84.23 \text{ mm}}{167.44 \text{ mm}} = 4.723 \text{ l/min}$$

Conocido el caudal podemos determinar la velocidad en el interior de las tuberías

$$V = \frac{Q2}{A \text{ tub}}$$

Ecuación 9-2. Velocidad en tuberías

En donde:

V= velocidad en el interior de las tuberías

Atub=Área de la tubería

$$V = \frac{4 \cdot Q2}{\pi \cdot (d \text{ tub})^2} = \frac{4 \cdot 4.723 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0.008^2 \cdot 60} = 1.566 \frac{m}{s}$$

Para calcular la número de Reynolds y el coeficiente de rozamiento de la tubería f.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Ecuación 10-2. Numero de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{1.566 \cdot 0.008}{50 \cdot 10^{-6}} = \frac{0.012528}{0.00005} = 250.56$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{250.56} = 0.255428 \quad \text{Ecuación 11-2. Coeficiente de rozamiento}$$

Para el Cálculo la pérdida de carga en la tubería

$$\Delta P1 = f \cdot \left(\frac{l}{D}\right) \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} = 0.255428 \cdot \frac{3}{0.008} \cdot 830 \cdot \frac{1.566^2}{2} = 97483.56 \text{ Pa} = 0.975 \text{ Bar}$$

En donde:

$\Delta P1$ =pérdida de carga en la tubería

Para sumar las pérdidas del filtro de retorno y en la válvula distribuidora que es de **1.1 Bar** aproximadamente, se utilizó la siguiente fórmula.

$$\Delta P_t = \Delta P_t + \Delta P_f + \Delta P_v = 0.975 + 0.1 + 0.2 = 1.1 \text{ Bar} \quad \text{Ecuación 12-2. Perdidas del sistema}$$

En donde:

$\Delta P1$ =pérdida de carga en la tubería

ΔP_f = pérdidas del filtro de retorno

ΔP_v = pérdidas válvula distribuidora

Obtenemos la presión de trabajo total, sumando las pérdidas de presión del sistema más la presión de trabajo sin pérdidas:

$$P_t = \Delta P_t + p_1 = 1.1 + 50.93 = \mathbf{52.03 \text{ Bar}}$$
 Ecuación 13-2. Presión de trabajo Total

Del análisis anterior de los detalles técnicos de la bomba seleccionada anteriormente de tamaño nominal 6.3 que produce 9.4 l/min satisface las necesidades de caudal y de presión de trabajo requeridas para los sistemas hidráulicos.

2.4.4. *Electroválvulas hidráulicas*

La electroválvula hidráulica necesita una señal que de origen a la conmutación de naturaleza eléctrica en este caso proveniente del controlador Logo Siemens, la cual excita al solenoide que mediante acción magnética provoca el desplazamiento de un núcleo móvil permitiendo o no el paso del flujo de aceite hidráulico.

Para determinar la electroválvula hidráulica más adecuada para el trabajo de titulación se realizó una comparación técnica de dichos elementos descritos en la **Tabla 15-2**.

El sistema hidráulico seleccionado es de doble efecto, el cual necesita de dos vías de salida de la electroválvula, siendo este un requerimiento de la electroválvula seleccionada.

Tabla 15-2. Comparación de electroválvulas hidráulicas

Tipo de Electroválvula	Presión de trabajo Máxima	Caudal Máximo	Información adicional
Electroválvulas Cajón Direccionales Hidráulicas SWH G02 series 	31.5 Mpa 315 Bar 4568,69 Psi	63 l/min	Armadura mojada mandada por solenoide Cambio suave disponible Supresión de la oleada
Electroválvulas Hidráulicas Hanshang 4WE6 	315 Bar 31.5 Mpa 4568,69 Psi	120 l/min	Tipo: 2 posiciones, 5 vías Accionamiento: Piloto interno Consumo de 4.8 W Bobinas de 24 VDC, 110,220 ADC
Válvula direccional Serie RPE3-06 	4600 Psi 317,16 Bar 31,72 Mpa	10 g/min	Solo en modelos 4/2, 4/3 regreso por resorte Bobinas de 12,24 VDC, 110,220 ADC

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Después de realizar la comparación de las 3 electroválvulas hidráulicas se determinó que la electroválvula hidráulica de marca Hanshang presenta características de presión máxima de 315 Bar, y un manejo de 120 l/min el cual se ajusta al sistema hidráulico dimensionado, además de ser una electroválvula 5/2 que se adapta al manejo de nuestro cilindro hidráulico y presentando disponibilidad en el mercado.



Figura 14-2. Electroválvula hidráulica

Fuente: <http://www.destacoingenieros.com/wp-content/uploads/2017/03/control-direccional.jpg>

La **Figura 14-2** muestra datos técnicos del tipo de electroválvula utilizada en el sistema hidráulico mientras que en la **Tabla 16-2** indica características técnicas de las electroválvula 5/2.

Tabla 16-2. Datos técnicos de Electroválvulas

Características	Descripción
Modelo	4WE5
Tipo	2 posiciones, 5 vías
Accionamiento	Piloto interno
Presión de trabajo	315 Bar 31.5 Mpa 4568,69 Psi
Consumo	4.8 W, solenoide de 24 VDC



Realizado por: Tipán Rolando, 2017

2.5. Diseño del contenedor

El contenedor es un elemento indispensable para depósito de las botellas plásticas Pet, el diseño estructural se lo realiza en software CAD, que nos permite plantear el diseño adecuado y las características de construcción del contenedor.

La **Tabla 17-2** realiza una comparación de 2 tipos de software de diseño CAD los cuales son los más utilizados en el medio de diseño industrial.

Tabla 17-2. Se muestra una Comparación de software de diseño CAD

<p style="text-align: center;">Software CAD</p> <p>Características</p>		
Modelado preciso en dimensiones	X	
Simulación de Materiales: Mecanismos, Resistencia	X	
Generación de Planos técnicos	X	
Modelado libre		X
Edición de Operaciones iniciales	X	
Facilidad de modelado a superficies orgánicas		X

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Debido a las características, modelado como la de modelado y generación de planos técnicos, se determinó que Solidworks es la herramienta CAD más adecuada para diseño estructural del contenedor para el sistema de compactación.

Dimensionamiento del contenedor

Para el dimensionamiento del contenedor se procedió con el diseño con el diseño estructural necesario para su posterior construcción, tomando en cuenta la siguiente información:

A= Longitud de la base del área superior

B= Longitud del área lateral

C= Altura del área superior

F = Altura del área inferior

P = Altura del área inferior

X = Área de la base

A = 1 m

B = 60 cm

C = 30 cm

A. Lateral = P X h

$$A. \text{ Total} = \text{Área lateral} + 2X$$

$$\text{Volumen} = X \times h$$

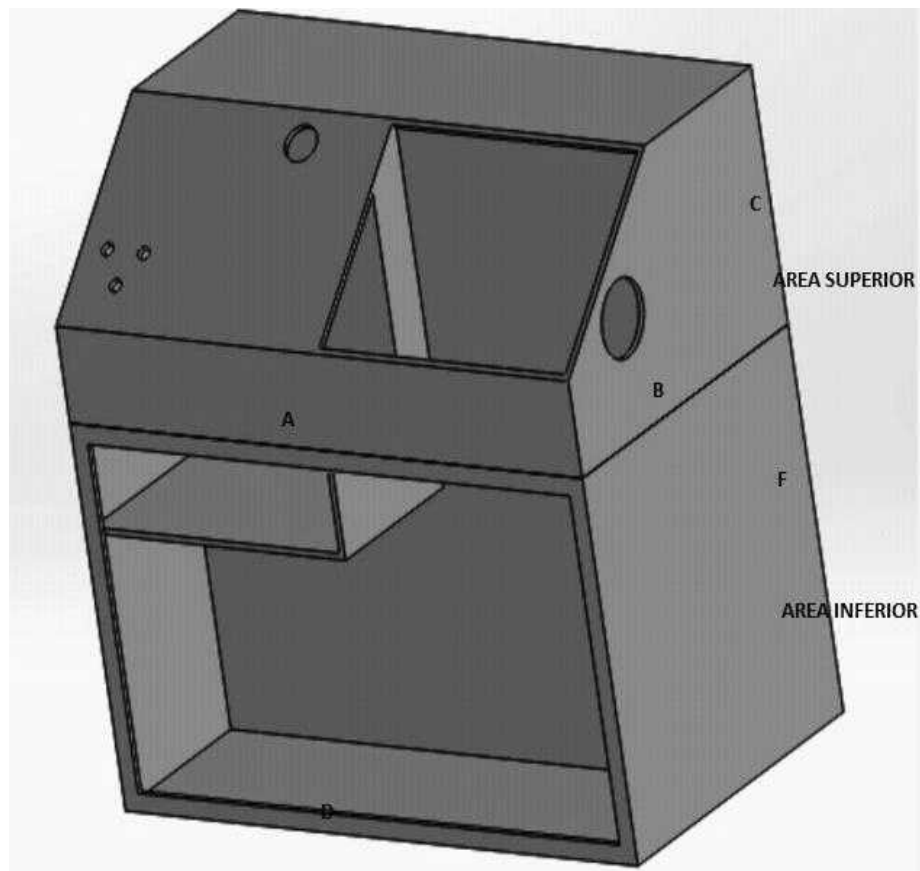


Figura 15-2. Diseño Estructural de contenedor

Fuente: Tipán Rolando, 2017

Para Determinar el perímetro lateral de parte superior se utilizó la siguiente expresión:

$$P1 = 1 + 0.6 + 0.3$$

Ecuación 14-2. Perímetro lateral superior

$$P1 = 1.9 \text{ m}$$

Se establece el área lateral del contenedor:

$$A_{\text{lateral}} = P \times X$$

Ecuación 15-2. Área lateral superior

$$A_{\text{lateral}} = 1.9 * 0.30$$

$$A_{\text{lateral}} = 0.57 \text{ m}^2$$

Calculo del área superior total

$$A_{\text{superior Total}} = A_{\text{Lateral}} + 2x$$

Ecuación 16-2. Área superior Total

$$A_{\text{superior Total}} = 0.57 + 2x$$

Calculo del área de la base

$$X = AxB$$

Ecuación 17-2. Área de la base

$$X = 1 \times 0.6$$

$$X = 0.6 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{superior Total}} = 0.57 + 2(0.60)$$

$$A_{\text{superior Total}} = 1.77 \text{ m}^2$$

Cálculo del área inferior total

Se determina el perímetro lateral:

$$P2 = 1 + 0.6 + 0.7$$

$$P2 = 2.3 \text{ m}$$

Calculo del área lateral del contenedor:

$$A_{\text{lateral}} = PxX$$

Ecuación 18-2. Área lateral inferior

$$A_{\text{lateral}} = 2.3 \times 0.70$$

$$A_{\text{lateral}} = 1.61 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{base}} = 1 \times 0.60$$

$$A_{\text{base}} = 0.60 \text{ m}^2$$

Calculo el área inferior total

$$A_{\text{inferior total}} = \text{area lateral} + 2x$$

$$A_{\text{inferior total}} = 1.61 \times 2(0.60)$$

$$A_{\text{inferior total}} = 2.81 \text{ m}^2$$

Una vez determinadas el área inferior y superior procedemos a calcular el área total del contenedor.

$$Area_{\text{total}} = A_{\text{inferior total}} + A_{\text{superior total}}$$

Ecuación 19-2. Área Total

$$Area_{\text{total}} = 2.81 \text{ m}^2 + 1.77 \text{ m}^2$$

$$Area_{\text{total}} = 4.58 \text{ m}^2$$

Teniendo así las características descritas en la **Tabla 18-2** las cuales fueron las dimensiones reales de construcción.

Tabla 18-2. Dimensiones finales del contenedor

Características	Valor
Área Inferior	2.81 m ²
Área Superior	1.77 m ²
Área total	4.58 m ²
Material	Tol Galvanizado

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

La **Figura 16-2** visualiza el área en donde se alojan las botellas y donde se realiza el proceso de compactación.

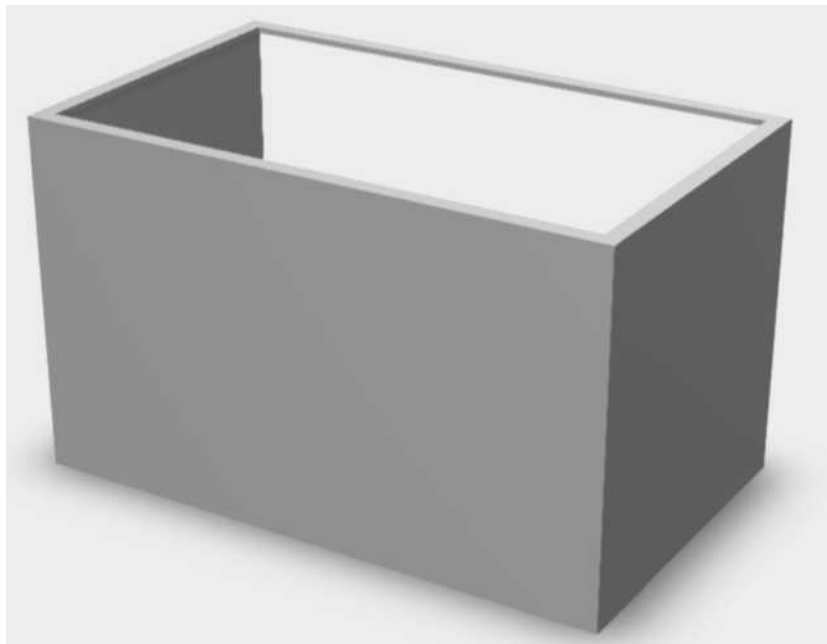


Figura 16-2. Área de compactación

Fuente: Tipán Rolando, 2017

Además de tener el área de compactación tenemos el área en donde se alojan los elementos electrónicos de control, cilindros, electroválvulas y demás elementos utilizados, esta área se denomina como área superior como se lo puede ver en la **Figura 17-2**:

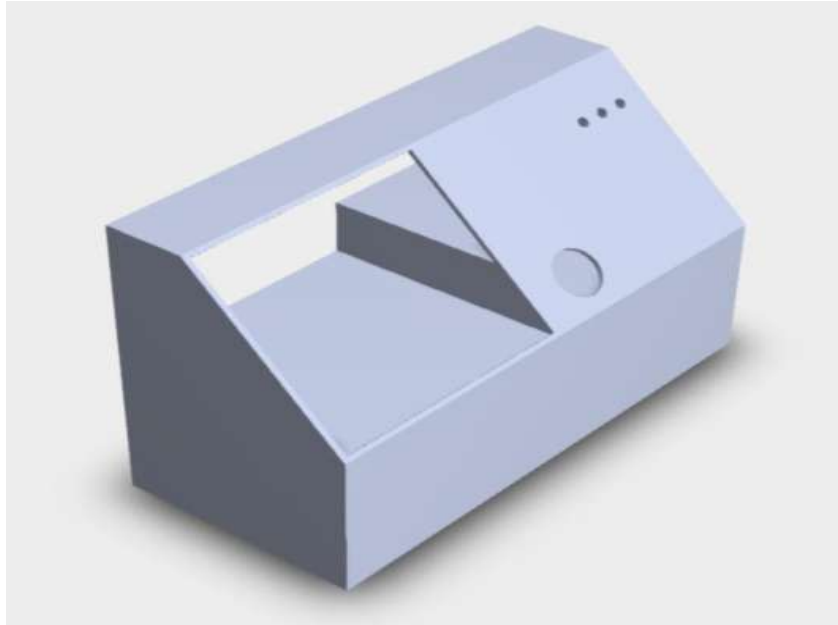


Figura 17-2. Área superior

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La **Figura 18-2** visualiza la estructura completa del sistema completo de compactación.

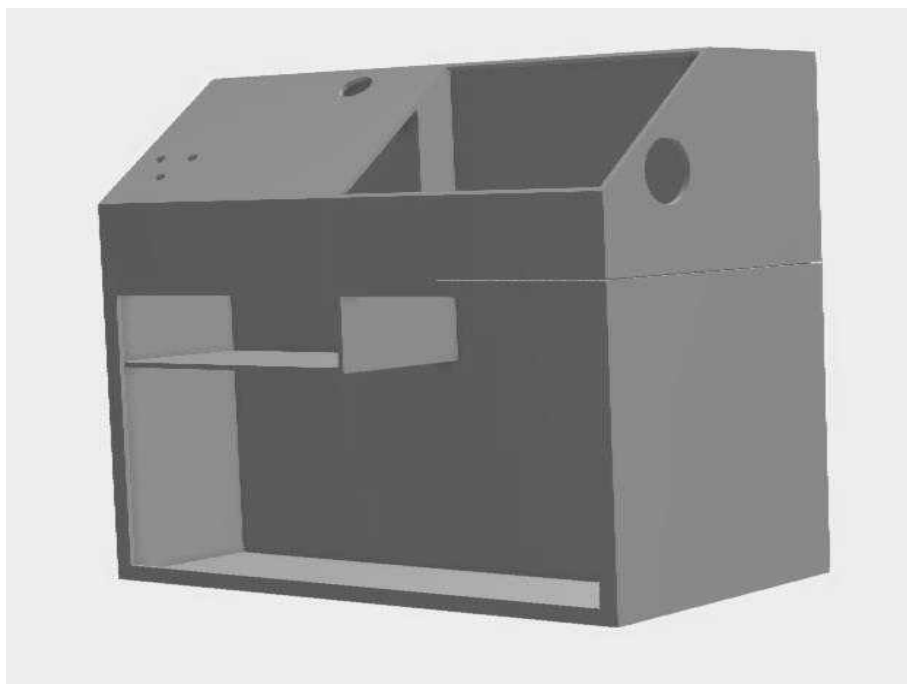


Figura 18-2. Estructura del compactador

Fuente: Tipán Rolando, 2017

Con los parámetros especificados en el diseño estructural se construyó el contenedor de las botellas Pet y del sistema automático del trabajo de titulación, como se puede observar en la **Figura 19-2** en vista frontal.



Figura 19-2. Estructura final del contenedor

Fuente: Tipán Rolando, 2017



Figura 20-2. Vista lateral del contenedor

2.5.1. Programación del sistema de compactación automático

Desarrollo del sistema de control en Siemens Logo

Para el sistema de control que se programó en el controlador de siemens Logo se utilizó una programación de tipo ladder la cual se basa en la utilización de contactos los cuales pueden representar o un proceso de una variable es decir un contacto I1 representa el pulsador de inicio del sistema y una memoria M1 puede representar una salida física del sistema.

Teniendo en la **Figura 21-2** y **Figura 22-2** la programación utilizada en el controlador Logo:

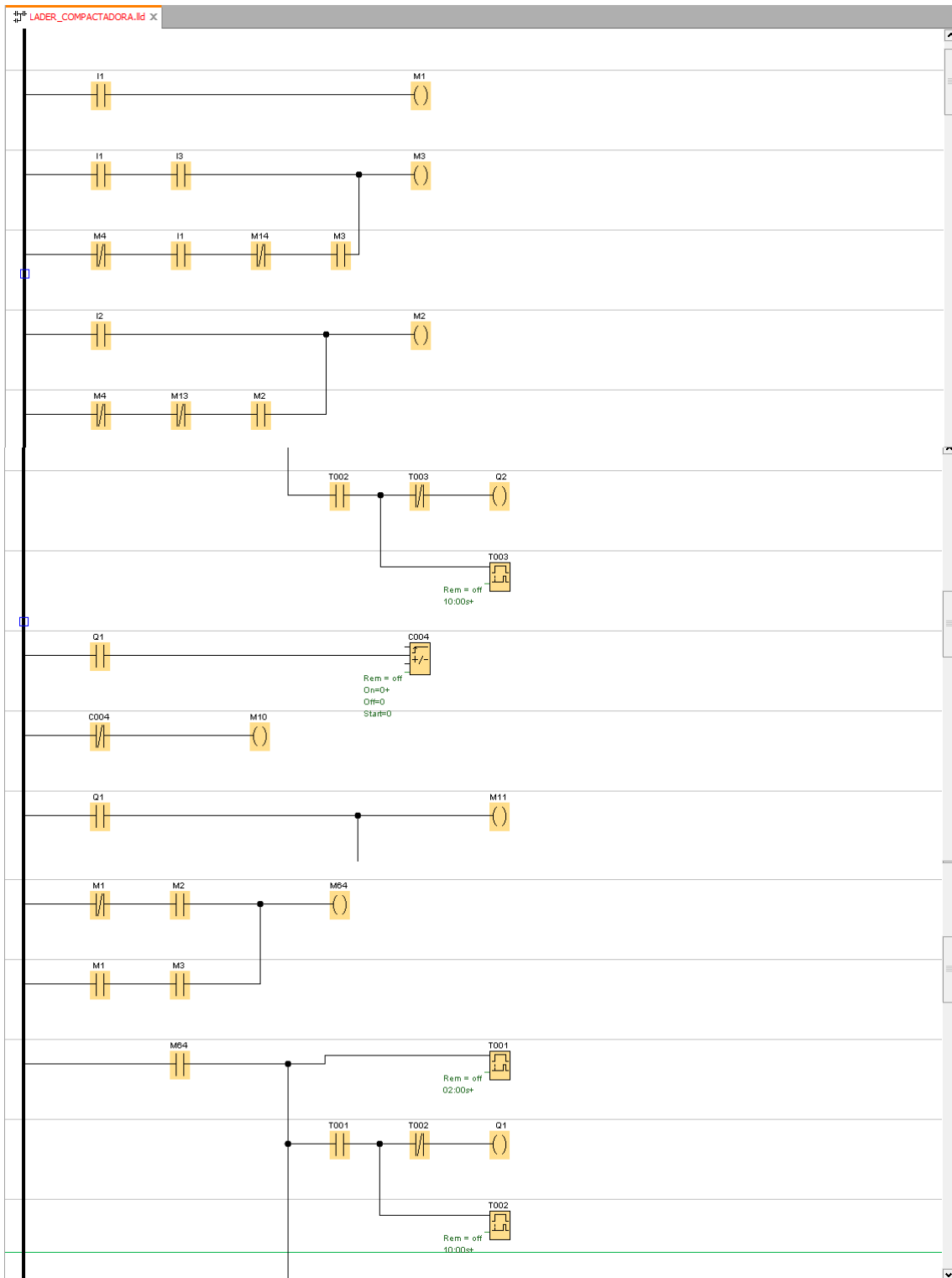


Figura 21-2. Programación Ladder Logo Siemens Parte 1

Fuente: Tipán Rolando, 2017

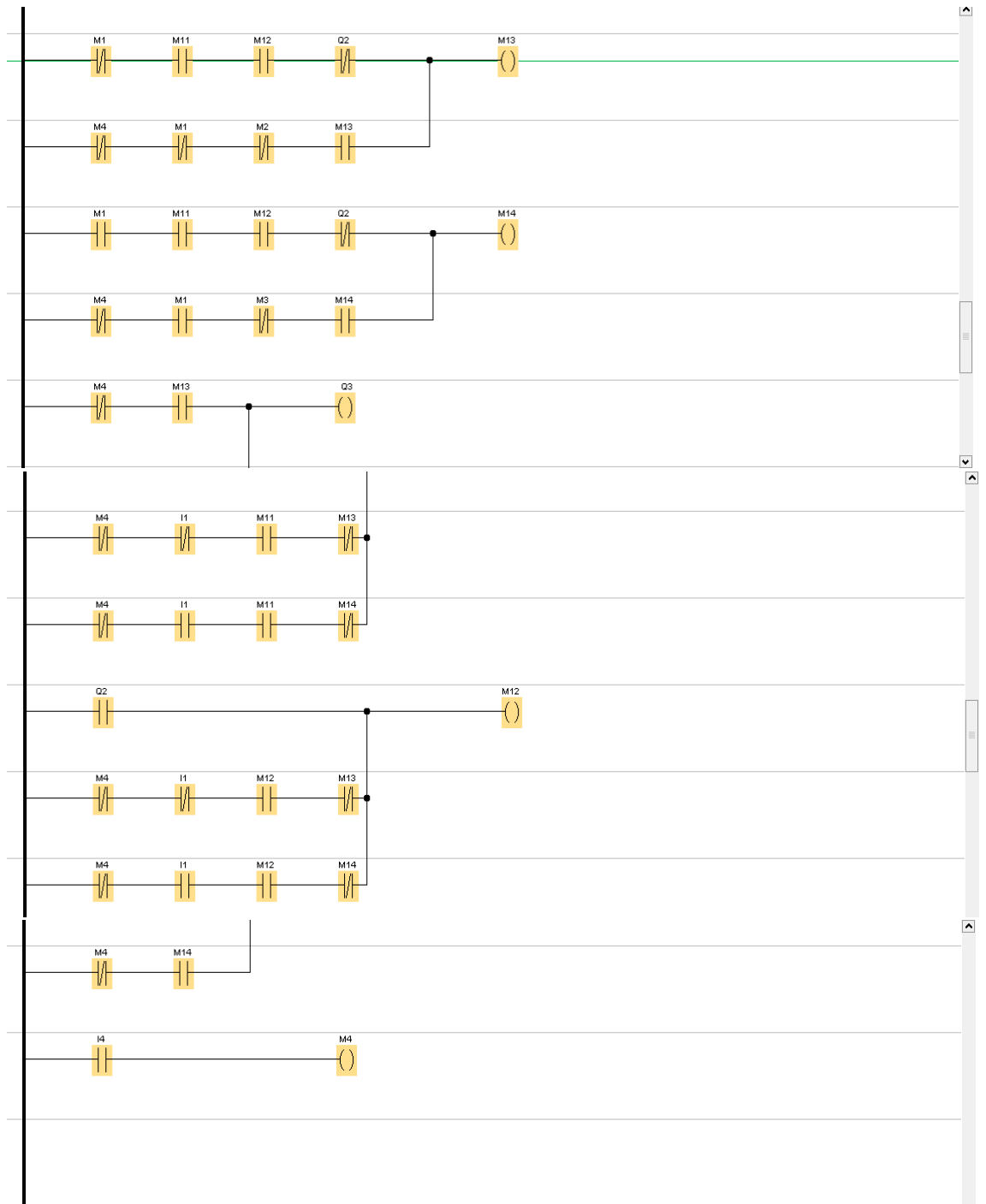


Figura 22-2. Programación Ladder Logo Siemens Parte 2

Fuente: Tipán Rolando, 2017

Desarrollo de sistema de monitoreo en Labview

El software desarrollado por National Instruments es una fuerte herramienta de entorno de programación gráfica, en donde se visualiza los datos adquiridos en forma Bool o String en donde se mostraran ya sea en forma gráfica o numérica.

Las ventajas que ofrece Labview con respecto a su utilización en el trabajo de titulación y que se consideró para su uso son las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de aplicaciones, ya que es intuitivo y fácil de aprender.
- Flexibilidad del sistema, permite cambios y actualizaciones de software como hardware.
- Con un sistema de desarrollo se integran funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- Compilador grafico para lograr máxima velocidad de ejecución.
- Posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Labview puede integrar las funciones de adquisición de datos directamente con el controlador Arduino Uno, mediante la utilización de librerías descargables la cual facilita la transición de información del hardware hacia la aplicación.

Para mostrar el estado de los sensores y controlar a los actuadores hidráulicos se utilizó señales Booleanas y en el caso de las celdas de carga valores numéricos, las cuales se mostraran en forma gráfica en el entorno de Labview.

Un servidor OPC se encarga de la comunicación entre el Logo siemens y la aplicación el Labview, una vez instalado el servidor OPC se realizó la conexión de dicho servidor con la aplicación que se desarrolló en Labview mediante los siguientes pasos:

Paso 1: Añadir un nuevo servidor I/O y escoger un OPC cliente V5 como podemos ver en la **Figura 23-2.**

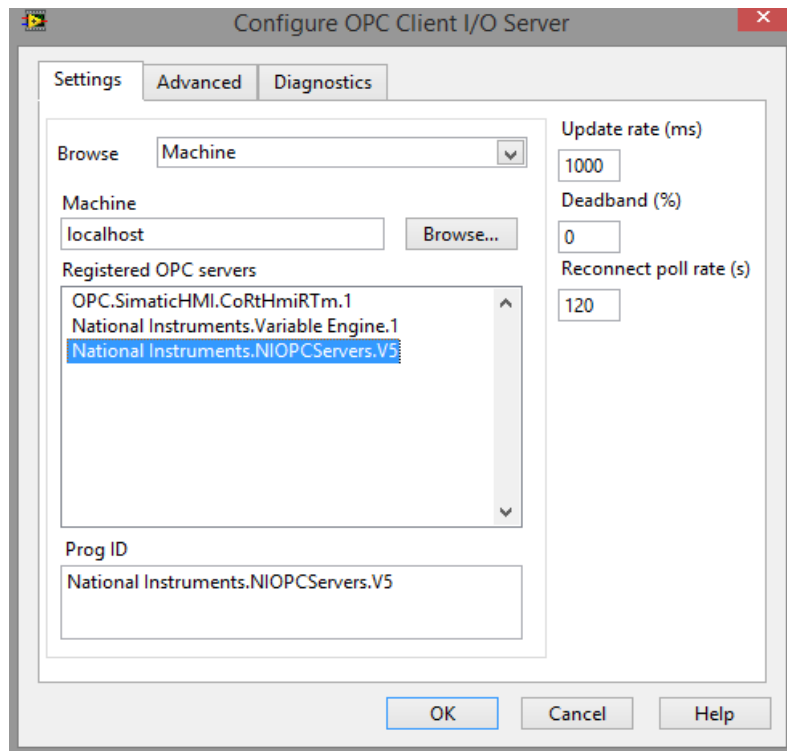


Figura 23-2. Configuración OPC Client

Fuente: Tipán Rolando, 2017

Paso 2: Añadir las Tags o variables previamente definidas en el servidor OPC como se indica en la **Figura 24-2**.

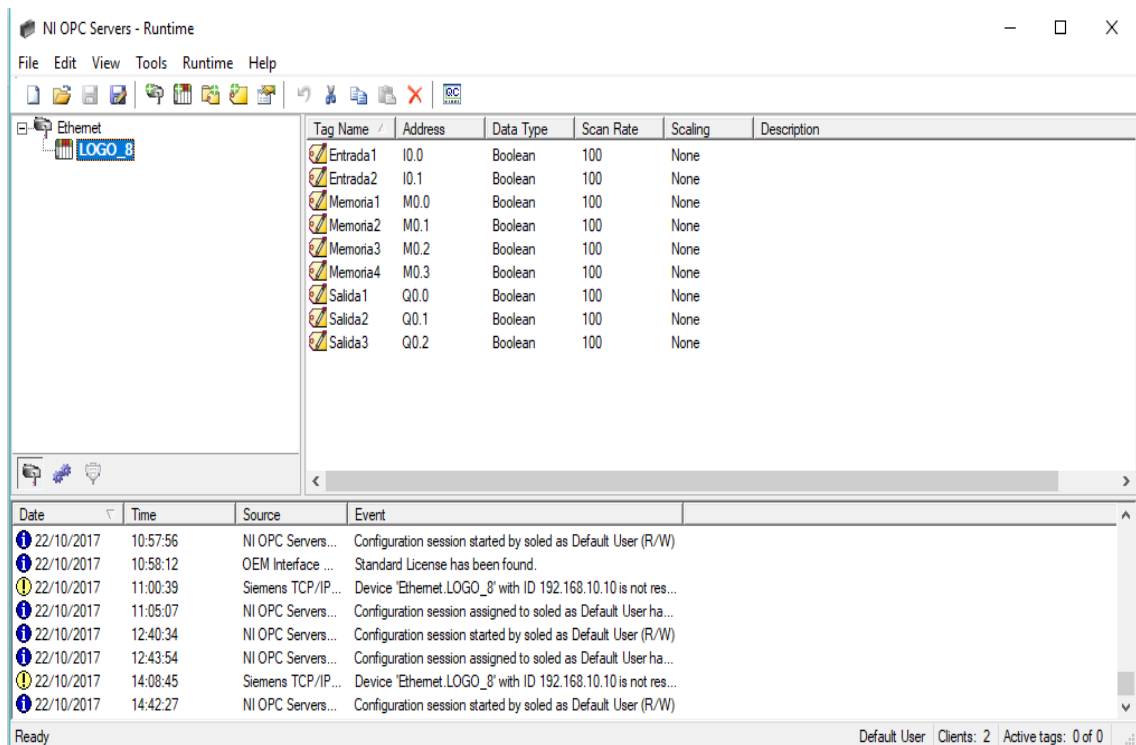


Figura 24-2. Variables en el Servidor OPC

Fuente: Tipán Rolando, 2017

Una vez establecidas las variables en la aplicación de Labview se pueden utilizar dichas variables para realizar la programación para el monitoreo y control del proceso de compactación. En la **Figura 25-2** podemos observar la programación realizada en Labview la cual se basa en una programación por bloques.

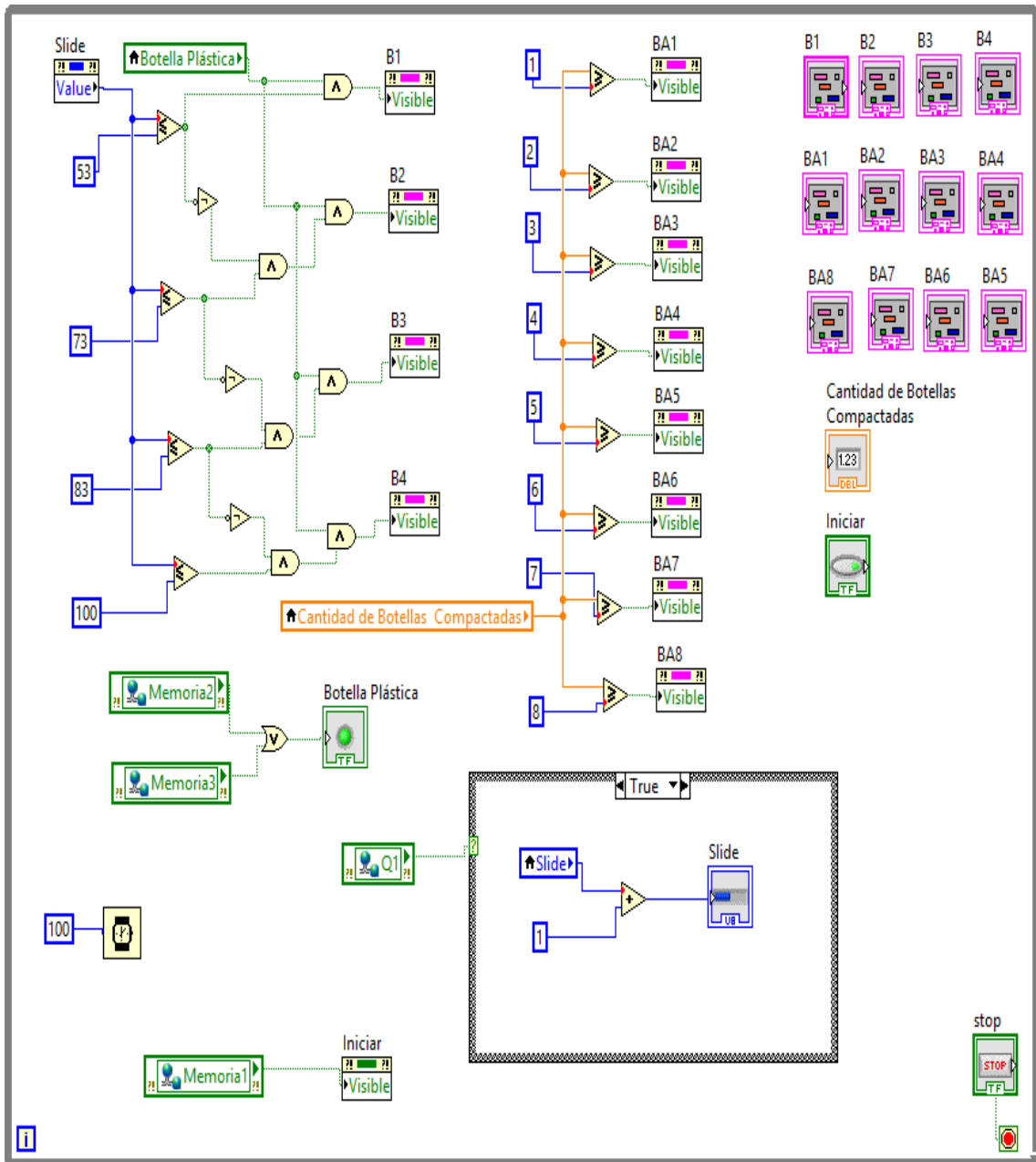


Figura 25-2. Programación del sistema de control y monitoreo en Labview

Fuente: Tipán Rolando, 2017

2.6. Sistema de control

Mediante el estudio realizado de todos los elementos que componen el sistema de compactación Pet, el sistema de control utilizado en el trabajo de titulación es el control de lazo abierto, ya 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. Teniendo el esquema del sistema de control indicado en la **Figura 26-2**.

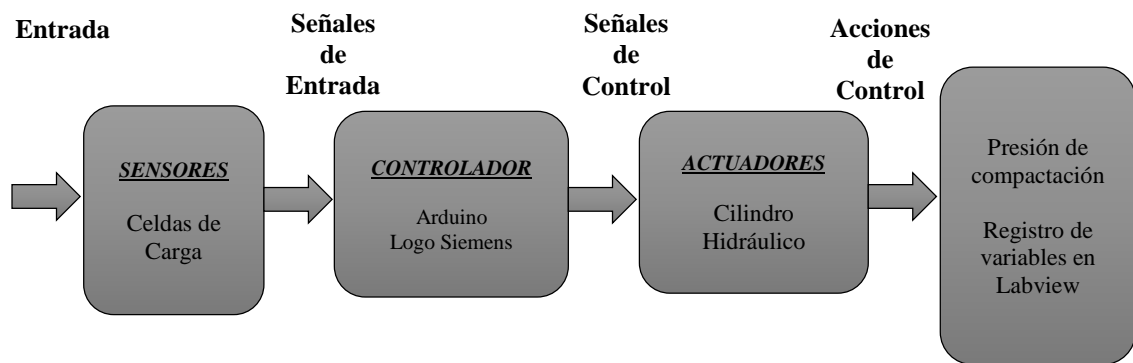


Figura 26-2. Sistema de control de lazo abierto

Fuente: Tipán Rolando, 2017

CAPITULO III




3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se tratarán los resultados obtenidos al realizar la implementación del trabajo de titulación, estableciendo individualmente los procesos que componen el sistema final.

3.1. Pruebas de sensado de botellas plásticas Pet

Para determinar si el tipo de botella es el adecuado para su ingreso en el sistema y la activación del mismo, se determinó realizar pruebas con diferentes tipos de botella indicadas en la **Tabla 1-3**.

Tabla 1-3. Tipos de Botellas Plásticas Pet

Tipo de Botella	Peso Neto Vacía
1	10 g 
2	12 g 
3	14 g 

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Con un número determinado de 3 tipos de botellas se procedió a realizar pruebas de medición de peso, en donde cada botella ingresa individualmente al sistema mostrando cuál es el peso de cada

una de las botellas, para así poder determinar un rango de peso las botellas plásticas Pet que pueden ingresar al sistema.

Teniendo un valor obtenido de peso para el sistema, este no permitirá el accionamiento de las electroválvulas si el peso no corresponde al rango establecido de una botella plástica, evitando así la compactación de botellas de vidrio o de otro tipo de material. Además de contar con la restricción de tamaño por botellas al tener la estructura del contenedor medidas para un solo tamaño de botellas Pet.

El número de mediciones realizadas para el análisis fue de 20 para los 3 tipos de botella descritas en la **Tabla 2-3**, ya que se consideró que es un número representativo de muestras para obtener un resultado aceptable, teniendo en cuenta que los valores tienden a repetirse.

Tabla 2-3. Pruebas de peso del sistema Automático

Número de prueba	Tipo de Botella	Peso Real (gramos)	Peso del Sistema Automático (gramos)
1	1	10 g	9 g
2	1	10 g	8 g
3	1	10 g	9 g
4	1	10 g	9 g
5	1	10 g	10 g
6	1	10 g	10 g
7	1	10 g	9 g
8	2	12 g	11 g
9	2	12 g	12 g
10	2	12 g	11 g
11	2	12 g	12 g
12	2	12g	11 g
13	2	12 g	11 g
14	2	12 g	12 g
15	3	14 g	14 g
16	3	14 g	14 g
17	3	14 g	14 g
18	3	14 g	13 g
19	3	14 g	13 g
20	3	14 g	14 g

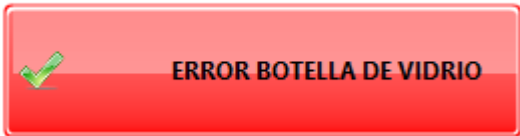

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Identificación de botellas

El sistema calibrado con el nivel de peso de las botellas plásticas Pet puede identificar si se colocan botellas de otros materiales como el vidrio, ya que el peso de las botellas de plástico se registrará bajo un peso de los 8 a los 14 gramos.

Una vez identificado el tipo de botella el sistema automático genera un mensaje en la pantalla de acuerdo al tipo de botella que se ha ingresado, como se puede observar en la **Tabla 3-3**.

Tabla 3-3. Mensajes de identificación de botellas

Tipo de Botellas	Mensaje
Vidrio	SISTEMA OFF 
Plástico	COMPACTACION EN PROCESO 

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Al ingresar botellas de vidrio al sistema este se detendrá sin accionar el sistema hidráulico, mientras que cuando se ingrese una botella de plástico al sistema este continuara con el proceso de compactación.

3.2. Pruebas del Sistema Automático de Compactación Pet

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.

Las pruebas realizadas se indican en la **Tabla 4-3**, destacando que se ingresó botellas Pet de 500ml de diferentes fabricantes.

Tabla 4-3. Pruebas de tiempo de compactación

Pruebas	Tiempo de compactación (segundos)
1	10 s
2	9 s
3	10 s
4	10 s
5	11 s
6	9 s
7	10 s
8	9 s
9	10 s
10	9 s
11	10 s
12	9 s
13	10 s
14	9 s
15	10 s
16	10 s
17	10 s
18	9 s
19	10 s
20	10 s
21	10 s
22	11 s
23	9 s
24	9 s
25	10 s
26	10 s
27	10 s
28	10 s
29	10 s
30	11 s

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

De los resultados obtenidos de la **Tabla 4-3** del tiempo de compactación realizamos un análisis para realizar una tabla de frecuencias **Tabla 5-3**, que determina el valor de tiempo de compactación que se utilizó para la programación del controlador.

Tabla 5-3. Tabla de Frecuencias

Tiempo de compactación (s)	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
11	3	0.10	0.10
9	9	0.30	0.40
10	18	0.60	1.00

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Como se puede observar en la **Tabla 5-3** el tiempo de compactación predominante es de 10 seg en donde la botella queda completamente compactada, además en la **Figura 1-3** podemos visualizar gráficamente dicho resultado.

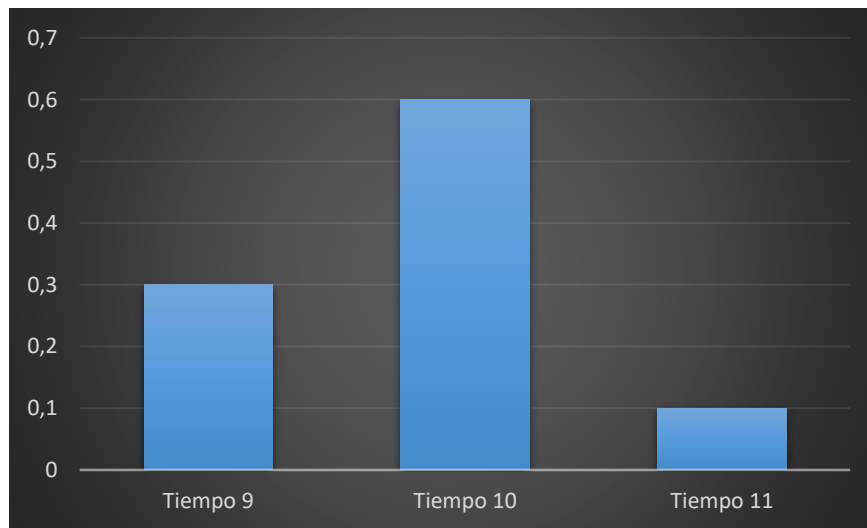


Figura 1-3. Frecuencia relativa-tiempos de compactación

Fuente: Tipán Rolando, 2017

3.2.1. *Presión en el cilindro hidráulico*

La presión de trabajo del cilindro hidráulico se calibró mediante el dimensionamiento del sistema y en base a los requerimientos de nivel de fuerza aplicada sobre la botella plástica Pet para su compactación, como se ve en la **Figura 2-3** el manómetro marca una presión de aproximada de 50 Bar la cual se encuentra en el nivel calculado.



Figura 2-3. Presión de trabajo del cilindro hidráulico

Fuente: Tipán Rolando, 2017

3.3. Nivel de compactación

Como resultado de la compactación del sistema logramos reducir la cantidad de espacio ocupado por las botellas plásticas Pet, siendo esta un factor importante del desarrollo del trabajo de titulación, para determinar la cantidad que el sistema logra reducir las botellas plástica Pet, se realizar pruebas de ello con diferentes cantidades como se muestra en la **Tabla 6-3**.

Tabla 6-3. Pruebas de compactación

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

Realizado por: Tipán Rolando, 2017

Nivel de compactación:

$$\text{Compactación} = (\text{antes de compactación} - \text{despues de compactación})$$

Ecuación 1-3. Nivel de compactación

$$\text{Compactación} = 7.2 - 3 = 4.2 \text{ cm}$$

$$\% \text{ de compactación} = \frac{4.2 * 100}{7.2} = 58.33 \%$$



Figura 3-3. Porcentaje de compactación por botella

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La **Figura 4-3** muestra la compactación de la botella plástica Pet la cual representa casi en un 60% de su volumen inicial.



Figura 4-3. Botella compactada

Fuente: Tipán Rolando, 2017

3.4. Pruebas del sistema automático en Labview

3.4.1. Interfaz del Sistema

El sistema automatizado de compactación se maneja bajo una interfaz de visualización amigable para el usuario utilizada para el control y monitoreo en Labview identificada en la **Figura 5-3**, además de poder tener un control individual del sistema es decir podemos iniciar o parar el proceso de compactación del sistema con los botones en la interfaz.

El sistema registra la información del número de compactación de botellas, pudiendo generar reportes diarios, mensuales o anuales de toda la información generada.



Figura 5-3. Pantalla de control del sistema de compactación

Fuente: Tipán Rolando, 2017

3.4.2. Funcionamiento de la interfaz del sistema compactador

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 que el cilindro hidráulico está realizando el proceso de compactación mostrada en la **Figura 6-3**.



Figura 6-3. Pantalla de Funcionamiento del sistema

Fuente: Tipán Rolando, 2017

3.5. Análisis económico del Sistema de Compactación

La **Tabla 7-3** indica el valor generado por el desarrollo y la implementación del sistema automático.

Tabla 7-3. Costos de desarrollo e ingeniería

Actividad	Horas de trabajo	VALOR/HORA	VALOR TOTAL
Diseño del sistema Eléctrico y electrónico	60	4,92	295,2
Dimensionamiento del sistema hidráulico	60	4,92	295,2
Construcción del contenedor	50	4,92	246
Instalación y Pruebas del sistema	80	4,92	393,6
		VALOR TOTAL	1230

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La **Tabla 8-3** muestra el costo de los dispositivos y materiales utilizados en la implementación del sistema automático de compactación

Tabla 8-3. Costo Económico del sistema

Elementos	Valor USD
Bomba Hidráulica	1200
Motor	
Depósito	
Cilindro Hidráulico	120
Electroválvula	50
Manguera y elementos de conexión Hidráulica	150
Siemens Logo	230
Arduino	20
Celdas de Carga y módulo	20
Cables de conexión	10
Estructura Metálica	450
COSTO TOTAL	2250

Fuente: Tipán Rolando, 2017

La **Tabla 9-3** especifica el costo total del sistema donde se suman el costo de desarrollo e ingeniería más el costo de los dispositivos y los materiales utilizados.

Tabla 9-3. Costo total del sistema

Desarrollo e ingeniería	1230
Dispositivos y elementos	2250
COSTO TOTAL DEL SISTEMA	3480

Fuente: Tipán Rolando, 2017

CONCLUSIONES

La implementación del sistema automático 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 residuos plásticos determinó que en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo el nivel generado semanalmente es de 1,06 metros cúbicos, El sistema automático de compactación capacidad tiene la capacidad de compactar dicho volumen de botellas plásticas Pet.

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 del 58 %.

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.

Con la reducción del volumen de los residuos de plásticos Pet se facilita el proceso de transporte y de almacenaje de botellas compactadas, incentivando al proceso de reciclaje desde el sitio donde se generan los residuos plásticos, disminuyendo el nivel de residuos plásticos que contaminan el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

Incorporar una pantalla HMI al sistema automático de compactación Pet, la cual muestre la información que genera el sistema en tiempo real hacia los usuarios.

Establecer mantenimientos periódicos del sistema hidráulico ya que por la naturaleza del sistema tiende a acumular elementos externos como polvo o suciedad que pueden afectar su normal funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

BUSTOS, A. *Sistemas Electrónicos Para Mecatrónica*. (En línea). (Consulta: 3 de Septiembre 2017). Disponible en: <http://mecatronicabustos.blogspot.com/2008/09/sistemas-electronicos-para-mecatronica.html>

CASTILLO, W. & DAQUILEMA, R. *Diseño y construcción de un modelo de máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de Mecánica-ESPOCH. (Tesis Pregrado)*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador. (2014). Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3708/1/15T00576.pdf>

CREUS, A. *Instrumentación Industrial*. (8ª edición). México DF-México: Alfaomega. (2012).

CRÓNICA AMBIENTAL, *México es líder en reciclaje PET*. (En línea). 2017. (Consulta: 15 de Septiembre 2017). Disponible en: <https://www.cronicaambiental.com.mx/nacional/mexico-es-lider-en-reciclaje-de-pet/>

DANERI, P. *PLC Automatización y Control Industrial*. (1ª edición). Buenos Aires: HASA. (2008).

FESTODIDACTIC, *Sistemas Neumáticos*. (En línea). 2015. (Consulta: 10 de Agosto 2017). Disponible en: www.festodidactic.com/ov3/media/customers/1100/00631997001135156831.pdf

GARCÍA, E. *Automatización de Procesos Industriales* (1ª edición). México: Alfaomega. (2002).

LOMBARD, M. *Solidworks 2010 Bible*. (1ª edición). Indianapolis: Wiley Publishing. (2010).

MARTÍN, J. & GARCÍA, M. *Automatismos industriales*. Madrid-España: EDITEX. (2009).

MUÑOZ, C. *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. (2ª edición). PEARSON. (2010). Recuperado de: <http://esPOCH.librositio.net/libroImprime.php?libroId=9>.

OGATA, K. *Ingeniería de Control Moderna*. (5ª edición). Madrid-España: PEARSON. (2010).

PINEDA, M. & PÉREZ, J. *Automatización de maniobras industriales mediante autómatas programables*. México DF-México: Alfaomega. (2008).

PRIETO, P. *Principios Básicos de los PLC.* (En línea), 2007. (Consulta 15 de Agosto del 2017). Disponible en: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>

PRESSMAN, R. *Ingeniería del software: Un enfoque práctico*, 3ª Edición, McGraw-Hill. (2006). Pág. 26-30

INTERNATIONAL BOTTLED WATER ASSOCIATION, *Reciclaje: Agua Embotellada: Empresas de Agua Embotellada.* (En línea), 2017. (Consulta: 01 Junio 2017). Disponible en: <http://www.bottledwater.org/education/recycling>.

LARA, E. “*Secuencia de automatización para una compactadora de Pet*”. (Tesis Pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería mecánica y eléctrica, D.F, México. (2010). Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/15251>.

MARIANO, P. *Tecnología de los plásticos*, (En línea). 2011. (Consulta 12 Agosto 2017). Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

PATIÑO, A. *Diseño y construcción de una máquina Compactadora manual de botellas de Plástico Pet.* [Tesis Pregrado]. Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. (2013). Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4501>.

RAMOS, D. *El reciclaje en la sociedad actual.* 1ª Edición. Wanceulen editorial deportiva. (2010). Pág. 7-9

SERRANO, A. *Neumática Práctica* (1ª edición). España: Paraninfo. (2009).

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS, *Diseño del sistema neumático y sistema hidráulico.* (En línea). 2017. (Consulta 20 de Agosto del 2017). Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tales_c_vr/capitulo8.pdf

ANEXOS

ANEXO A

Escuela Superior Politécnica del Chimborazo

Encuesta

1.- Que grado de importancia le da Ud. al reciclaje de botellas plásticas (PET).

- a) Muy interesante.
- b) Interesante.
- c) Nada interesante.

2.- Tomaría Ud. La decisión de reciclaje de botellas de plástico (PET).

- a) Si
- b) No

3.- Generalmente ingiere Ud. Todo el líquido contenido en las botellas de plástico (PET).

- a) Si
- b) No

4.- Toma Ud. Bebidas contenidas en envases plásticos (PET) dentro de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- a) Si
- b) No

5.- De acuerdo a la capacidad de líquido que consume, que tipo de envases adquiere.

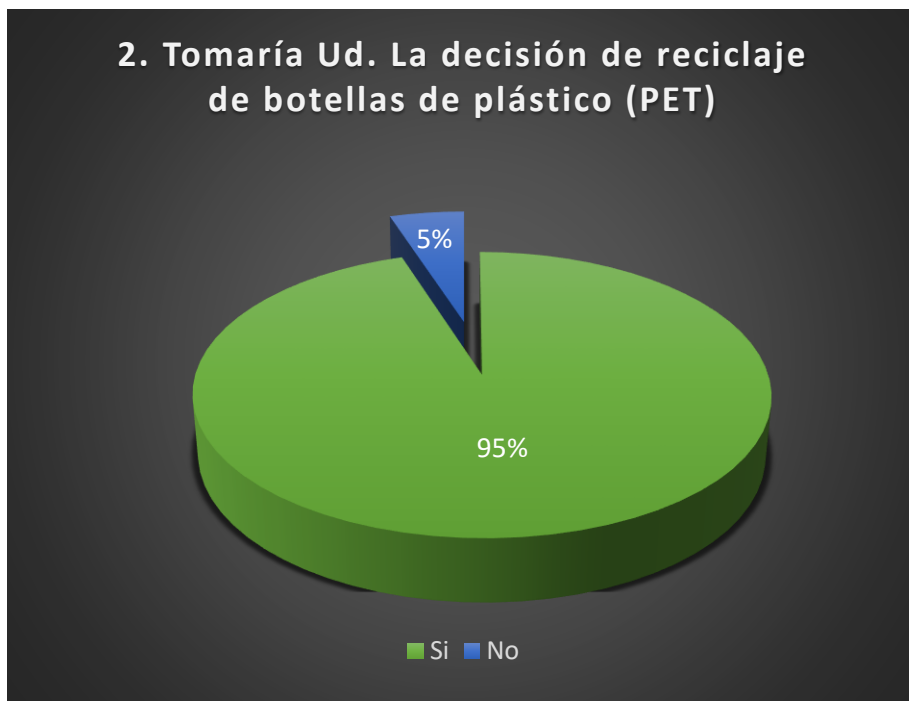
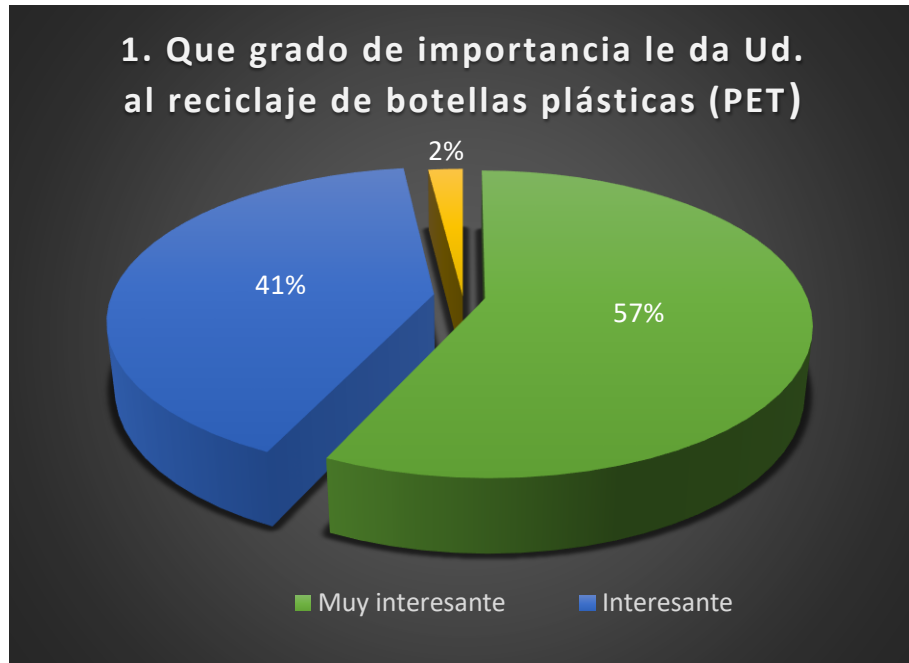
- a) 1/2 Litro
- b) 1 Litro
- c) 2 Litros
- d) 3 Litros

6.- Le gustaría recibir algún incentivo por reciclar las botellas de plástico (PET).

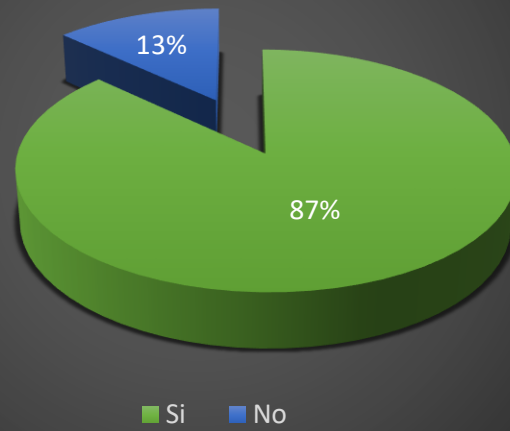
- a) Si
- b) No

ANEXO B

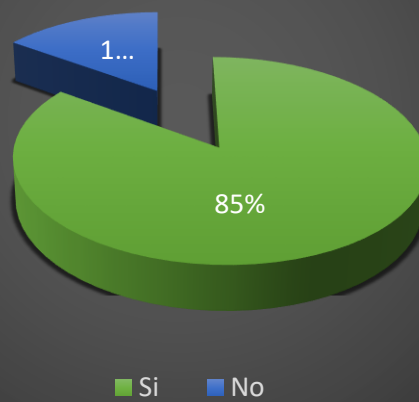
RESULTADOS DE LA ENCUESTA



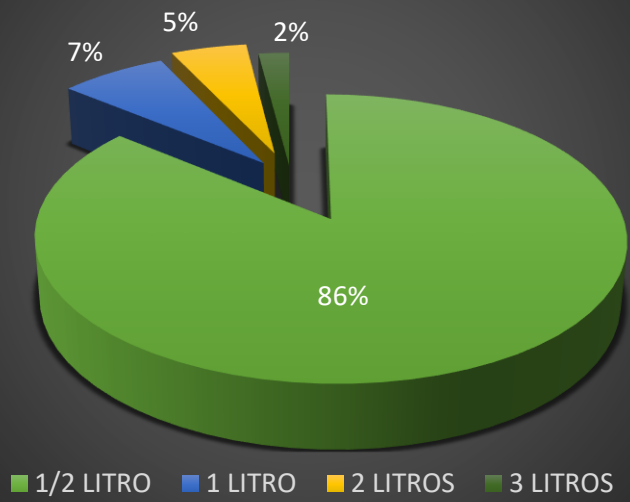
3. Generalmente ingiere Ud. Todo el líquido contenido en las botellas de plástico (PET)



4. Toma Ud. Bebidas contenidas en envases plásticos (PET) dentro de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo



5. De acuerdo a la capacidad de líquido que consume, que tipo de envases adquiere



Power stroke hydraulic cylinder



Fields of duties and requirements:

In some applications the operator of a hydraulic cylinder first needs a very high force at the beginning of a stroke, e.g. to enable the break out.

Afterwards, it is desirable that the cylinder moves with maximum speed. Such a performance is normally reached using a complex controller with high- and low-pressure pumps.

This is not necessary for a power stroke hydraulic cylinder. It can be integrated into an existing pressure supply like a standard hydraulic cylinder and shows this performance due to its construction design.

Applications:

- ▶ **Core-pulling cylinders for die casting:**
High forces are necessary to detach the core out of the cast. No large forces are needed after the core has been detached. However, it is desirable that the cylinder retracts as quickly as possible since this may shorten the casting cycle.
- ▶ **Actuating cylinders of gate valve actuators:**
The gate valve can be stuck in closed position. Large forces are needed to detach it. After detaching the gate valve, it should move as fast as possible.

Technical information:

Examples - production also to customer specification

cylinder size for total stroke
additional cylinder for power stroke > 50 mm

piston ø 125 mm piston rod ø 70 mm
piston ø 160 mm piston rod ø 90 mm


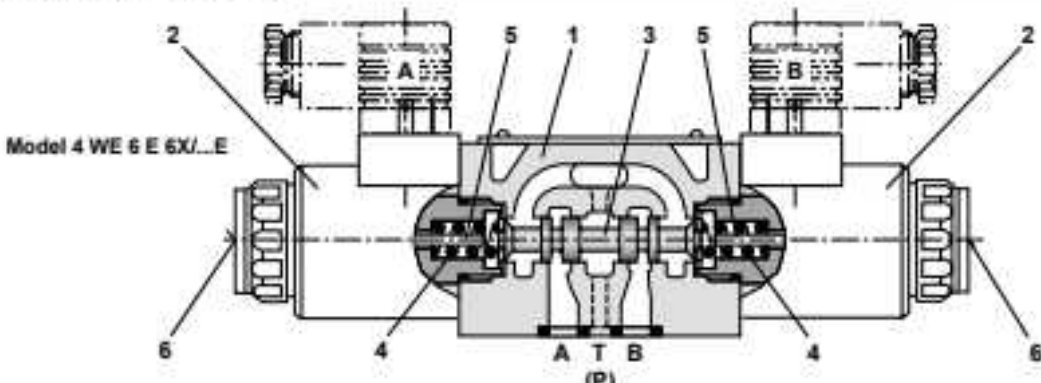

Forces in kN	Forces for entire stroke (rapid traverse) (125/70)		Additional force at power stroke (160/90)		Total force at power stroke	
	pressure in bar	pressure force	tensile force	pressure force	tensile force	pressure force
140	172	118	0	192	172	310
210	258	177	0	288	258	465
280	344	236	0	385	344	621

Area ratio of total annulus area to annulus area			
annulus area	piston ø 125 mm	piston rods ø 70 mm	84.23 mm ²
annulus area	piston ø 160 mm	piston rods ø 90 mm	137.44 mm ²
total annulus area			221.68 mm ²
ratio total annulus area / annulus area 125/70			2.63

→ Speed at rapid traverse stroke is 2.63 times greater than speed at pulling power stroke!



ANEXO D

MANNESMANN REXROTH	4/3-, 4/2- and 3/2 Directional Control Valves Model WE 6.. /E, Series 6X with wet pin AC or DC solenoids		RA 23 178/08.99
	Size 6 (D 03)	up to 5100 PSI (350 bar)	up to 21 GPM (80 L/min)
Features: <ul style="list-style-type: none"> - Direct operated, solenoid controlled directional spool valve, heavy duty construction - Mounting pattern to ISO/DIS 4401-3 NFPA T3.5. MR1 and ANSI B 93.7 D03 Subplates see data sheet RA 45 052 - Removable coils for quick replacement, or conversion, in AC or DC voltages - Dual frequency solenoids AC voltage with 50 or 60 Hz operation - Individual electrical connectors - Wet pin core tubes, with high pressure tank capacity, standard. 			
			 <p style="font-size: small;">HWA 397293 Model 4 WE 6..6X/EG 24 N9Z45</p>
Functional description			
			
<p>Directional control valves Model WE 6 are solenoid operated directional spool valves. They control the start, stop and direction of flow.</p> <p>They consist of housing (1), one or two solenoids (2), control spool (3) return spring(s) (4).</p> <p>Unengaged, control spool (3) is held centered, by means of return spring(s) (4) (except for detented spool). Control spool (3) is shifted by wet pin solenoids (2). To guarantee satisfactory operation, ensure that the solenoid core tube is filled with oil. Cycling the valve will typically ensure core tubes have filled with oil.</p> <p>The force of solenoid (2) extends push-pin (5) against control spool (3), moving it left or right from a neutral position. This provides flow from P to A and B to T or P to B and A to T.</p> <p>When solenoid (2) is de-energized, control spool (3) returns to center by return springs (4).</p> <p>Manual override (6) allows activating the control spool (3) without electrical power.</p>			
<p>Model 4 WE 6 .. 6X/ O E.. (only for spools A, C and D) This design permits 2 switching positions with 2 solenoids and no detent. When the solenoids are de-energised there is no defined neutral position.</p> <p>Model 4 WE 6 ..6X/ OF E.. (only for spools A, C and D) This design permits 2 switching positions with 2 solenoids and detent. Energizing either solenoid, however, only one at a time, for approx. 100 ms is sufficient to shift spool (3) and maintain a position on the detent.</p> <p>Orifice Insert (Model 4 WE 6..6X/E.../B..) To limit maximum flows, orifice inserts are optionally available. Primarily, the orifice insert is intended to prevent flow rates in excess of the maximum performance data of the valve (see page 4). The insert is installed in port "P", however, will fit any of the valve ports. Example: 4 WE 6E 6X/EG24NDA/B12 = 1.2 mm orifice in port "P".</p>			
			

ANEXO E

DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA

