



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA  
LLENADO DE MATERIAL PIROTÉCNICO EN TUBOS DE CARTÓN”**

**GUACHI GUACHI ROBINSON GABRIEL**

**PINEDA ROMO FRANK MANUEL**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Marzo, 26 de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**Guachi Guachi Robinson Gabriel**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA  
LLENADO DE MATERIAL PIROTÉCNICO EN TUBOS DE CARTÓN”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Ing. Geovanny Novillo A.

---

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Iván Morán  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Iván Cantos  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Marzo, 26 de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**Pineda Romo Frank Manuel**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA  
LLENADO DE MATERIAL PIROTÉCNICO EN TUBOS DE CARTÓN”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Iván Morán  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Iván Cantos  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** Guachi Guachi Robinson Gabriel

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LLENADO DE MATERIAL PIROTÉCNICO EN TUBOS DE CARTÓN”

**Fecha de Examinación:** 26 de Marzo del 2013.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Iván Morán (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Iván Cantos (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** Pineda Romo Frank Manuel

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LLENADO DE MATERIAL PIROTÉCNICO EN TUBOS DE CARTÓN”

**Fecha de Examinación:** 26 de Marzo del 2013.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Iván Morán (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Iván Cantos (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Guachi Guachi Robinson Gabriel

---

f) Pineda Romo Frank Manuel

## **DEDICATORIA**

Para todas las futuras generaciones de Ingenieros Mecánicos que sientan el deseo de adquirir nuevos conocimientos.

**Guachi Guachi Robinson Gabriel**

Para todos los estudiantes quienes crean que se puede transformar al mundo a través de la ciencia y la educación.

**Pineda Romo Frank Manuel**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a mis Padres y hermanos por el apoyo incondicional a lo largo de toda esta etapa de mi vida. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

**Guachi Guachi Robinson Gabriel**

Miprofundo agradecimiento a mi madre y hermanos por todo el amor y apoyo que me han dando siempre. A todos mis amigos por acompañarme en esta etapa de la vida. A la Escuela de Ingeniería Mecánica, en especial a mis maestros, por ser un buen ejemplo.

**Pineda Romo Frank Manuel**

## **TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Pág.</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>1</b>
1.3.1. <i>Objetivo general .....</i>	<i>1</i>
1.3.2. <i>Objetivos específicos .....</i>	<i>2</i>
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LOS CARTUCHOS Y SUS PROCESOS DE FABRICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Constitución de los cartuchos de pirotecnia .....</b>	<b>3</b>
2.2.1 <i>Partes principales de los cartuchos de pirotecnia .....</i>	<i>3</i>
2.2.2 <i>Dimensiones de los cartuchos de pirotecnia .....</i>	<i>4</i>
2.2.3 <i>Sustancias constitutivas.....</i>	<i>6</i>
<b>2.3 Fabricación actual de los cohetes .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Sistemas operación de la máquina .....</b>	<b>10</b>
2.4.1 <i>Sistemas de dosificación.....</i>	<i>10</i>
2.4.2 <i>Selección del sistema de dosificación.....</i>	<i>11</i>
2.4.3 <i>Sistema de compactación .....</i>	<i>12</i>
2.4.4 <i>Alimentación de los cartuchos.....</i>	<i>14</i>
2.4.5 <i>Sistemas de transporte de los cartuchos.....</i>	<i>14</i>
2.4.6 <i>Evacuación de los cartuchos .....</i>	<i>15</i>
<b>2.5 Automatización y Control.....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Descripción funcional de la máquina.....</b>	<b>17</b>
<b>2.7 Esquema de la máquina .....</b>	<b>24</b>
<b>3. DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS SISTEMAS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Requerimientos Productivos.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Cálculo y dimensionamiento del sistema de dosificación.....</b>	<b>19</b>

3.2.1.1	<i>Diseño de las placas para el barro ubicado en la parte inferior del cartucho .....</i>	21
3.2.1.2	<i>Diseño de la placa para la primera dosificación de pólvora impulsora .....</i>	23
3.2.1.3	<i>Diseño de la placa para la segunda dosificación de pólvora impulsora.....</i>	24
3.2.1.4	<i>Diseño de la placa para la dosificación del barro en la parte superior .....</i>	24
3.2.1.5	<i>Diseño de la placa para la dosificación de la pólvora del explosivo .....</i>	26
3.2.2	<i>Diseño de las aletas que movilizan las placas dosificadoras .....</i>	27
3.2.3	<i>Diseño de la placa de descarga.....</i>	29
3.2.8.	<i>Diseño de las jabas.....</i>	31
3.3.	<b>Cálculo y dimensionamiento del sistema de compactación.....</b>	34
3.3.1.	<i>Cálculo de la fuerza necesaria para compactar la pólvora y el barro .....</i>	34
3.3.2.	<i>Diseño de los pisones ó martillos .....</i>	35
3.3.3.	<i>Diseño de la placa porta pisones .....</i>	40
3.3.4.	<i>Diseño del soporte de los cilindros .....</i>	42
3.3.5.	<i>Diseño de los soportes laterales .....</i>	43
3.4.	<b>Cálculo y dimensionamiento del sistema de evacuación .....</b>	45
3.4.1.	<i>Cálculo y dimensionamiento del sistema de transporte de las jabas .....</i>	45
3.4.1.1.	<i>Cálculo de la fuerza necesaria para mover las jabas .....</i>	45
3.4.1.2.	<i>Dimensiones del canal de transporte .....</i>	47
3.5.	<b>Cálculo estructural .....</b>	48
3.6.	<b>Diseño de la tolva.....</b>	49
4.	<b>DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO .....</b>	52
4.1	<b>Esquema y descripción del sistema neumático .....</b>	52
4.2	<b>Selección de cilindros .....</b>	56
4.2.1	<b>Cálculo de los diámetros de los cilindros.....</b>	56
4.2.1	<i>Volumen necesario de aire para un ciclo de movimientos .....</i>	58
4.2.2	<i>Selección de la válvula de seguridad principal.....</i>	59
4.2.3	<i>Selección de electroválvulas.....</i>	60

4.2.4	<i>Selección de los reguladores de caudal</i> .....	62
4.2.5	<i>Selección de la tubería</i> .....	62
4.2.6	<i>Selección de compresor</i> .....	62
4.2.7	<i>Selección del FRL</i> .....	65
4.2.8	<i>Elementos constitutivos del sistema neumáticos</i> .....	65
4.3	<b>Circuito eléctrico</b> .....	66
4.3.1	<i>Diseño del circuito del panel de control</i> .....	66
4.3.2	<i>Elementos a controlar</i> .....	66
4.3.3	<i>Circuitos a controlar</i> .....	67
4.3.3.1	<i>Circuito de potencia</i> .....	67
4.3.3.2	<i>Circuito de control</i> .....	67
4.3.4	<i>Programación del PLC</i> .....	72
5.	<b>CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO</b> .....	82
5.1.	<b>Construcción</b> .....	82
5.2.	<b>Máquinas herramientas y equipo utilizado</b> .....	82
5.3.	<b>Descripción del proceso de construcción</b> .....	83
5.4.	<b>Operaciones tecnológicas de la construcción</b> .....	84
5.5.	<b>Flujograma de construcción de las partes de la máquina</b> .....	86
6.1	<b>Plan de pruebas</b> .....	89
6.2	<b>Pruebas y resultados</b> .....	90
6.3	<b>Análisis de los resultados</b> .....	92
7.	<b>COSTOS</b> .....	94
7.1	<b>Costos Directos</b> .....	94
7.2	<b>Tabla Costos Indirectos</b> .....	98
7.3	<b>Costos Totales</b> .....	98
6.	<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA</b> .....	102
6.1.	<b>Indicaciones básicas para el montaje</b> .....	102

6.2.	Operación inicial de la máquina .....	104
6.3.	Mantenimiento de la máquina.....	104
6.3.1.	<i>Mantenimiento mecánico</i> .....	104
6.3.2.	<i>Mantenimiento neumático</i> .....	105
6.4.	Sistemas de seguridad .....	106
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	108
9.1	Conclusiones .....	108
9.2	Recomendaciones.....	109

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

**LINKOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

← Con formato: Interlineado: Exacto 15 pto

**LISTA DE FIGURAS**

**Pág.**

1 Constitución de los cohetes de pólvora negra .....	4
2 Dimensiones de los tubos de cartón .....	5
3 Estructura de los cartuchos.....	5
4 Cantidades de sustancias .....	6
5 Efecto de la presión en la pólvora negra, para mezclas de, 0, 1, 2,3 y 4% de agua.....	7
6 Dosificación y compactación de barro .....	8
7 Compactación de la pólvora negra .....	9
8 Separación propelente y explosivo.....	9
9 Dosificación de pólvora flash y yeso .....	10
10 Dosificación volumétrica de plato giratorio .....	10
11 Dosificador de tornillo .....	11
12 Sistema de dosificación por exclusas .....	11
13 Esquema de funcionamiento .....	12
14 Sistema de compactación .....	13
15 Prueba de fuerza .....	13
16 Conjunto de jabas, tubos y aguja.....	14
17 Diagrama de desplazamiento de las jabas .....	14
18 Sistema de transporte .....	15
19 Evacuación de los cartuchos .....	15
20 Tablero de control .....	16
21 Esquema general de la máquina .....	24
22 Dimensiones placa dosificadora (mm) .....	20
23 Mecanismo alternativo de la movilización de las placas .....	21
24 Mecanismo seleccionado para la movilización de las placas .....	21
25 Cartuchos con barro para la base.....	22
26 Dimensiones placa dosificadora (mm) .....	23
27 Cartuchos con pólvora.....	23
28 Dimensiones placa dosificadora (mm) .....	24
29 Cartuchos con barro para la parte superior.....	25
30 Dimensiones placa dosificadora (mm) .....	26
31 Cartuchos con pólvora para el explosivo .....	26
32 Dimensiones placa dosificadora (mm) .....	27
33 Fuerzas de rozamiento a vencer por los cilindros .....	28
34 Dimensiones placa de descarga (mm) .....	29
35 Placa de descarga y placa dosificadora posición de descarga .....	30
36 Placa de descarga y placa dosificadora .....	30
37 Perno allen 1/2 in para alojar la mecha .....	31
38 Aguja de las jabas.....	32
39 Conjunto tuerca jaba.....	32
40 Conicidad en la boca de las jabas .....	33
41 Dimensiones de la jaba.....	33

42 Pisones alineados con las jabas .....	34
43 Pruebas de compactación en la maquina universal .....	34
44 Actuador neumático de compresión .....	35
45 Pisones de compresión .....	36
46 Pisón de compresión con su extremo en forma de punta .....	37
47 Análisis a pandeo del pisón de 17,5 cm de longitud mediante <i>SolidWorks</i> 2012 .....	39
48 Análisis a pandeo del pisón de 15,5 cm de longitud mediante <i>SolidWorks</i> 2012 .....	40
49 Dimensiones de la placa porta pisones (mm) .....	40
50 Análisis de deformaciones del soporte de los pisones de compresión .....	41
51 Análisis de tensiones del soporte de los martillos de compresión .....	41
52 Dimensiones (mm) y ubicación del soporte de cilindro .....	42
53 Análisis de deformación del soporte del actuador neumático para la compresión .....	42
54 Análisis de tensiones del soporte del actuador neumático para la compresión .....	43
55 Dimensiones (cm) y ubicación del soporte laterales .....	43
56 Análisis de deformaciones de los soporte laterales para el cilindro de compresión .....	44
57 Análisis de tensiones de los soporte laterales para el cilindro de compresión .....	44
58 Sistema de evacuación de las jabas .....	45
59 Dimensiones (cm) del canal de transporte de las jabas .....	47
60 Croquis de la estructura y el perfil utilizado .....	48
61 Análisis de deformaciones de la estructura base .....	48
62 Análisis de tensiones de la estructura base .....	49
63 Tolva para el barro y la pólvora .....	49
64 Tolva para el barro y la pólvora, vista lateral (cm) .....	50
65 Circuito neumático .....	54
66 Formas de instalación de los actuadores .....	57
67 Secuencia de movimientos de los actuadores neumáticos .....	63
68 Circuito de control de las electroválvulas .....	68
69 Circuito de conexión del PLC .....	70
70 Circuito de conexión del módulo de salidas .....	71
71 Circuito de potencia del compresor .....	71
72 Diagrama de fases del proceso .....	72
73 Programación tipo escalera para el PLC opción 1 .....	74
74 Programación tipo escalera para el PLC opción 2 .....	78
75 Flujograma de construcción sistema de transporte .....	86
76 Flujograma de construcción estructura base .....	87
77 Flujograma de construcción sistema de dosificación .....	87
78 Flujograma de construcción sistema de compactado .....	88

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1Tabla de propiedades de la pólvora negra .....	6
2Tabla de propiedades de la pólvora explosiva.....	7
3 Propiedades del nylalloy .....	28
4Fuerzas a vencer las placas para la dosificación .....	29
5 Resumen de la <i>Pcrit.</i> de cada martillo.....	39
6Densidad del MDF dependiendo del espesor .....	46
7 Coeficiente de fricción de la jaba sobre el canal.....	47
8Fuerza de cada actuador .....	56
9De De los actuadores neumáticos .....	56
10 Tabla de selección de cilindros .....	57
11Tabla de cilindros a utilizar.....	58
12Consumo de los actuadores para un ciclo .....	59
13Consumo de los actuadores para 3 ciclos por minuto .....	63
14Número de arranques por hora compresor <i>CAMPBELL HAUSFELD</i> .....	65
15Elementos del sistema neumático .....	65
16Tabla de asignaciones.....	73
17Tabla de equipos, máquinas y herramientas.....	82
18 Partes constitutivas de la máquina .....	83
19 Operaciones tecnológicas utilizadas en la construcción.....	84
20 Costos de materiales y accesorios mecánicos .....	94
21Costos de materiales y accesorios neumáticos .....	95
22Costos de accesorios eléctricos y electrónicos .....	96
23 El costo total por materiales .....	96
24Costos por máquina y equipo utilizado .....	96
25Costos por mano de obra.....	97
26Costos por transporte.....	97
27Valor total costos directos .....	97
28Costos indirectos .....	98
29Medición de consumo eléctrico.....	98
30Consumo eléctrico.....	98
31Costos por operación y mantenimiento .....	99
32Depreciación anual del equipo .....	100
33Costos fijos y costos variables de funcionamiento.....	101
34 Requerimientos neumáticos para montaje del sistema neumático .....	103

## LISTA DE ABREVIACIONES

$D_{\text{interior}}$ = Diámetro interior del cartucho de pólvora

$A_c$ = Área interior del cartucho de pólvora

$V_c$ = Volumen del cartucho a llenar

$h_1$ = Altura alcanzada por el barro o por la pólvora sin compactar.

$D_{p.Dos}$ = Diámetro del agujero de la placa dosificadora

$A_{p.Dos}$ =Área del agujero de la placa dosificadora

$e_{p1}$ = Espesor de la placa de la primera dosificación

$V_{t.pl}$ = Volumen total de la placa de dosificación

$e_{p2}$ = Espesor de la placa de la segunda dosificación

$e_{p4}$ = Espesor de la placa de la cuarta dosificación

$\mu_{\text{nylon}}$ = Coeficiente de rozamiento del nylon

$\rho_{\text{nylon}}$ = Densidad del nylon

W= Peso

m= Masa

g= Gravedad

$F_r$ = Fuerza de rozamiento

N= Fuerza normal

F =Fuerza necesaria para desplazar la placa

$D_{\text{exterior}}$ = Diámetro exterior del cartucho

$H_c$ = Altura del cartucho

$Ht_j$ = Altura total de la jaba

$h_{tue.}$  = Altura de la tuerca

$h_{al.}$  = Altura necesaria para alinear la jaba

$F_{1cart}$  = Fuerza necesaria para la compresión de un cartucho

$F_{3cart}$  = Fuerza necesaria para la compresión de 3 cartuchos

D martillo = Diámetro del martillo

L martillo = Longitud del martillo

Le = Longitud equivalente de pandeo

$A_m$  = Área del martillo

I = Inercia

$r_G$  = Radio de giro

$\lambda_0$  = Esbeltez en el punto tangencial de la curva

$\lambda$  = Esbeltez real

$P_{crit.}$  = Carga crítica

$P_{real}$  = Carga real a utilizar

Kg = Kilogramos

lb = Libras

$\rho_{mdf}$  = Densidad del MDF

$V_j$  = Volumen de la jaba

$\rho_{pc}$  = Densidad de la pólvora del cohete o impulsor

$\rho_{pexp.}$  = Densidad de la pólvora del explosivo

$\rho_{barr.}$  = Densidad del barro

$A_t$  = Área de la tolva

$A_2$  = Área de la tolva considerando que es cuadrada

$A_1$  = Área de los triángulos recortados a la tolva

$V_t$ = Volumen de la tolva

$l_t$ = Profundidad de la tolva

$m_{pc}$ = Masa de la pólvora del cohete o impulsor

$m_{pexp}$ = Masa de la pólvora del explosivo

$m_{barr}$ = Masa del barro

C. Cilindro de compresión

D. Cilindros de dosificación

X. Cilindro de alimentación de jabas

$F_c$ =Fuerza de compresión

$p_s$ = Presión del sistema

$A_e$ = Área del émbolo

$D_e$ = Diámetro del émbolo

$Q_s$ = Caudal necesario para la salida del actuador

$t_s$ = Tiempo de salida

$Q_r$ = Caudal necesario para la retracción del actuador

$x$ = Carrera del actuador

$Q_{sist}$ = Caudal del sistema

$A_{tub}$ = Área de la manguera

$v$ = Velocidad

$D_{tub}$ = Diámetro de la manguera

$Q_{ef.}$ = Caudal efectivo de trabajo

## **LISTA DE ANEXOS**

**A** Condiciones de extremo en pandeo.

**B** Cilindros Normalizados DNC, ISO 15552.

**C** Cilindros Normalizados DNC, ISO 15552.

**D** Válvulas de escape rápido.

**E** Válvulas direccionales neumáticas CHELIC.

**F** Válvulas direccionales neumáticas CHELIC 2x2.

**G** Tubos de material sintético, Calibración de diámetro exterior, FESTO.

**H** Tubos de material sintético, Calibración de diámetro exterior, FESTO.

**I** Catálogo compresor *CAMPBELL HAUSFELD*

**J** Limpieza Clasificada: La calidad del aire comprimido en FESTO.

**K** Constitución del PLC Siemens S-7200CPU 224.

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha diseñado, construido y probado una **máquina dosificadora y compactadora de pólvora negra en tubos de cartón**; utilizados en la fabricación de cohetes pirotécnicos. En base a una metodología de diseño se ha logrado elegir la alternativa más apropiada para el diseño y construcción de la máquina, considerando para esto los requerimientos tecnológicos y económicos.

La compactación uniforme determina la calidad del producto, el diseño de la máquina se realizó en base al requerimiento principal, la fuerza de compactado de la pólvora, esta fue determinada en base a pruebas experimentales y el resultado corresponde a 80kg. La máquina ha sido desarrollada con la finalidad de reducir la mano de obra, el tiempo de producción y mejorar la calidad del producto respecto al que se obtiene manualmente. Además servirá como un aporte a la innovación tecnológica.

Con estos resultados, la máquina se ha diseñado en cinco módulos correspondientes a cada etapa del proceso. El funcionamiento es automático y para el control y ejecución de sus fases se ha utilizado un PLC Siemens S-7200CPU 224. Para la simulación del proceso se utilizó el programa Automation Studio, con el cual se simuló la secuencia, obteniéndose un resultado satisfactorio.

Con este tipo de dosificación y compactación se ha logrado incrementar la producción, mejorar la calidad del producto y reducir los productos defectuosos casi en su totalidad.

Se recomienda analizar la opción de la mesa revolver, para tratar de reducir el espacio utilizado y el peso de la máquina.

## **CAPÍTULO I**

### **1. Introducción**

#### **1.1. Antecedentes**

El avance de la ciencia, evolución tecnología y exigencias del mercado ha obligado a la joven industria pirotécnica ecuatoriana a buscar nuevas formas de producción, que sean más eficientes; con menores tiempos de producción; menor intervención de personas en el proceso de producción y mejoramiento de la calidad del producto. El hecho de que casi el 100% de la manufactura de los distintos artículos se la realiza a mano, genera muchas restricciones en cuanto a productividad y uniformidad; generando además una alta cantidad de desperdicios. En consecuencia, es necesario desarrollar equipos, máquinas en procura de automatizar los procesos de producción.

#### **1.2. Justificación**

El presente proyecto pretende mejorar el proceso de fabricación de fuegos artificiales, de tal manera que se reduzca el manipulado de la pólvora por parte del operario, incrementando la seguridad laboral, por lo cual es necesario el diseño e implementación de un sistema automatizado que cumpla con las necesidades tecnológicas actuales.

El sistema automatizado ayudará a obtener un producto de mejor calidad, aumentará la producción respecto al proceso artesanal, habrá un aumento considerable de la rentabilidad y satisfará la creciente demanda de estos productos en el medio.

#### **1.3. Objetivos**

##### **1.3.1. *Objetivo general***

Diseñar, construir e instalar una máquina automatizada para los procesos de llenado y compactado de pólvora en productos pirotécnicos, con el fin de incrementar la capacidad de producción y la disminución de riesgos de manipulación.

### **1.3.2. *Objetivos específicos***

Determinar las condiciones idóneas y etapas del proceso a automatizar.

Determinar las condiciones y los parámetros de diseño para la estructura de soporte.

Diseño circuital que automatiza todos los eventos en la fabricación de los cohetes.

Diseño y selección del sistema neumático y sus partes.

Construir los sistemas y las partes necesarias para la realización del ensamble de las mismas.

Ejecutar las pruebas necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento de la máquina.

Establecer las recomendaciones más importantes es su manutención y operación.

## CAPÍTULO II

### 2. DESCRIPCIÓN DE LOS CARTUCHOS Y SUS PROCESOS DE FABRICACIÓN

#### 2.1 Introducción

Los aquí llamados cartuchos de pirotecnia, son la parte esencial, el motor de los cohetes de pólvora negra (*black powder rocket*), son probablemente los artículos más populares y antiguos dentro de la pirotecnia.

Existen múltiples maneras de hacer un cohete. El cohete de pólvora negra es uno de los más sencillos. En la actualidad todavía se usa, ya que es muy sencillo de hacer y requiere pocas herramientas y materiales.

A nivel nacional la mayor parte de la producción de juegos pirotécnicos o pirotecnia se la realiza artesanalmente, y no está en capacidad de satisfacer la demanda del mercado ni en cantidad, ni en calidad. La mayor parte de los productos pirotécnicos que se mueven en el mercado ecuatoriano son de origen importado, lo cual, nos presenta una gran oportunidad para el desarrollo de una industria pirotécnica ecuatoriana, con el respaldo de un eficiente, automatizado y seguro sistema de producción.

#### 2.2 Constitución de los cartuchos de pirotecnia

##### 2.2.1 Partes principales de los cartuchos de pirotecnia

Todo cohete, desde los tipos más sencillos utilizados en pirotecnia, hasta las enormemente complejas aplicaciones astronáuticas, consta esencialmente de los mismos elementos:

Un cilindro ó fuselaje; ya sea de cartón o de metal, en el que se alojan las sustancias químicas que entrarán en combustión.

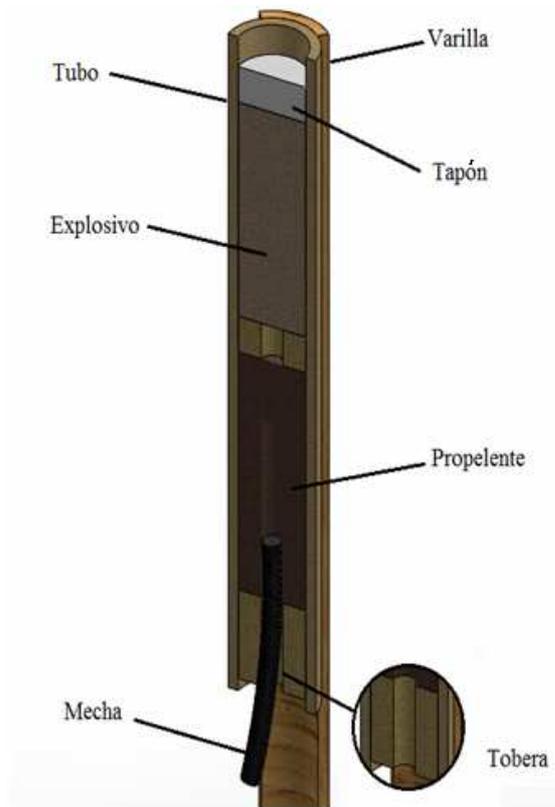
Un sistema de encendido para producir la combustión (la simple mecha de los pequeños cohetes de pólvora) en la correspondiente cámara de combustión.

Un orificio de salida o tobera por el que se expulsarán los gases obtenidos provocando así la fuerza de reacción.

Varilla de madera; para mantener la dirección deseada del cohete.

La constitución de los cartuchos se muestra en la figura 1.

**Figura 1.** Constitución de los cohetes de pólvora negra



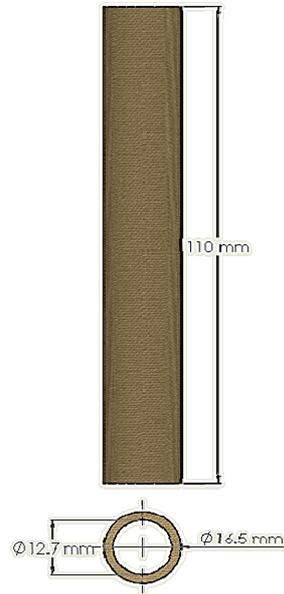
Fuente: Autores

El cohete sube por el principio de que una acción causa una reacción en sentido contrario de igual fuerza. La acción, es la salida de los gases de combustión, la reacción produce el despegue del cohete.

### **2.2.2** Dimensiones de los cartuchos de pirotecnia

Los cartuchos de pirotecnia o cohetes, están conformado esencialmente por un tubo de cartón dentro del cual se encuentran diferentes niveles de pólvora y barro. Las dimensiones del tubo se muestran en la figura 2.

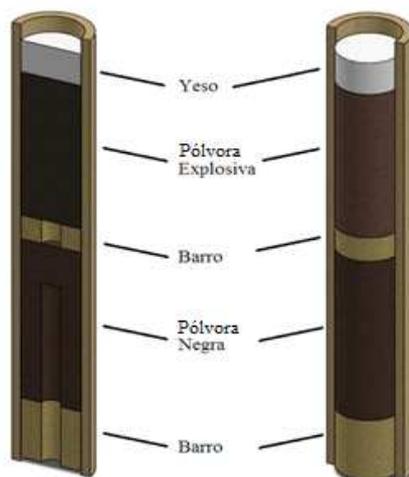
**Figura 2.** Dimensiones de los tubos de cartón



Fuente: Autores

Un cohete de pólvora negra está conformado de distintos niveles compactados de barro, pólvora y yeso, los cuales se muestran detalladamente en la figura 3.

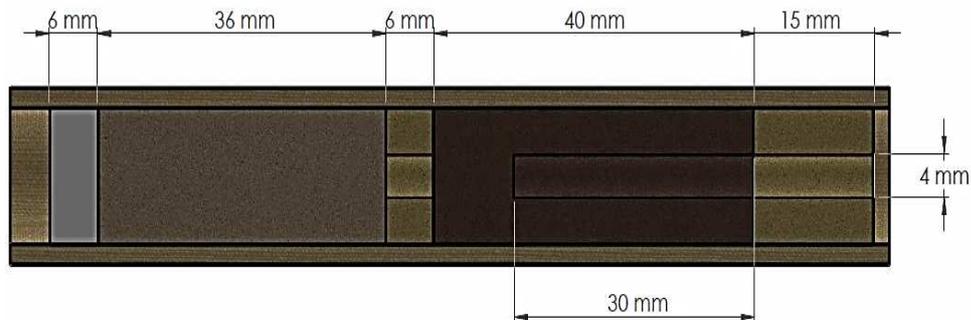
**Figura 3.** Estructura de los cartuchos



Fuente: Autores

Las cantidades de estos materiales están definidas por las alturas, ilustradas en la figura 4.

**Figura 4.** Cantidades de sustancias



Fuente: Autores

### 2.2.3 Sustancias constitutivas

La pólvora negra es el propelente. Esta pólvora es el combustible para la propulsión, es decir, el escape de los gases producto de su combustión que elevan el cohete. Se consigue a través de una molienda de nitrato de potasio, carbón y azufre, hasta llevarla a ser un polvo muy fino. La humedad de la pólvora se expresa en términos de porcentaje de agua. Su composición y algunas propiedades se detallan en la tabla 1. [2]

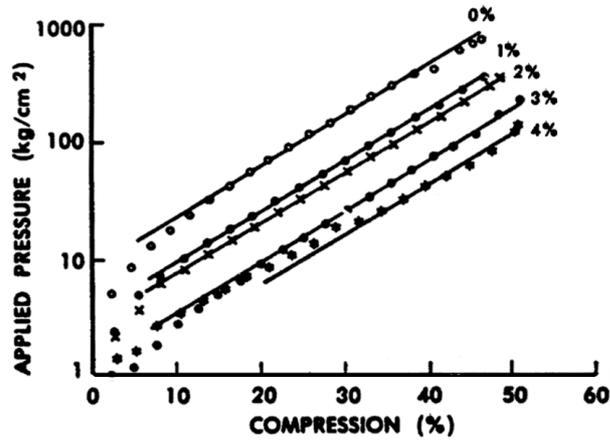
**Tabla 1.** Tabla de propiedades de la pólvora negra.

Nitrato de Potasio	75%
Carbón	15%
Azufre	10%
Densidad	1,72 -1,80 g/cm <sup>3</sup>
Velocidad de Combustión	5-17 m/seg
Temperatura de Ignición	420 °C

Fuente: The influence of physical properties on black powder combustion, Ronald A. Sasse. Página 23

La figura 5 muestra la relación entre la variación de la presión aplicada y la variación del volumen de la pólvora, expresada en porcentaje de compresión, para distintos porcentajes de contenido de agua (humedad). [3]

**Figura 5.** Efecto de la presión en la pólvora negra, para mezclas de, 0, 1, 2,3 y 4% de agua.



Fuente: A comprehensive review of black powder, Ronald A. Sasse, Página 15.

La pólvora flash que cumple con la función de producir la explosión (ruido). Está constituida de perclorato de potasio, polvo de aluminio o aluminio negro y azufre. Esta pólvora se enciende fácilmente por fricción y es altamente explosiva. Sus propiedades y composición se muestran en la tabla 2. [4]

**Tabla 2.** Tabla de propiedades de la pólvora explosiva

Perclorato de Potasio	64%
Aluminio Negro	23%
Azufre	13%
Densidad	1,96 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de Ignición	93,3 °C
Velocidad de Combustión	1 428,6 m/seg

Fuente: A complete book of flash powder, Paul Moran, Branford Florida – USA, Página 41

El barro; es una mezcla de agua y tierra compuesta por sedimentos, partículas de polvo y arcilla. Con el barro se hace la tobera.

El yeso; el tapón final se hace con yeso, es un producto preparado a partir de una roca natural denominada aljez mediante deshidratación, al que puede añadirse otras sustancias químicas para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad, amasado con agua, puede ser utilizado directamente. [5]

### 2.3 Fabricación actual de los cohetes

En la actualidad mayormente la elaboración de los cohetes se realiza de manera manual. Como el funcionamiento de la máquina propuesta está basado en este procedimiento, es importante señalarlo detalladamente.

Los materiales utilizados son:

El tubo de cartón (contenedor)  
Un apisonador (palo cilíndrico)  
Un martillo  
Pólvora negra  
Pólvora flash  
Yeso  
Barro

El procedimiento seguido es el siguiente:

Primeramente se prepara la tobera con el barro, se introduce el barro con una cuchara o un embudo dentro del tubo, luego se lo apisona golpeando de 3 a 5 veces el contenido con el martillo suave de 2-5lb, y dejando la cavidad adecuada para la colocación de la mecha, como se ilustra en la figura 6.

**Figura 6.** Dosificación y compactación de barro



Fuente: Autores

La aguja es el elemento necesario para que durante la compactación se forme el orificio de la tobera.

Una vez que se ha dado forma a la tobera, la pólvora negra es dosificada y compactada con un cilindro hueco, con lo cual se tiene listo el propelente. La Figura 7 muestra este paso que es muy similar al paso anterior.

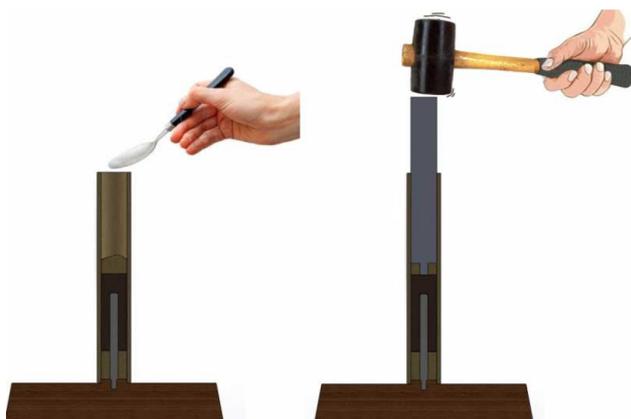
**Figura 7.** Compactación de la pólvora negra



Fuente: Autores

Para conformar la cámara de explosión, es necesario hacer una separación con barro como en la figura 8, de modo que al mismo tiempo permita el paso del calor y active la pólvora explosiva.

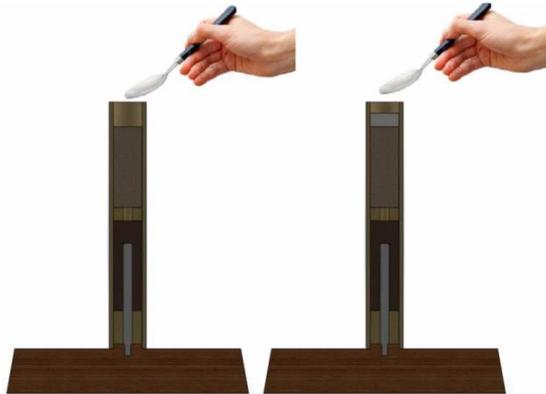
**Figura 8.** Separación propelente y explosivo



Fuente: Autores

Finalmente se introduce la pólvora explosiva y el yeso el cual hace las veces de tapón, como se muestra en la figura 9.

**Figura 9.** Dosificación de pólvora flash y yeso



Fuente: Autores

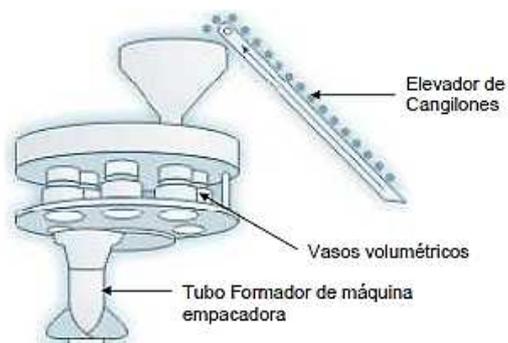
## 2.4 Sistemas operación de la máquina

### 2.4.1 Sistemas de dosificación[6]

Se puede hacer la dosificación a través de dos diferentes tipos de dosificadores:

Volumétrico: Estos dosificadores se pueden usar para trabajos de forma semiautomática o directamente colocados en envasadoras automáticas. Su uso es muy recomendable para polvos de fácil deslizamiento, granos, etc. Un ejemplo de la dosificación volumétrica es de plato giratorio de la figura 10.

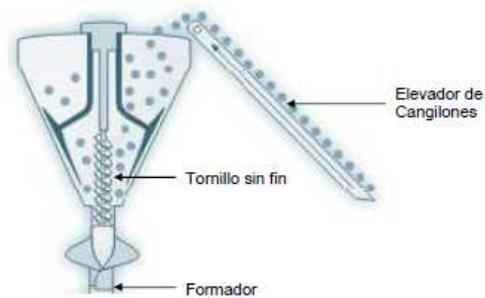
**Figura 10.** Dosificación volumétrica de plato giratorio



Fuente: <http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html>

De tornillo sin fin: Estos equipos son ideales para dosificar polvos de difícil deslizamiento. Un tornillo sin fin es el encargado de la dosificación y un removedor de giro independiente este evita la aglomeración del producto. Generalmente se construyen en acero inoxidable. La figura 11 muestra un dosificador de este tipo.

**Figura 11.**Dosificador de tornillo

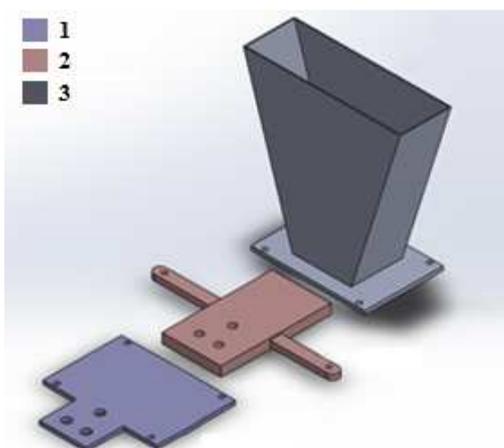


Fuente:<http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html>

#### 2.4.2 Selección del sistema de dosificación

Para la dosificación de las diferentes sustancias, pólvora negra, pólvora flash y barro se ha diseñado un sistema de dosificación por exclusas el cual resulta ser la mejor alternativa, debido a que las cantidades a dosificar son fijas, es sencillo, económico y seguro. Consta de una tolva (3), una placa de dosificación (2) y placa de descarga (1), las partes se ilustra en la figura 12.

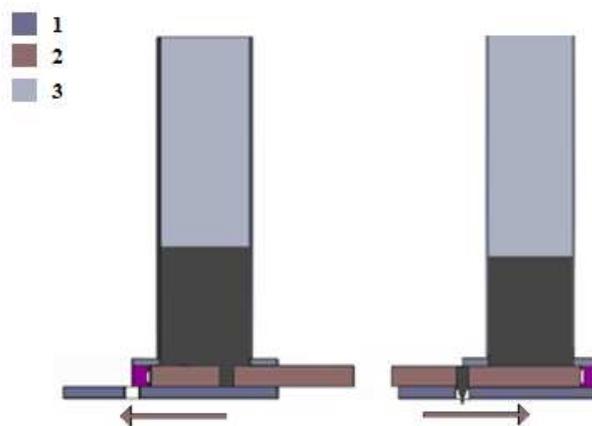
**Figura 12.** Sistema de dosificación por exclusas



Fuente: Autores

Las cantidades a dosificar quedan definidas por el volumen de los agujeros en la placa dosificadora (1); en la primera carrera los agujeros en la placa dosificadora se alinean a la boca de tolva (3) y se llenan; en la carrera de retorno los agujeros de la placa dosificadora se alinean con los agujeros de la placa de descarga (2), con lo que se produce la descarga, y por ende la dosificación. El movimiento de vaivén de la placa dosificadora en la figura 13 se da por un par de cilindros neumáticos.

**Figura 13.** Esquema de funcionamiento



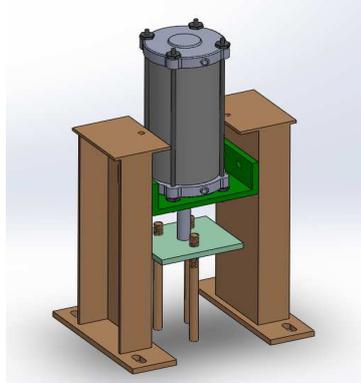
Fuente: Autores

El material de las placas dosificadoras y de apertura es nylon y acrílico respectivamente, debido a su bajo coeficiente de fricción y porque su uso resulta muy conveniente en el trabajo con material explosivo. Con la fricción entre placas de nylon se elimina la posibilidad de generar calor o chispas lo que resultaría muy peligroso debido a estar trabajando directamente con la pólvora.

#### **2.4.3** *Sistema de compactación*

En la actualidad, como ya se ha dicho, este proceso se hace manualmente y se aprovecha la energía de impacto con un martillo. En el presente proyecto se propone, realizar esta operación mediante un sistema de estructura de soporte, placa sujeta-cilindro, placa porta martillos y un cilindro neumático el cual genera directamente la fuerza de compactación para cada módulo. En la figura 14 se muestra la constitución de una compactadora para un módulo el cual está compuesto de 3 cartuchos a la vez.

**Figura 14.** Sistema de compactación



Fuente: Autores

En sustitución de la energía de impacto, se propone una energía de compactación progresiva hasta llegar a un esfuerzo de llenado adecuado que debió comprobarse.

En gran medida, la calidad de funcionamiento (altura de vuelo) de los cohetes depende de la compactación del barro y de la pólvora y para comprobarse se realizaron pruebas de fuerza (presión) y vuelo. Luego de realizar varias pruebas con cartuchos de ensayo compactados a diferentes fuerzas se concluyó que, 80kg es la fuerza apropiada a aplicarse en cada tubo para se alcance una altura y explosión adecuadas. **Para la compactación simultánea de 3 tubos, es decir un módulo, serán necesarios 240kg en el cilindro neumático.** La determinación del valor de esta fuerza se consiguió con una célula de carga como se muestra en la figura 15.

**Figura 15.** Prueba de fuerza



Fuente: Autores

#### 2.4.4 Alimentación de los cartuchos

La alimentación de los cartuchos se realiza manualmente. Los cartuchos se introducen en la parte inferior de las jabas de manera concéntrica a la aguja que da forma a la cavidad para la mecha y se completa con la adaptación de la parte superior de la jaba. La constitución de la jaba se ilustra en la figura 16. Las jabas una vez armadas son ubicadas en la mesa de empuje.

**Figura 16.** Conjunto de jabas, tubos y aguja

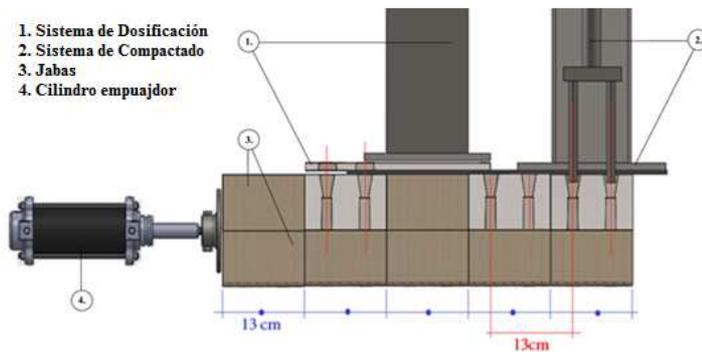


Fuente: Autores

#### 2.4.5 Sistemas de transporte de los cartuchos

Es necesario, en el funcionamiento de la máquina que las jabas sean movidas con un avance periódico, de tal manera, que las jabas coincidan en la correcta ubicación con el sistema de dosificación y los sistemas de compactado, como se ilustra en la figura 17.

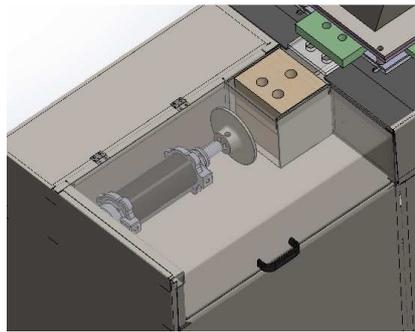
**Figura 17.** Diagrama de desplazamiento de las jabas



Fuente: Autores

Para este sistema se estudió la posibilidad de utilizar bandas transportadoras, con motor paso a paso, etc. Pero este tipo de aparatos de transporte no resulta adecuado para la presente aplicación debido a la dificultad de realizar el compactado, su complejidad y sus altos costos, por lo tanto se implementó un sistema muy sencillo en el que se utiliza un cilindro neumático, el cual empuja las jabas a través de un canal, como en la figura 18.

**Figura 18.** Sistema de transporte

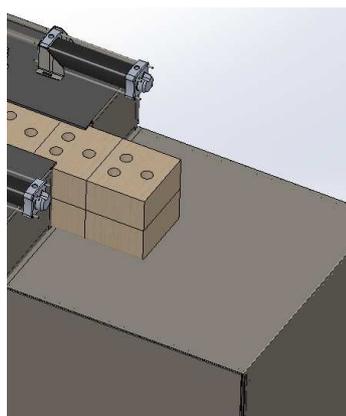


Fuente: Autores

#### **2.4.6** *Evacuación de los cartuchos*

La evacuación de los cartuchos una vez terminado el trabajo de compactación, son empujados a su descarga donde simplemente se realiza en forma manual, se retira los cartuchos y se concluye el proceso, como se ilustra en la figura 19.

**Figura 19.** Evacuación de los cartuchos



Fuente: Autores

## 2.5 Automatización y Control

En el presente proyecto, para todo el proceso de manufactura de los cartuchos pirotécnicos, las operaciones que han sido automatizadas son las siguientes:

Operación de transporte de las jabas (alimentación), que se realiza con el cilindro empujador.

Dosificación de la pólvora, que opera desde las tolvas y se realiza con los cilindros de las placas dosificadoras.

Compactación de la pólvora y barro, que se realiza a través de los cilindros de compactación.

La potencia para las operaciones automatizadas es neumática; mientras que el sistema de comando escogido es eléctrico. Este último, controla todas las electroválvulas: de empuje (transporte), de dosificación y de compactado.

Los comandos de arranque y parada se hacen desde un tablero de control, como el de la figura 20. La unidad de control lógico secuencial es un PLC (Controlador Lógico Programable). En todas estas decisiones se ha tomado en cuenta la reducción máxima posible de riesgos de explosión de la materia prima a ser manipulada. Si bien lo ideal hubiese sido el uso de un sistema de comandos también neumático, la complejidad de su montaje y el aumento considerable de los costos incidieron a favor de la selección de un sistema eléctrico, y de un PLC.

**Figura 20.** Tablero de control



Fuente: Autores

## **2.6 Descripción funcional de la máquina**

El esquema general de la máquina para la fabricación de los cartuchos de pirotecnia y la secuencia de sus operaciones se muestra en la figura 21. La alimentación de los cartuchos se realiza de manera manual, para lo cual se arman las jabas con los cartuchos introducidos en estas.

Sistema de transporte:

El sistema de transporte está constituido de un cilindro empujador, el cual empuja las jabas a través del canal, con un movimiento de avance periódico de 13cm.

Sistema de dosificación:

Para el sistema de dosificación, el cual es necesario 5 etapas, alternadas con 4 etapas de compactación, funciona así; las placas de dosificación que tienen 3 agujeros, se alinean con las bocas de las tolvas y se llenan, se mueven 13 cm y ubican los agujeros de manera concéntrica con los agujeros de la placa de apertura, la pólvora contenida en las placas cae a los orificios en las jabas produciéndose así la dosificación volumétrica. La cantidad a dosificar depende del volumen de los agujeros en las placas dosificadoras, es decir del espesor de las placas.

Sistema de compactación:

El sistema de compactación funciona en cuatro etapas de manera alternada con las etapas de dosificación, un cilindro dispuesto de manera vertical genera una fuerza de 240 kg, fuerza que es transmitida a tres martillos, que son los que realizan la compactación de la pólvora de los cartuchos contenidos en las jabas.

Sistema Neumático:

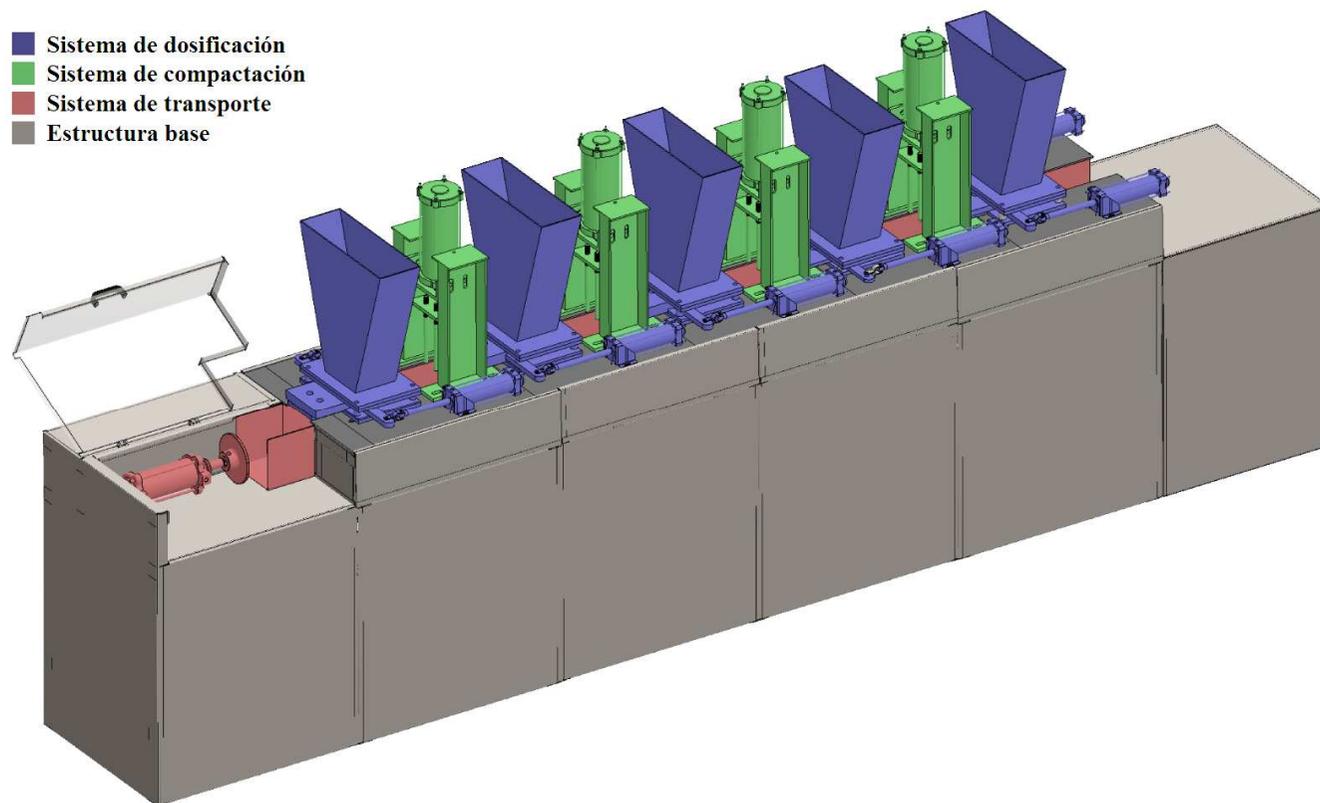
Es adecuado para el trabajo con material explosivo (pólvora), y está compuesto por; filtros, relief, manómetro, electroválvulas y cilindros neumáticos.

Sistema Eléctrico:

El sistema eléctrico está compuesto principalmente por el panel de control (que tiene comandos de arranque, parada, stop y emergenciy de un Controlador Lógico Programable (que controla los comandos de las distintas operaciones de funcionamiento).

## 2.7 Esquema de la máquina

Figura 21. Esquema general de la máquina



Fuente:Autores

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS SISTEMAS

#### 3.1 Requerimientos Productivos

Para la producción de los cartuchos de cartón rellenos con material pirotécnico se requiere:

Un sistema de transporte de las jabas de proceso a proceso.

Un sistema para el dosificado de la pólvora en los cartuchos.

El sistema de dosificación: necesita un cierto tiempo muerto al momento de la descarga de la pólvora para garantizar que toda la pólvora se descargue al tubo de cartón.

Un sistema de compresión para conseguir buenas propiedades en el producto, facilitando el asentamiento y compactación de la mezcla en los tubos de cartón.

Un sistema neumático que trabaja a una presión de 4 bares para la manipulación de pólvora.

El sistema de automatización y control se realizara mediante un PLC (controlador lógico programable).

#### 3.2 Cálculo y dimensionamiento del sistema de dosificación

El tipo de dosificación a utilizarse es de exclusas o de placas, descrito anteriormente (Sección 2.4.2).

Para el dimensionamiento se procede de forma experimental para determinar cuál es el coeficiente de compactación de la pólvora. En primer lugar se realiza la compactación de la pólvora en los cartuchos de cartón a diferentes fuerzas, empezando con una fuerza de 10kg. Llegando a determinarse una fuerza adecuada de 80kg.

La relación entre el volumen de antes y después de la compactación, para la pólvora y el barro, se ha definido como coeficiente de compactación, el cual ha sido determinado experimentalmente, siendo de 3,25 para la pólvora y 3,66 para el barro. Con una fuerza de compactación de 80kg (Sección 2.4.3). Esto servirá para el dimensionamiento del sistema.

##### 3.2.1 *Diseño de las placas de dosificación*

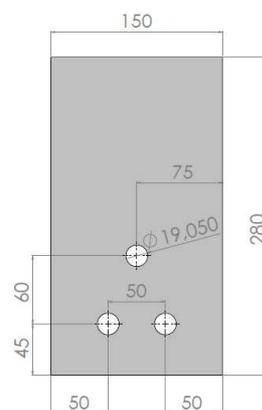
Los agujeros de dosificación en las placas deben tener un volumen suficiente para dosificar la pólvora o el barro en cada etapa del proceso. Además debe existir una distancia mínima entre los agujeros con la finalidad de eliminar posibles concentraciones de esfuerzos, recomendándose al menos 1,5 veces el diámetro de los agujeros.[7]

En base a las medidas obtenidas en la placa dosificadora se diseñará la placa de descarga. La placa de descarga debe cumplir ciertas condiciones como por ejemplo ser concéntrica con la placa dosificadora en la posición de descarga, y dar el suficiente sellado de la placa dosificadora al momento de que dicha placa se encuentra alineada con la tolva, recibiendo pólvora o barro.

El diseño del dosificador depende del número de cartuchos a llenar, en este caso se dosificará solamente 3 cartuchos debido a que la fuerza necesaria para compactar la pólvora y el barro es de 80kg, es decir se necesitarán 240kg siendo esta fuerza elevada para un sistema neumático.

Se decide que el diámetro de los agujeros en la placa dosificadora sea de  $\frac{3}{4}$  in, debido a que su diámetro debe ser superior al diámetro de  $\frac{1}{2}$  in en los cartuchos. Y partiendo de la recomendación de que debe existir una distancia mínima entre agujeros de 1,5 veces su diámetro, se procede al dimensionamiento de las placas, figura 22.

**Figura 22.** Dimensiones placa dosificadora (mm)

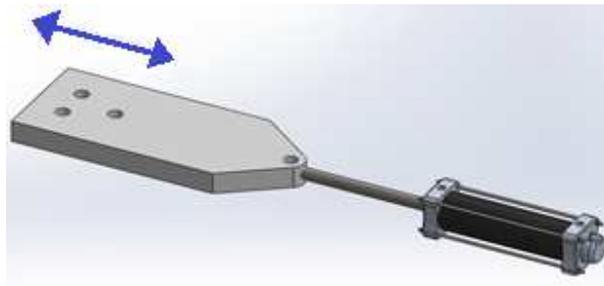


Fuente: Autores

La fuerza que las mueve, depende de la cantidad del material a movilizar hacia los cartuchos, el peso de la placa y el rozamiento producido entre las placas. En el presente

caso, las placas son de nylon cuyas propiedades antifricción ayudan al desplazamiento entre ellas. Como las placas necesitan de un mecanismo para desplazarse, se ha decidido que este mecanismo sea neumático, para lo cual el actuador encargado del movimiento de la placa dosificadora podría ubicarse en la mitad de la placa y sobre la trayectoria de las jabas como se muestra en la figura 23.

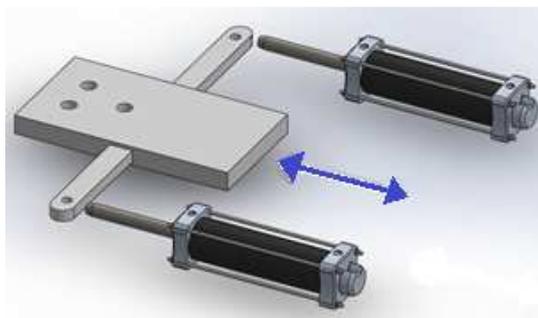
**Figura 23.** Mecanismo alternativo de la movilización de las placas



Fuente: Autores

Sin embargo, esta ubicación dificultaría el transporte de las jabas debido al espacio que ocuparía el actuador, por lo que se optó por diseñar un par de aletas acopladas a las placas como en la figura 24, estas reciben el empuje y tracción de los actuadores neumáticos, los cuales son los encargados en dar la carrera necesaria, para alinear la placa tanto con la tolva en su carrera de retracción como para alinearla con la placa de descarga cuando los actuadores realicen la carrera de salida.

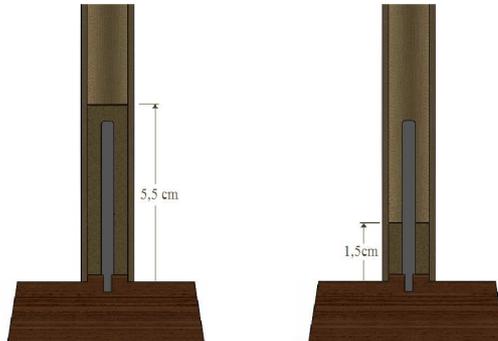
**Figura 24.** Mecanismo seleccionado para la movilización de las placas



Fuente: Autores

### 3.2.1.1 *Diseño de las placas para el barro ubicado en la parte inferior del cartucho*

**Figura 25.** Cartuchos con barro para la base



Fuente: Autores

Para este caso se procede a llenar los cartuchos de 1,27 cm (ó 0,5in) de diámetro interior con barro hasta una altura de 5,5cm ( $h_1$ ).Luego de la compactación se llegará a la altura de 1,5cm de barro compactado, que es lo que se necesita (Sección 2.2.2).

El área del cartucho es:

$$A_c = \pi(12,7 \text{ mm})^2 / 4 = 126,67 \text{ mm}^2 = 0,19 \text{ in}^2$$

El volumen inicial ocupado por el barro sin compactar es:

$$V_c = (126,67 \text{ mm}^2) * 5,5 \text{ mm} = 6967,22 \text{ mm}^3 = 0,43 \text{ in}^3$$

Como el agujero de la placa dosificadora tiene un diámetro de 3/4in, se debe encontrar el espesor de la placa con el volumen que se debe dosificar, es decir:

El área del agujero de la placa, es:

$$A_{p.Dos} = \pi(19,05 \text{ mm})^2 / 4 = 280,02 \text{ mm}^2 = 0,44 \text{ in}^2$$

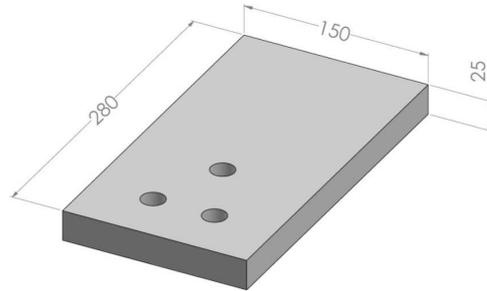
Luego el espesor de las placas es de:

$$e_{p1} = V_c / A_{p.Dos}$$

$$e_{p1} = 6967,22 \text{ mm}^3 / 280,02 \text{ mm}^2 = 24,9 \text{ mm} \approx 2,5 \text{ cm}$$

Si se asume, las siguientes dimensiones para la placa dosificadora como en la figura 26, entonces el volumen de la placa será:

**Figura 26.** Dimensiones placa dosificadora (mm)



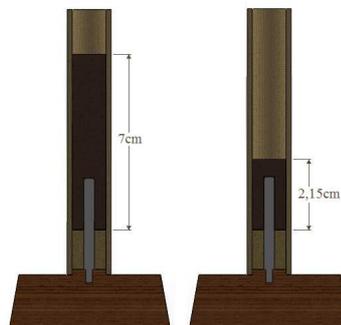
Fuente: Autores

$$V_{t.pl} = (b * l * e_{p1}) - 3(V_c) \quad (1)$$

$$V_{t.pl} = (15 * 28 * 2,5) - 3(6,96) = 1029,12 \text{ cm}^3$$

### 3.2.1.2 Diseño de la placa para la primera dosificación de pólvora impulsora

**Figura 27.** Cartuchos con pólvora



Fuente: Autores

Para este caso en cambio se procede a llenar los cartuchos de 1,27cm (0,5 in) de diámetro interior con pólvora hasta una altura de 7cm. ( $h_1$ ) antes de la compactación, con lo cual se obtiene una altura final de 2cm aproximadamente, luego de aplicada la fuerza de compactación que es lo que se necesita.

El área del cartucho es:

$$A_c = 126,67 \text{ mm}^2 = 1,26 \text{ cm}^2 = 0,19 \text{ in}^2$$

El volumen ocupado por la pólvora sin compactar, es:

$$V_c = (126,67 \text{ mm}^2) * 70 \text{ mm} = 8867,38 \text{ mm}^3 = 0,54 \text{ in}^3$$

Este es el volumen de pólvora sin compactar que se debe dosificar en los cartuchos, pero como el agujero en la placa dosificadora tiene un diámetro de 3/4in, entonces el área del orificio de la placa, es:  $285,02 \text{ mm}^2$  ó  $0,44 \text{ in}^2$ .

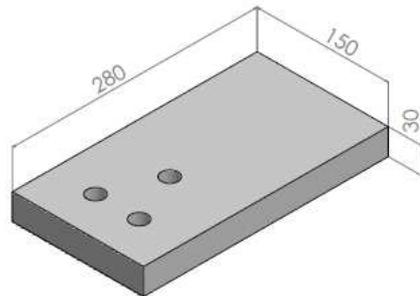
Luego, el espesor de la placa resulta ser:

$$e_{p2} = V_c / A_{p.Dos}$$

$$e_{p2} = 8867,38 \text{ mm}^3 / 285,02 \text{ mm}^2 = 31 \text{ mm} \approx 3 \text{ cm}$$

Ahora es necesario calcular el volumen de toda la placa:

**Figura 28.** Dimensiones placa dosificadora (mm)



Fuente: Autores

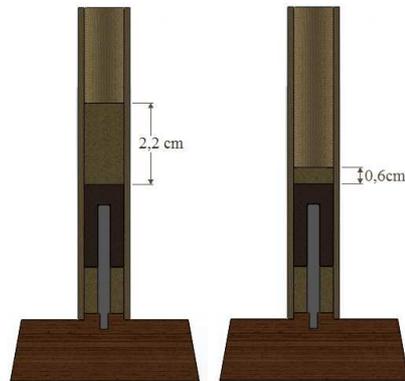
$$V_{t.pl} = (15 * 28 * 3) - 3(8,867 \text{ cm}^3) = 1233,39 \text{ cm}^3$$

### **3.2.1.3** Diseño de la placa para la segunda dosificación de pólvora impulsora

Para este caso la cantidad de pólvora a dosificarse es la misma que en la etapa anterior, por lo cual solamente se toma el mismo valor del espesor de la placa que en el caso anterior, es decir 3cm.

### **3.2.1.4** Diseño de la placa para la dosificación del barro en la parte superior

**Figura 29.** Cartuchos con barro para la parte superior



Fuente: Autores

Para el barro de la parte superior se procede a llenar los cartuchos de 1,27 cm (ó 0,5 in) de diámetro interior con barro hasta una altura de 2,2 cm. ( $h_1$ ) antes de la compactación, con la cual se obtiene la altura final de 0,6cm de barro luego de la compactación que es lo que se necesita.

El área del cartucho es:  $1,26 \text{ cm}^2 = 0,19 \text{ in}^2$

El volumen ocupado por el barro sin compactar se lo calcula con el dato de la altura de barro en el cartucho, en este caso es de 2,2cm ( $h_1$ ).

$$V_c = A_c * h_1$$

$$V_c = 2786,89 \text{ mm}^3 = 0,17 \text{ in}^3$$

Este es el volumen de barro sin compactar que se debe dosificar en los cartuchos. Igualmente, el orificio en la placa dosificadora tiene un diámetro de  $\frac{3}{4}$  in, por lo que se encuentra el espesor de la placa con el volumen que se desea dosificar.

El área del orificio en la placa, es:  $285,02 \text{ mm}^2$  ó  $0,44 \text{ in}^2$

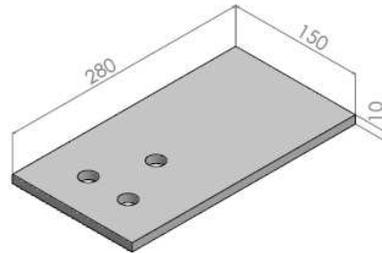
Con el área del orificio de la placa se obtiene el espesor de la misma, como en la figura 30.

$$e_{p4} = V_c / A_{p.Dos}$$

$$e_{p4} = 2786,89 \text{ mm}^3 / 285,02 \text{ mm}^2 = 9,7 \text{ mm} \approx 1 \text{ cm}$$

Dimensiones de la placa dosificación del barro en la parte superior:

**Figura 30.** Dimensiones placa dosificadora (mm)



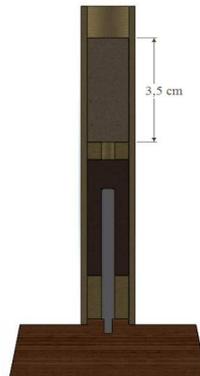
Fuente: Autores

$$V_{t.pl} = (b * l * e_{p4}) - 3(V_c)$$

$$V_{t.pl} = (15 * 28 * 1) - 3(2,787 \text{ cm}^3) = 411,64 \text{ cm}^3$$

### 3.2.1.5 Diseño de la placa para la dosificación de la pólvora del explosivo

**Figura 31.** Cartuchos con pólvora para el explosivo



Fuente: Autores

En este caso se procede a llenar los cartuchos de 1,27cm (ó 0,5 in) de diámetro interior con pólvora hasta una altura de 3,5cm. ( $h_1$ ). En esta etapa la pólvora no se la compacta por lo cual solamente es necesario dosificar dicha cantidad.

El área del cartucho es:  $126,67 \text{ mm}^2$  ó  $0,19 \text{ in}^2$

El volumen ocupado por la pólvora sin compactar, es:

$$V_c = A_c * h_1$$

$$V_c = (126,67 \text{ mm}^2) * 35 \text{ mm} = 4433,69 \text{ mm}^3 = 0,27 \text{ in}^3$$

El agujero en la placa dosificadora tiene un diámetro de  $\frac{3}{4}$  in, con el que se encuentra el espesor de la placa con el volumen a dosificar.

El área del orificio de la placa, es:  $285,02 \text{ mm}^2 = 0,44 \text{ in}^2$ .

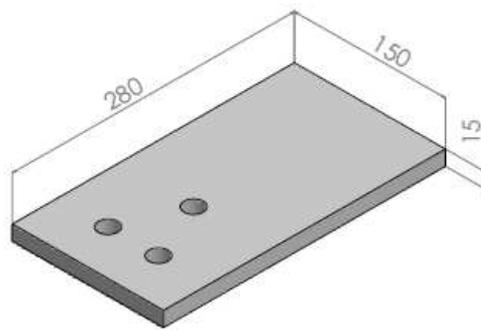
Con el área del orificio en la placa podemos encontrar el espesor de la misma:

$$e_{p4} = V_c / A_{p.Dos}$$

$$e_{p4} = 4433,9 \text{ mm}^3 / 285,02 \text{ mm}^2 = 15,5 \text{ mm} \approx 1,5 \text{ cm}$$

El volumen de toda la placa resulta:

**Figura 32.** Dimensiones placa dosificadora (mm)



Fuente: Autores

$$V_{t.pl} = (b * l * e_{p4}) - 3(V_c)$$

$$V_{t.pl} = (15 * 28 * 1,5 \text{ cm}) - 3(4,43 \text{ cm}^3) = 616,71 \text{ cm}^3$$

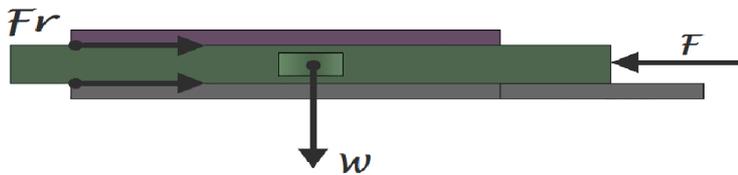
### 3.2.2 Diseño de las aletas que movilizan las placas dosificadoras

Las aletas debido a la función que cumplen se las debe diseñar de tal forma que se pueda, vencer la fuerza de rozamiento que se produce entre las placas.

La longitud debe ser adecuada para articularlas al vástago de los cilindros y poder movilizar las placas, superando la fuerza de rozamiento de las placas dosificadoras.

La fuerza necesaria para movilizar la placa de dosificación del barro de la base del cartucho se ilustra en la figura 33 y es:

**Figura 33.** Fuerzas de rozamiento a vencer por los cilindros



Fuente: Autores

$$W = m \cdot g$$

$$\mu_{nylon} = 0,34$$

Densidad ( $\rho_{nylon}$ ) = 1,14 gr/cm<sup>3</sup>

Volumen de la placa de es: 1029,12 cm<sup>3</sup>

Los datos de la densidad y del coeficiente de fricción se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Propiedades del nylalloy

DENSIDAD	G/CM3	LB/FT3	1.14-71	1.14-71	1.14	NYLACERO 2000
ABSORCIÓN EN HUMEDAD 24HR	%	%	1.2-1.2	0.6-0.6	1.6	NYLACERO 2000
ABS. HASTA SATURACIÓN	%	%	5.1-5.1	3 MAX	5.5	NYLACERO 2000
VISCOSIDAD RELATIVA	CM3/G	-	700min	NYLACERO M	NYLALLOY	NYLACERO 2000
MÁXIMA ELONGACIÓN POR:	-	-	NYLACERO -6	NYLACERO M	NYLALLOY	NYLACERO 2000
ABSORCIÓN DE AGUA	%	%	0.80-0.80	NYLACERO M	0.90	NYLACERO 2000
HUMEDAD	%	%	NYLACERO -6	NYLACERO M	0.29	NYLACERO 2000
COEFICIENTE DE FRICCIÓN	-	-	0.40-0.40	NYLACERO M	0.34	1,15-0,15
LUBRICADO DE ACEITE	ESTÁTICO	DINÁMICO	0.12-0.08	NYLACERO M	0.05-0.04	NYLACERO 2000

Fuente: <http://www.acemaq.com/Product.Asp?Clv=NYLACERO%202000>

$$F = 2\mu N$$

Donde:

$$\mu = 0,34 ; \text{Tabla 3.}$$

$$N = W_t = m \cdot g$$

$$m = \rho \cdot V_{tpl} = 1,14 \text{ gr/cm}^3 * 1029,12 \text{ cm}^3 = 1,17 \text{ kg}$$

De modo que:

$$F = 2 [0,34 * (1,17 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2)] = 7,8 \text{ Newtons} = 0,7956 \text{ kg}$$

Para lo cual las fuerzas necesarias para desplazar las demás placas dosificadoras se cumple el mismo procedimiento, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 4:

**Tabla 4.** Fuerzas a vencer las placas para la dosificación

PLACAS	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa (kg)	FUERZA ( kg-f)	FUERZA (N)
<b>1. Dosificación</b>	1029,12	1,17	0,79	7,8
<b>2. Dosificación</b>	1233,39	1,4	0,95	9,3
<b>3. Dosificación</b>	1233,39	1,4	0,95	9,3
<b>4. Dosificación</b>	411,64	0,47	0,32	3,14
<b>5. Dosificación</b>	616,71	0,70	0,48	4,67

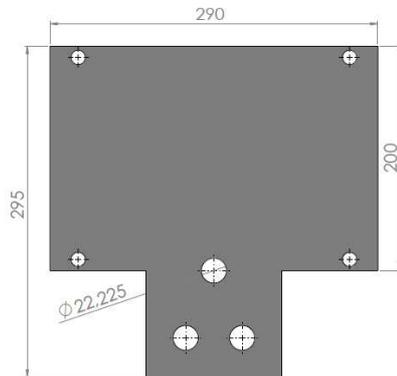
Fuente: Autores

### 3.2.3 Diseño de la placa de descarga

El espesor adecuado para la placa guía, se encontró experimentalmente de modo que esta guía correctamente la pólvora y el barro hacia los cartuchos que se encuentran en la jaba. Se consideró un espesor de 1cm como suficiente.

Debido a que existe la posibilidad de apelmazamiento del barro, los agujeros de las placas guía se las mecanizó con un diámetro mayor al de las placas dosificadoras, tomando un diámetro de 7/8 in, con lo cual se elimina dicha posibilidad. Las dimensiones de la placa de descarga se muestran en la figura 34.

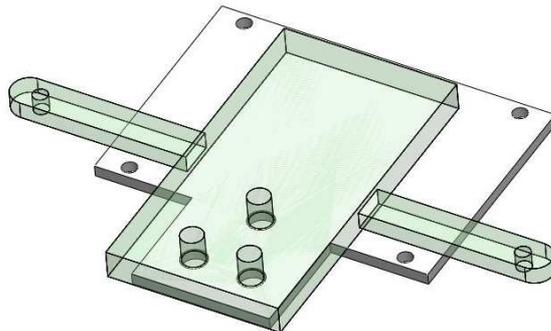
**Figura 34.** Dimensiones placa de descarga (mm)



Fuente: Autores

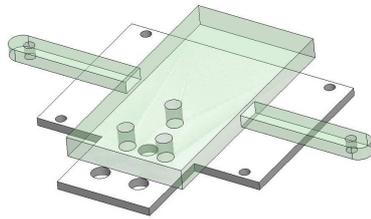
La placa aparte de cumplir la función de guiar la pólvora hacia los cartuchos también cumple la función de sello con la placa dosificadora, al momento que dicha placa se encuentra cargándose de pólvora o de barro. Debido al movimiento relativo de la placa dosificadora en relación ala boca de la tolva de dosificación y a la placa de descarga, ésta debe mantenerse con cierta “holgura” dentro del mecanismo. Esta holgura tiene que ser lo suficiente para permitir el movimiento relativo, pero no tan “grande” para evitar “fugas” de la pólvora ó el barro, lo que se puede interpretar como un “sello” adecuado. La placa de descarga debe ser fija. Se la dimensionó de tal manera que se la pueda sujetar conjuntamente con la tolva. El conjunto se ilustra en la figura 35 y 36.

**Figura 35.**Placa de descarga y placa dosificadora posición de descarga



Fuente: Autores

**Figura 36.** Placa de descarga y placa dosificadora



Fuente: Autores

### 3.2.8. Diseño de las jabas

Las jabas se las diseñó con tres alojamientos para producir tres cartuchos a la vez, debido a las limitaciones de fuerza requerida que se presentan por utilizar un sistema neumático. (Secciones 2.4.4 y 3.2.1).

El cartucho tiene las siguientes características:

$$D_{\text{interior}}=1/2 \text{ in}$$

$$D_{\text{exterior}}= 11/16\text{in}$$

$$H_c= 4,33 \text{ in ó } 11\text{cm}$$

Para la determinación del espesor de las jabas se tomó en cuenta la altura del cartucho de modo que este pueda alojarse por completo dentro de la jaba. Entonces el espesor de la jaba es de 11cm. El material del cual se han construido las jabas debido a su menor costo relativo y su maquinabilidad, es MDF.

Aparte del cartucho se debe tomar en cuenta la aguja para alojar la mecha en cada uno. Esta aguja debe ir sujeta en la base de la jaba. En este caso la aguja se mecanizó de un perno Allen de 0,5 in de diámetro con cabeza hexagonal perdida, el cual se muestra en la figura 37.

**Figura 37.** Perno allen 1/2 in para alojar la mecha



Fuente: Autores

El perno tiene una longitud de 5cm, de la cual 4cm se debe mecanizar en forma cónica para que se aloje en el interior del cartucho. Los 4 cm mecanizados con un diámetro de 5mm aproximadamente en la base del perno y terminan con un diámetro aproximado de 3mm, en su extremo como puede apreciarse en la figura 38.

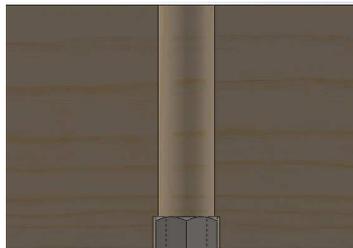
**Figura 38.** Aguja de las jabas



Fuente: Autores

El sobrante de la longitud del perno (1 cm) se lo deja con la rosca para poder sujetarlo en la base de la jaba. Esta sujeción se realiza mediante una tuerca de 0,5 in de diámetro, alojada en la base de la jaba con una altura de 1cm. La tuerca de sujeción se ilustra en la figura 39.

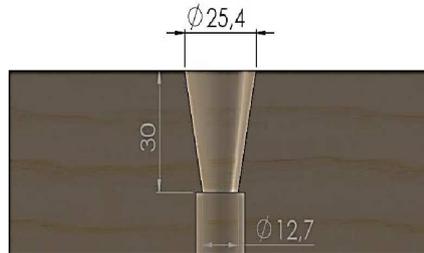
**Figura 39.** Conjunto tuerca jaba



Fuente: Autores

Uno de los grandes problemas que pueden surgir en el proceso de compactación, es la falta de alineación de los cartuchos con los pisonos o martillos. Como previsión a esta dificultad se aumentó la altura de la jaba en 3cm; este tramo tiene la forma de cono para que al momento que los pisonos descendan, den alineamiento a la jaba antes de proceder al compactado. Las dimensiones de la parte superior de la jaba se muestran en la figura 40.

**Figura 40.**Conicidad en la boca de las jabas



Fuente: Autores

De esta forma se obtiene que la altura total de la jaba,es:

$$H_{tj} = H_c + h_{tue.} + h_{al.}$$

$$H_{tj} = 11 \text{ cm} + 1 \text{ cm} + 3 \text{ cm} = 15 \text{ cm}$$

Donde;

$H_{tj}$  = altura total de la jaba

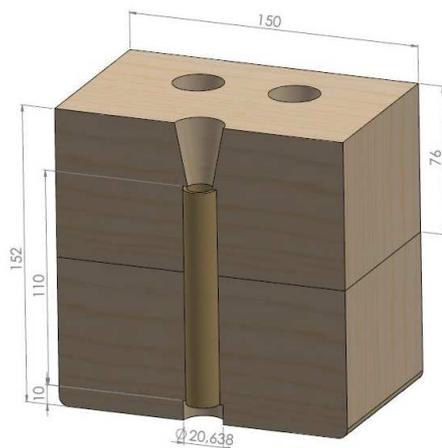
$H_c$  = altura del cartucho

$h_{al}$  = altura del cono

$h_{tue}$  = altura de la tuerca

Los agujeros de las jabas deben ser concéntricos con los agujeros de las placas para evitar problemas al momento de la descarga de la pólvora o del barro.Las medidas de las jabas finalmente sondetalladas en la figura 41:

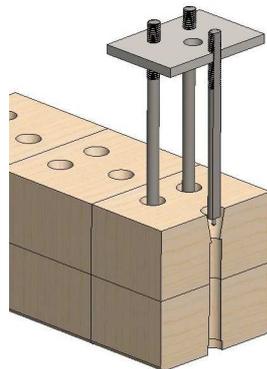
**Figura 41.**Dimensiones de la jaba



Fuente: Autores

Contando con las dimensiones dadas a las tolvas, a las placas y a las jabas, y ubicadas físicamente en la mesa de trabajo se pudo determinar el paso para las etapas del proceso. El paso adecuado resultó ser de 13cm (Sección 2.4.5), con el cual las jabas quedan completamente alineadas con las placas de descarga y a su vez con los pisones que compactan la pólvora o el barro, como en la figura 42.

**Figura 42.** Pisones alineados con las jabas



Fuente: Autores

### 3.3. Cálculo y dimensionamiento del sistema de compactación

#### 3.3.1. Cálculo de la fuerza necesaria para compactar la pólvora y el barro

La velocidad recomendada para efectuar la compactación de la pólvora es de 5 cm/s. [8]

La fuerza necesaria para compactar cada cartucho de pólvora o de barro se encuentra en el rango 70kg-100kg, para determinar dicha fuerza se procedió experimentalmente a realizar varias pruebas, (Sección 2.4.3). [9]

**Figura 43.** Pruebas de compactación en la máquina universal



Fuente: Autores

Luego de efectuar la compactación a distintas fuerzas se procedió a hacer ignición, ya que la efectividad del compactado se ve reflejada en la altura alcanzada por los cartuchos.

Se determinó así que una fuerza de 80 kg por cada cartucho, era lo más adecuado. De las pruebas realizadas físicamente, con los cartuchos se observó que la variación de una posible mejora en los cartuchos a partir de los 80 kg es insignificante.

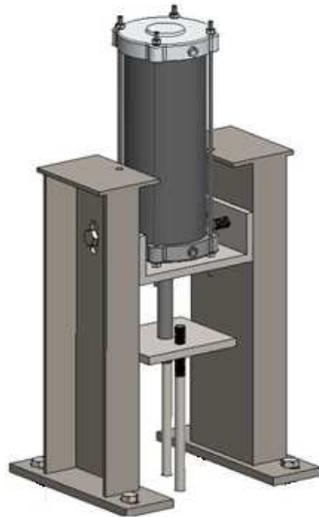
Como ya se manifestó, debido de las limitaciones de carga en los sistemas se determinó que, el número adecuado de cartuchos a trabajar, es 3. Este número facilita la ubicación en las jabas y optimiza la mesa de trabajo dimensionalmente.

La fuerza de compresión simultánea en los 3 cartuchos de la jaba resulta:

$$F_{3cart} = (80 \text{ kg}) * 3$$

$$F_{3cart} = 240 \text{ kg}$$

**Figura 44.** Actuador neumático de compresión



Fuente: Autores

### 3.3.2. Diseño de los pisonos martillos

En este caso se parte del dato del diámetro interior de los cartuchos de 0,5 in, que es también el diámetro de los pisonos para que estos puedan realizar su función.

Para la construcción de los pisones se seleccionó el acero AISI 1018 o acero de transmisión por su facilidad de maquinabilidad, sus propiedades son:

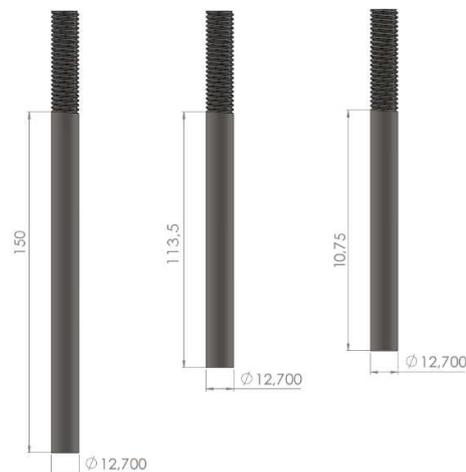
Modulo de elasticidad  $E=205\text{GPa}$ .

$S_y=370\text{MPa}$  (53700psi)

$S_{ut}=440\text{MPa}$  (63800psi)

De esta manera se tiene diferentes pisones para las diferentes etapas, como en la figura 45.

**Figura 45.** Pisones de compresión



Fuente: Autores

Como en la confección de los cartuchos, se debe dejar el alojamiento para la mecha, los martillos de compactación, a la vez que compacten la pólvora, deben conformar el alojamiento para la mecha; este alojamiento determina que tengan en el extremo una aguja como lo muestra la figura 46.

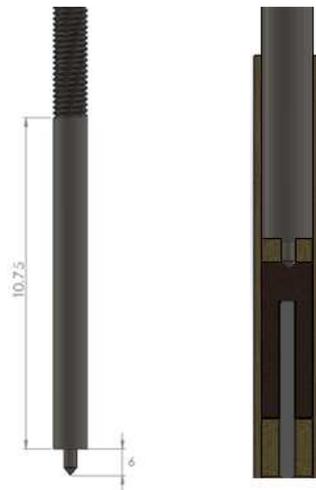
El diámetro del agujero en el pisón debe ser mayor al de la aguja, para que al alojarse la aguja dentro del cartucho no exista interferencia con el pisón. El diámetro del agujero es de 6mm, lo que se considera suficiente.

El caso del martillo para la última compactación, posee una punta saliente, la cual sirve para dejar una conexión entre la cámara de impulsión y la cámara de explosión del cartucho (Sección 2.2.1), como se muestra en la figura 46. La altura de esta punta debe ser

suficiente para atravesar la capa del barro superior, cuyo espesor es de 0.6cm; es decir que una altura de 0,8cm de la aguja es suficiente. Con una altura mayor se correría el peligro de dejar un espacio excesivo entre la pólvora que impulsa el cartucho y la pólvora del explosivo, existiendo el riesgo de que las dos cámaras no se conecten entre sí el momento de su ignición.

El diámetro de la punta es solamente el necesario para que una cantidad de fuego producida por la pólvora de impulsión pase hacia la cámara del explosivo y produzca la explosión del cartucho. Se encontró que un diámetro adecuado es de 3mm, lo que concuerda con los datos proporcionados por el fabricante artesanal de los cartuchos.

**Figura 46.** Pisón de compresión con su extremo en forma de punta



Fuente: Autores

Lógicamente el diseño de los pisones se hará a compresión y para su verificación a pandeo se debe tomar en cuenta que los pisones tienen diferentes longitudes dependiendo de la etapa de compactación. Igualmente la altura del agujero para el alojamiento de la aguja cambia dependiendo de la etapa de trabajo.

D pisón=0,5in

L pisón= 7,9 in = 20 cm

Carga compresiva=80kg=176lb.

Condiciones de extremo empotrado libre, por lo que la longitud equivalente es: (Ver Anexo A)

$$L_e = 2 * L \quad (2)$$

$$L_e = 2 * (20 \text{ cm}) = 40 \text{ cm} = 15,75 \text{ in}$$

El área del pisón es:

$$A_m = (\pi * D_{\text{martillo}}^2) / 4$$

$$A_m = (\pi * 0,5 \text{ in}^2) / 4$$

$$A_m = 0,19 \text{ in}^2 = 1,267 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

El radio de giro de una sección circular es:

$$r_G = r / 2 = 0,125 \text{ in} \quad (3)$$

Se obtiene la esbeltez en el punto tangencial de la curva

$$\lambda_0 = \sqrt{(2\pi^2 E) / S_y}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{(2\pi^2 * 205 * 10^9) / 370 * 10^6}$$

$$\lambda_0 = 104,58$$

La relación de esbeltez real del pisón más largo es:

$$\lambda = L_e / r_G = 124,01 \quad (4)$$

Como se tiene que  $\lambda > \lambda_0$  este caso ubica el pisón en el campo elástico, es decir el criterio de Euler predomina:

Según el criterio de Euler se tiene:

$$P_{crit.} = (A_m * \pi^2 * E) / \lambda^2 \quad (5)$$

$$P_{crit.} = (0,19 \text{ in}^2 * \pi^2 * 29732728,5 \text{ psi}) / (124,01)^2$$

$$P_{crit.} = 3625,6 \text{ lb}$$

Puesto que la  $P_{real} < P_{crit.}$  el pisón soportará la carga compresiva más que suficientemente sin peligro de que se pueda pandear en el proceso de trabajo.

Para la verificación a pandeo de los demás pisones sigue el mismo procedimiento variando solo la longitud equivalente (Le), por lo cual es necesario comprobar antes el criterio a utilizar, el de Euler ó el de Johnson los resultados se resumen en la tabla 5.

Criterio de Johnson:  $P_{crit.} = A\{S_y - [1/E * (S_y * \lambda/2\pi)^2]\}$ (6)

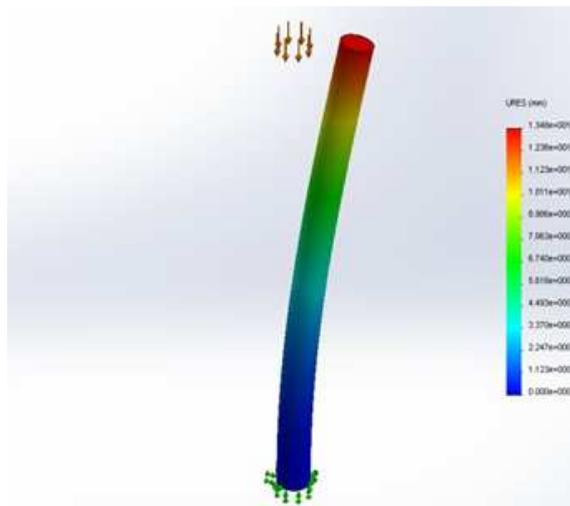
Criterio de Euler:  $P_{crit.} = (A * \pi^2 * E)/\lambda^2$

**Tabla 5.** Resumen de la  $P_{crit.}$  de cada martillo

Martillo	Longitud real (L)	Longitud equivalente (Le)	Esbeltez real ( $\lambda$ )	Esbeltez en el punto tg. ( $\lambda_0$ )	Criterio a utilizar	$P_{crit.}$	$P_{real}$
Primera compactación pólvora	17,5cm	35cm (13,77in)	108,42	104,58	$\lambda > \lambda_0$ Euler	4743,18 lb	176 lb
Segunda compactación pólvora	15,5cm	31cm (12,2in)	96,6	104,58	$\lambda < \lambda_0$ Johnson	5895,8 lb	176 lb
Compactación de barro superior	15,5cm	31cm (12,2in)	96,06	104,58	$\lambda < \lambda_0$ Johnson	5895,8 lb	176 lb

Fuente: Autores

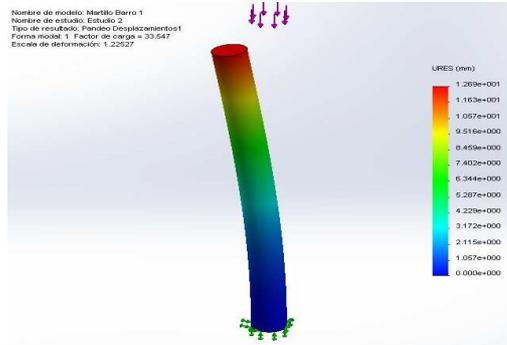
**Figura 47.** Análisis a pandeo del pison de 17,5 cm de longitud mediante *SolidWorks* 2012



Fuente: Autores

El factor de carga del martillo de 17,5 cm es de 26,33. Por lo tanto no es factible que falle por pandeo.

**Figura 48.** Análisis a pandeo del pisón de 15,5 cm de longitud mediante *SolidWorks* 2012



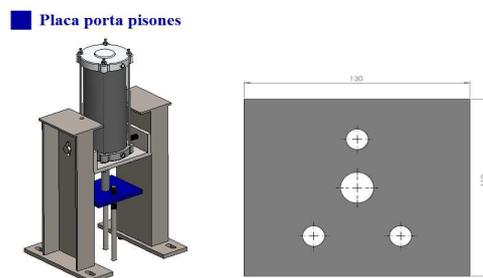
Fuente: Autores

Las figuras 47 y 48 muestran los resultados del análisis a pandeo, utilizando el programa *SolidWorks* de los pisones de 17,5cm y 15,5cm de longitud respectivamente. De ellas se puede observar que se necesitarán un factor de carga 33,55 veces mayor para que el martillo de 15,5cm llegue a fallar por pandeo y un factor de carga de 26,33 para el pisón de 17,5cm. A pesar de estos elevados factores de seguridad para el AISI 1018, no se puede disminuir el diámetro de los martillos, debido a los requerimientos dimensionales de los cartuchos.

### 3.3.3. Diseño de la placa porta pisones

La placa porta pisones hace parte del sistema de compactado, cumple con la función de sujeción de los pisones, es decir transmite la fuerza generada por el cilindro neumático a los pisones. Está sometida a tres cargas puntuales de 80kg. Sus dimensiones y ubicación se muestran en la figura 49.

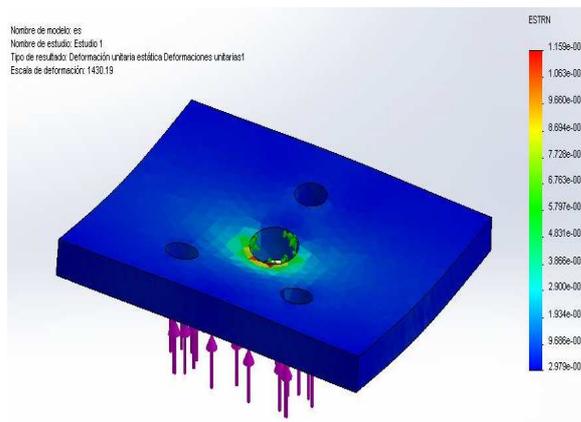
**Figura 49.** Dimensiones de la placa porta pisones (mm)



Fuente: Autores

Como puede observarse del análisis en *SoliWorks* y de la figura 50 la deformación de la placa no es apreciable; por lo que se debió aumentar la escala para observar con más claridad las partes en las que se podría producir una deformación. Esto quiere decir que esta pieza prácticamente no llegará a deformarse debido a los 80kg aplicados en el proceso de compactación.

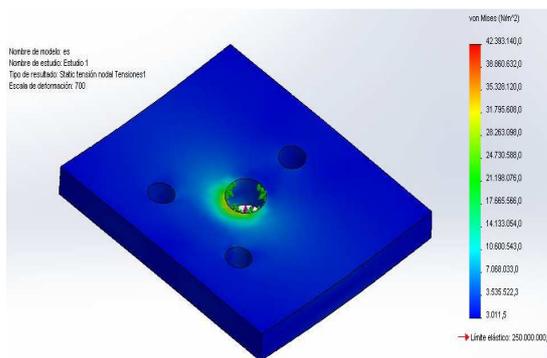
**Figura 50.** Análisis de deformaciones del soporte de los pisones de compresión



Fuente: Autores

Igualmente al analizar las tensiones en la figura 51 se puede observar que las tensiones aplicadas no superan el límite permisible para el acero. Entonces la pieza es adecuada para el trabajo a realizar, desde el punto de vista de la fluencia.

**Figura 51.** Análisis de tensiones del soporte de los martillos de compresión

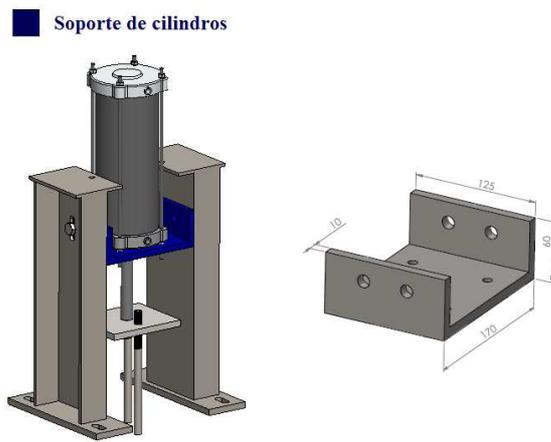


Fuente: Autores

### 3.3.4. Diseño del soporte de los cilindros

El soporte de los cilindros también hace parte del sistema de compactado, cumple con la función de ser la base donde se sujeta el cilindro de compactación. Está sujeta a los soportes laterales. Sus dimensiones y ubicación se muestran en la figura 52.

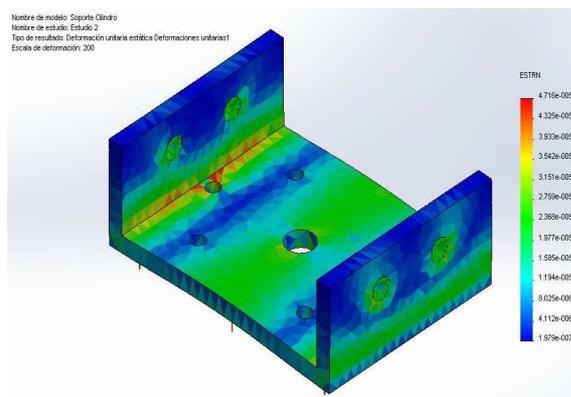
**Figura 52.** Dimensiones (mm) y ubicación del soporte de cilindro



Fuente: Autores

Puede observarse en la figura 53 que las máximas deformaciones se producirán en las uniones soldadas, observándose además (aumentado a una escala de 200) que, dichas deformaciones (de color amarillo), se encuentran dentro del límite permisible.

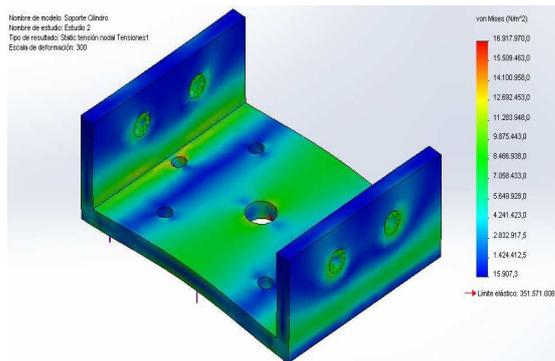
**Figura 53.** Análisis de deformación del soporte del actuador neumático para la compresión



Fuente: Autores

En la figura 54 en cambio se puede apreciar que las tensiones aplicadas a la pieza, no son críticas pues el límite de tensiones permisibles es mayor que las tensiones aplicadas.

**Figura 54.** Análisis de tensiones del soporte del actuador neumático para la compresión

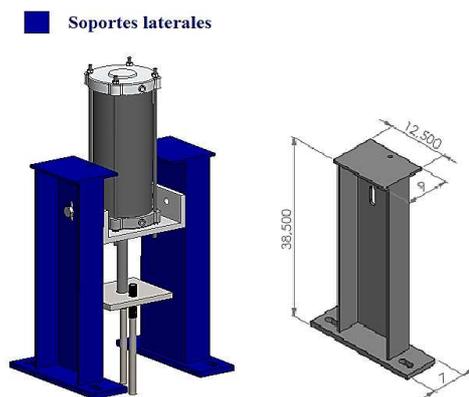


Fuente: Autores

### 3.3.5. Diseño de los soportes laterales

En el sistema de compactación se tiene además, soportes laterales, cumplen con la función tanto de sostener al soporte de los cilindros como al cilindro de compactación. Están sujetosa la estructura base. Sus dimensiones y ubicación de muestran en la figura 55.

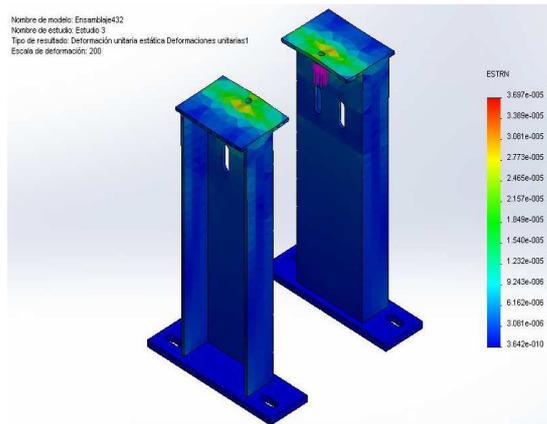
**Figura 55.** Dimensiones (cm) y ubicación del soporte laterales



Fuente: Autores

En este caso se analiza el peor de los escenarios en donde toda la carga será soportada por la parte superior del elemento, las deformaciones se representa en la figura 56, con colores amarillos y verdes; esta representación nos indica que la deformación se encuentra dentro del rango permisible.

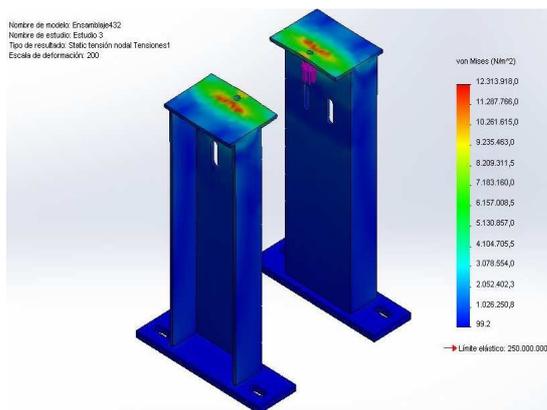
**Figura56.** Análisis de deformaciones de los soporte laterales para el cilindro de compresión



Fuente: Autores

En cambio en la figura 57 se representa la distribución de tensiones, pero se ha aumentado la escala, para poder observar dónde podría producirse una posible falla, la zona crítica se halla en las zonas soldadas, y por la coloración se ve que está en una zona muy segura.

**Figura 57.** Análisis de tensiones de los soporte laterales para el cilindro de compresión



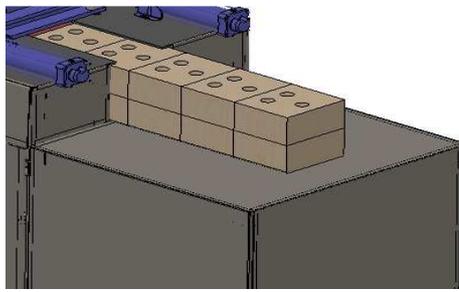
Fuente: Autores

### 3.4. Cálculo y dimensionamiento del sistema de evacuación

El sistema de evacuación está relacionado con el sistema de alimentación y el sistema de transporte, debido a que el mismo pistón que realiza el trabajo de transporte de las jabas, realiza su evacuación una vez que se haya cumplido el ciclo de trabajo en las mismas, la evacuación se realiza por el empuje de las jabas que vienen detrás de la última.

La vía de evacuación será una mesa ubicada a la misma altura de la mesa de trabajo y al final de la misma, en donde se acumularán en un número máximo de 4, como se ilustra en la figura 58.

**Figura 58.** Sistema de evacuación de las jabas



Fuente: Autores

#### 3.4.1. Cálculo y dimensionamiento del sistema de transporte de las jabas

##### 3.4.1.1. Cálculo de la fuerza necesaria para mover las jabas

La fuerza necesaria para mover las jabas sobre el canal, dependerá de la fuerza de rozamiento a vencer, cuando la máquina se encuentre a pleno funcionamiento, es decir que todas las etapas estén ejecutándose; en ese momento la máquina tendrá 20 jabas en el área de trabajo, 4 jabas en el área de descarga y una jaba en el área de alimentación, es decir que se calculará la fuerza necesaria para mover 25 jabas al mismo tiempo.

El volumen de las jabas resulta de restar el volumen total el volumen de los agujeros realizados para la ubicación de los cartuchos. Para obtener el peso total de la jaba se podría sumar el peso de las cantidades a dosificar, pero resultan insignificantes para el cálculo de las fuerzas.

Como compensación se supone que la jaba es totalmente llena como si los agujeros no existieran.

(7)

(Sección 3.2.8)

La tabla 6 muestra los valores de densidad de la fibra de madera preparada en tableros de comercialización corriente. Como las jabaes se elaboran de tableros de MDF de 38mm de espesor, se tiene una densidad de 730kg/m<sup>3</sup>. De esta forma el peso de la jabaes:

**Tabla 6.** Densidad del MDF dependiendo del espesor

DENSIDADES APROXIMADAS DEL MDF ESTÁNDAR SEGÚN GROSOR:	
de 2,5 a 3 mm	800 Kg/m <sup>3</sup>
de 4 a 6 mm	780 Kg/m <sup>3</sup>
de 7 a 9 mm	770 Kg/m <sup>3</sup>
de 10 a 16 mm	760 Kg/m <sup>3</sup>
de 18 a 19 mm	755 Kg/m <sup>3</sup>
de 22 a 25 mm	750 Kg/m <sup>3</sup>
de 28 a 32 mm	740 Kg/m <sup>3</sup>
de 35 a 38 mm	730 Kg/m <sup>3</sup>
de 38 a 40 mm	720 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero\\_de\\_fibra\\_de\\_densidad\\_media](http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero_de_fibra_de_densidad_media)

En la tabla 7, se encuentran los coeficientes de rozamientos. Para nuestro caso, la fricción se produce entre madera y metal por lo que  $\mu =$  de 0,5 a 0,6.

**Tabla 7.** Coeficiente de fricción de la jaba sobre el canal

Carburo de tungsteno	De cobre	0,35		
Carburo de tungsteno	Hierro	0,8		
Madera	Wood (limpia)	0,25 - 0,5		
Madera	Wood (Wet)	0,2		
Madera	Metales (Clean)	0,2-0,6		
Madera	Metales (Wet)	0,2		
Madera	Ladrillo	0,6		
Madera	Hormigón	0,62		
Zinc	Zinc	0,6		0,04
Zinc	Hierro fundido	0,85	0,21	

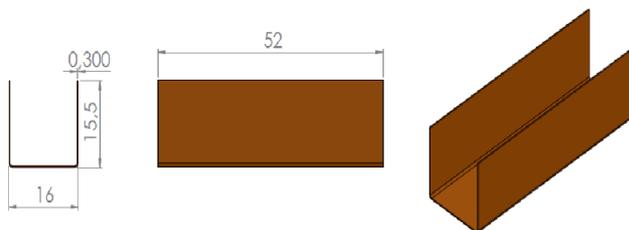
Fuente: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbse/se3/040.html>

La fuerza de rozamiento total a vencer es:

### 3.4.1.2. Dimensiones del canal de transporte

Las dimensiones del canal de transporte para las jabas están acordes con las medidas de la jaba, con una tolerancia total de 1mm para facilitar el deslizamiento de las mismas sobre el canal, evitando de esta manera que el cilindro que les da el avance, realice una fuerza excesiva. De esta forma, las dimensiones finales del canal-guía de transporte serán las que se muestran en la figura 59.

**Figura 59.** Dimensiones (cm) del canal de transporte de las jabas

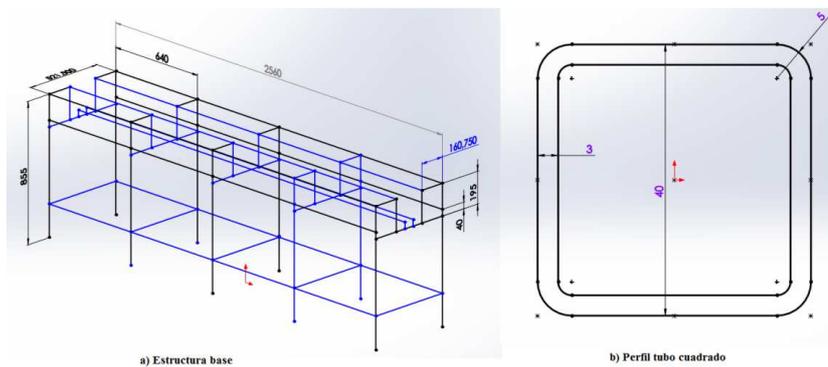


Fuente: Autores

### 3.5. Cálculo estructural

En la figura 60 se muestra el croquis de la estructura base, además de sus dimensiones y el perfil que se ha utilizado. La estructura cumple con la función de ser la base de toda la máquina.

**Figura 60.** Croquis de la estructura y el perfil utilizado



Fuente: Autores

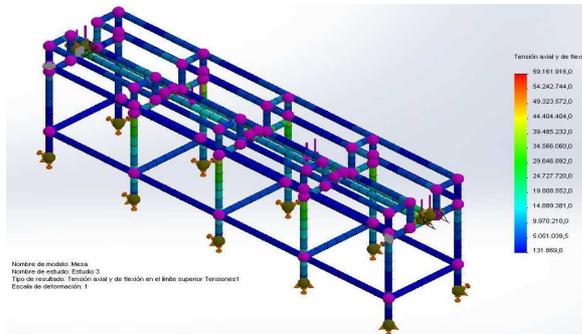
Dado que las cargas actuantes sobre la estructura de apoyo son muy bajas resultó superfluo hacer un análisis estructural en detalle; y el dimensionamiento de las partes se lodio más bien desde el punto de vista de apoyo, estabilidad y comodidad del proceso de elaboración. Sin embargo como respaldo para el adecuado funcionamiento de la estructura, se realizó el cálculo de resistencia a las cargas, deformaciones y desplazamientos. Los resultados de este estudio se muestran en las figuras 61.

**Figura 61.** Análisis de deformaciones de la estructura base



Fuente: Autores

**Figura 62.** Análisis de tensiones de la estructura base



Fuente: Autores

De la interpretación de los resultados de tensiones de la figura 62, se concluye que la estructura resiste más que suficientemente las cargas.

### 3.6. Diseño de la tolva

La tolva la cual será utilizada en todas la etapas, se ha diseñado para dar cavidad 30lb. En cada dosificación aproximadamente se descarga 1/2 onza, por lo que las 30 lb se vaciarán en 108 min. Esto equivale una producción de 45 DOCENAS de cartucho por hora, una producción 27 veces superior a la obtenida mediante la fabricación artesanal actual.

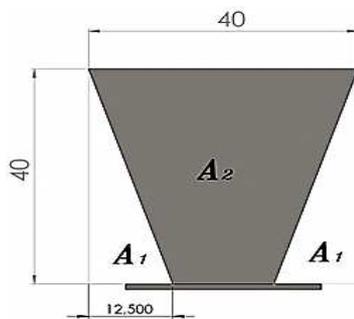
$\rho_{pc} = 1,8 \text{ gr/cm}^3$ ; Densidad de la pólvora propelente;

$\rho_{pexp.} = 1,6 \text{ gr/cm}^3$ ; Densidad de la pólvora explosiva;

$\rho_{barr.} = 2,46 \text{ gr/cm}^3$ ; Densidad del barro

Asumiendo para la tolva las dimensiones de la figura 63, se tendrá lo siguiente.

**Figura 63.** Tolva para el barro y la pólvora



Fuente: Autores

$$A_t = A_2 - 2 * A_1$$

$$A_2 = b_t * h_t$$

Donde:

$$A_2 = 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm}$$

$$A_t = 40 * 40 - 2 * 12,5 * 40$$

$$A_t = 1600 \text{ cm}^2 - 1000 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 600 \text{ cm}^2$$

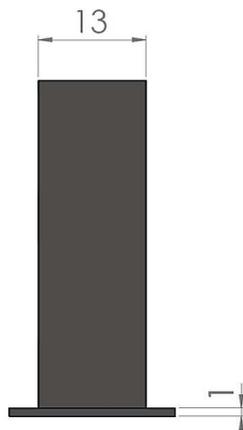
$A_t$  = área frontal neta de la tolva

$A_1$  = área frontal del rectángulo base

$A_2$  = área frontal de conicidad

Tomando una profundidad de la tolva de 13cm como en la figura el volumen de la tolva resulta ser:

**Figura 64.** Tolva para el barro y la pólvora, vista lateral (cm)



Fuente: Autores

$$V_t = A_t * l_t$$

$$V_t = 600 \text{ cm}^2 * 13 \text{ cm} = 7800 \text{ cm}^3$$

La cantidad de pólvora que puede contenerse en este volumen es:

$$m_{pc} = \rho_{pc} * V_t$$

$$m_{pc} = (1,8 \text{ gr/cm}^3) * 7800 \text{ cm}^3$$

$$m_{pc} = 14040 \text{ gr} = 14,04 \text{ kg} = 30,8 \text{ lb}$$

La cantidad de pólvora que puede contenerse en esta tolva es:

$$m_{pexp} = \rho_{pexp} * V_t$$

$$m_{pexp} = (1,6 \text{ gr/cm}^3) * 7800 \text{ cm}^3 = 15288 \text{ gr} = 15,29 \text{ kg} = 33,6 \text{ lb}$$

Y la cantidad de barro es:

$$m_{barr} = \rho_{barr} * V_t$$

$$m_{barr} = (2,46 \text{ gr/cm}^3) * 7800 \text{ cm}^3 = 19188 \text{ gr} = 19,1 \text{ kg} = 42 \text{ lb}$$

Con las dimensiones asumidas en las tolvas están diseñadas para suplir una cantidad mayor a las 30 lb de cualquier sustancia necesaria en el proceso de producción de los cartuchos. El exceso puede suplir posibles derramamientos de pólvora por los bordes de la boca superior. Para un ángulo de descarga de la tolva, superior a los 60°, la descarga se produce naturalmente, lo que se comprobó experimentalmente.

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO

#### 4.1 Esquema y descripción del sistema neumático

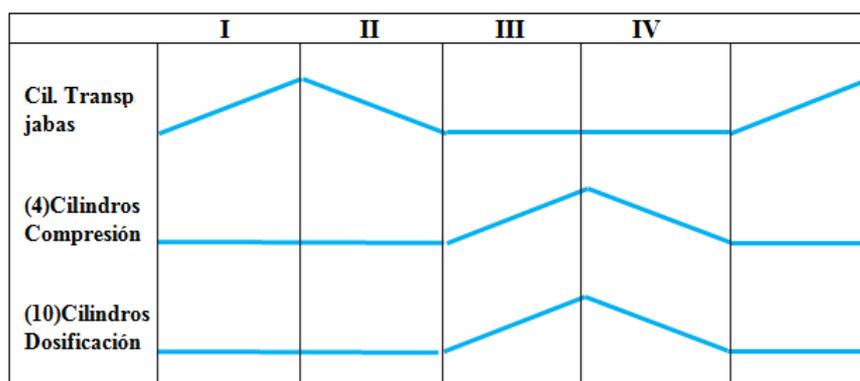
En la figura 65, se muestra el esquema del circuito neumático, el mismo que ha sido diseñado con la técnica de la cascada.

ON

X+/X-/F+A+/PAUSA/F-A-/	<b>4 VECES</b>
X+/X-/ F+A+G+/PAUSA/F-A-G-/	<b>4 VECES</b>
X+/X-/F+A+G+H+/PAUSA/F-A-G-H-/	<b>4 VECES</b>
X+/X-/F+A+G+H+I+/PAUSA/F-A-G-H-I-/	<b>4 VECES</b>
X+/X-/F+A+G+H+I+J+/PAUSA/F-A-G-H-I-J-/	<b>n VECES</b>

La secuencia descrita cumple con los requerimientos de funcionamiento, realizando de esta manera el proceso productivo de los cartuchos, en el diagrama de fases se puede observar la simultaneidad de los procesos, y la inexistencia de señales blocales.

**Figura 65.** Diagrama de fases del proceso de trabajo de la máquina



Fuente: Autores

Para realizar la secuencia de operaciones necesarias, el circuito se compone de los siguientes elementos:

C. Cilindro de compresión.

D. Cilindros de dosificación.

X. Cilindro de alimentación de jabas.

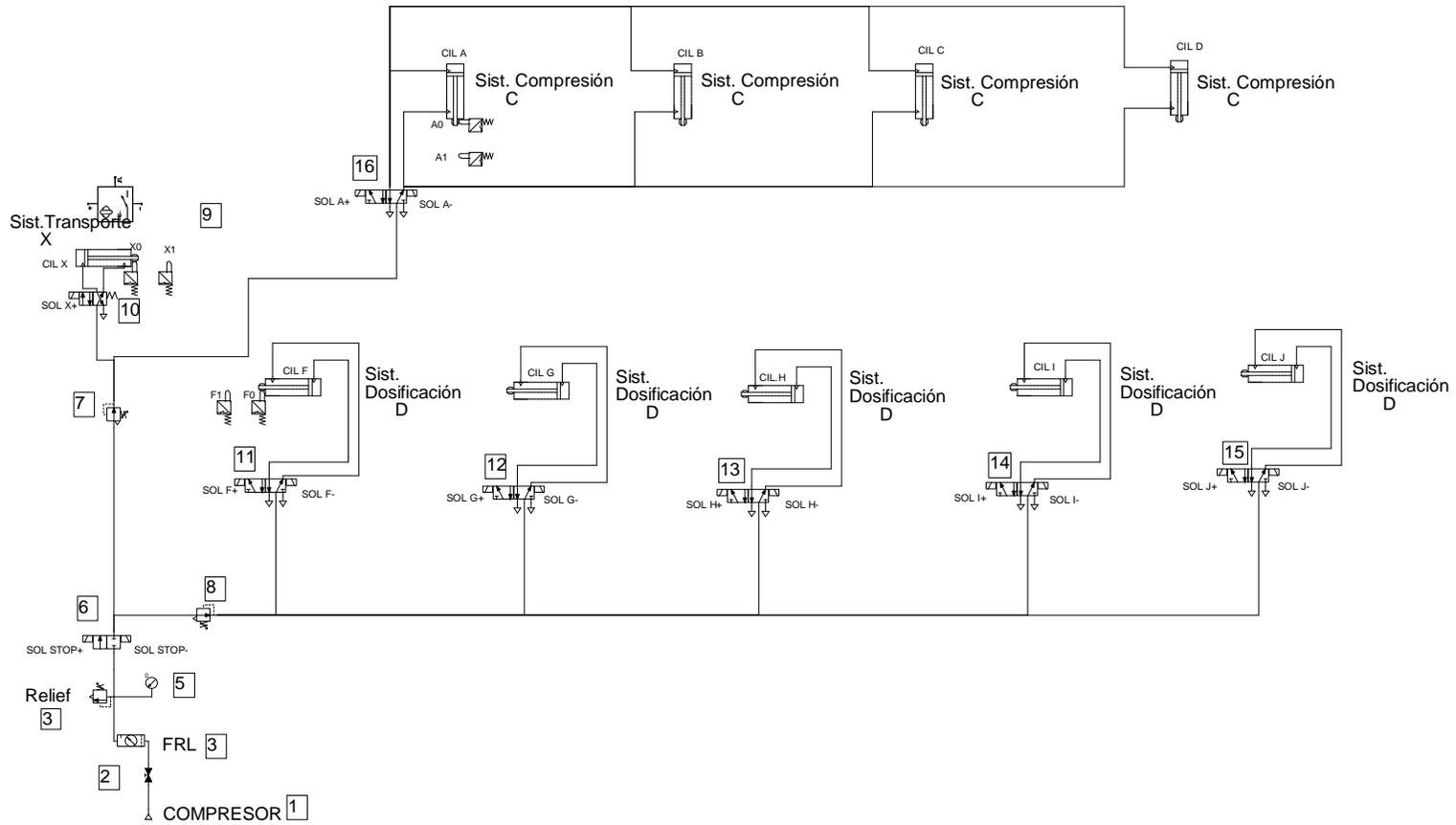
No.	Elemento.
1.	Compresor
2.	Válvula de cierre rápido
3.	Filtro regulador lubricador
4.	Válvula de máxima presión o alivio (Relief)
5.	Manómetro
6.	Electroválvula 2x2
7.-8.	Válvulas reguladoras de presión
9.	Electroválvula direccional 4x2 monoestable
10.-15.	Electroválvula direccional 5x2 biestable

El fluido neumático es almacenado en el tanque del compresor (1). La válvula de apertura rápida (2), supe de aire al sistema, que es preparado en la unidad FRL (3), llega a la electroválvula 2x2 (6), que a su vez hace de *stop*. Una vez accionada (6) el suministro de aire, llega a todas la válvulas principales de los cilindros. La protección del grupo se da con la válvula de máxima presión (4), cuya taratura puede leerse en el manómetro (5).

El accionamiento de los cilindros neumáticos (A, B, C, y D), está dado por las electroválvula direccional (15), mientras que el accionamiento de los vástagos de los cilindros (F, G, H, I, y J,) lo hacen las electroválvulas direccionales (10,11, 12,13 y 14).

Al accionar la válvula (6), se da paso al flujo de aire con lo cual empieza el ciclo, si el sensor capacitivo de las jabas es activado, el cilindro (X), empuja la jaba, al retraerse el vástago del cilindro (x) se activa el sensor de posición (X0) con lo cual se activa el sistema de dosificación y el sistema de compresión. Salidos los vástagos de los actuadores dosificadores y los de compactación se produce una pequeña pausa para garantizar que tanto la compactación como la compresión se completen.

**Figura 65.**Circuito neumático



Fuente: Autores

Los actuadores del sistema de compactación trabajan al mismo tiempo sin importar que aun no se encuentren jabas en las cuales realizar la compactación. A diferencia del sistema de compactación, el sistema de dosificación se realiza gradualmente.

Es decir que los actuadores del sistema de dosificación de la siguiente etapa se activan solo cuando los actuadores de la primera dosificación hayan realizado 4 ciclos, y se activarán sucesivamente los siguientes actuadores de dosificación mediante las válvulas 11, 12,13 y 14.

Cuando se ha producido la pausa, al terminar la dosificación y la compactación, los actuadores del sistema de dosificación y de compactación se retraen, y el circuito queda listo para que cuando el sensor capacitivo detecte la nueva jaba el proceso continúe, repitiéndose una y otra vez el proceso en el que se encuentre la máquina.

Para producir la pausa ya mencionada en el proceso productivo basta con desactivar el solenoide de la válvula (6), esto deja sin aire a los actuadores. Reactivando este solenoide el ciclo continúa con el proceso sin ninguna alteración.

Al final de la jornada productiva, pueden darse dos situaciones:

1. Que se suspenda la producción una vez concluida con la última jaba alimentada.
2. Que por cualquier situación se interrumpa abruptamente la jornada sin terminarse con la producción de todos los cartuchos.

En el primer caso, no hay inconveniente de iniciar la nueva jornada, desde el primer evento del primer cartucho; pero en el segundo caso, se puede continuar con la secuencia suspendida seleccionando la opción 2 de la perilla, esto será explicado en la redacción del circuito de comandos.

Cuando se quiera continuar con la producción en la siguiente jornada se debe seleccionar la opción dos de la perilla que se encuentra ubicada en la caja de comandos.

Como sistema de emergencia, se optó por un pulsador de emergencia, el cual, envía la señal de reset o stop al PLC y produce la retracción de los cilindros, sin importar la etapa del proceso de producción en la que se produce la suspensión.

## 4.2 Selección de cilindros

Las fuerzas que deben ejercer los distintos actuadores neumáticos se determinaron anteriormente y son resumidos en la tabla 8.

**Tabla 8.** Fuerza de cada actuador

Cilindros	Fuerza (kg)
Compresión	240
Dosificación	0,95
Transporte de jabas	27

Fuente: Autores

Como presión de trabajo para el sistema neumático se decidió por 6,5 psi ó 4,5bares; puesto que las cargas en el sistema no son grandes, y una presión mayor puede repercutir en los cartuchos. Se consideró además que como pérdida de presión en el sistema un 10% es más que suficiente. De esta manera la presión disponible en los actuadores es de 58,8psi ó simplemente 58psi.

Si se sabe que la máxima fuerza de compresión es de 240 kg y que la presión de trabajo es de 58 psi, luego:

Cálculo de los diámetros de los cilindros

$$F_c = p_s * A_e = 240 \text{ kg.}$$

$$A_e = F_c/p_s = (240 \text{ kg})/(4,07 \text{ kg/cm}^2) = 58,59 \text{ cm}^2$$

Esto da un diámetro de:  $8,63 \text{ cm} \approx 9 \text{ cm}$

El proceso para calcular los diámetros de los demás cilindros es el mismo, y los resultados se resumen en la tabla 9:

**Tabla 9.**  $D_e$  De los actuadores neumáticos

Cilindro	Fuerza(kg)	$A_e$ ( $\text{cm}^2$ )	$D_e$ (cm)
Compresión	280	58,59	8,63
Dosificación	0,98	0,48	0,78
Transporte de jabas	27	6,6	2,9

Fuente: Autores

Como la carga necesaria para mover las placas dosificadoras es muy pequeña se optó por poner en el ramal respectivo una válvula reductora de presión a 2 bares con lo cual se obtiene un diámetro de cilindro de ~~0,78cm~~~~78em~~. Este diámetro resulta demasiado pequeño y no estaría acorde con la estructura del resto de la máquina, por lo que para mantener la concordancia se seleccionó un cilindro de ~~32mm~~~~32mm~~.

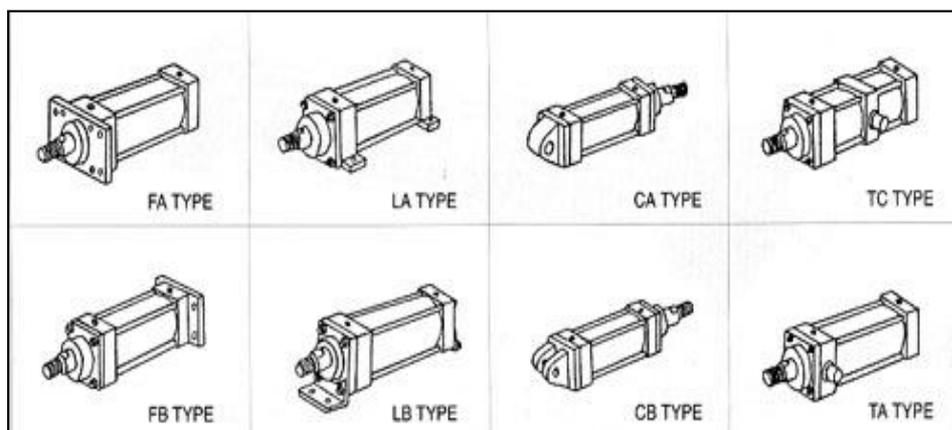
La selección de los cilindros neumáticos se realizó del catálogo de **Cilindros normalizados DNC, ISO 1552** de la FESTO. (Ver Anexo B) y su codificación en el Anexo C. Las características de los cilindros se presentan en la tabla 10 y en la figura 66.

**Tabla 10.**Tabla de selección de cilindros

	<b>Cilindros de compresión</b>	<b>Cilindros que transportan las jabas</b>	<b>Cilindros que dosifican</b>
<b>Código</b>	DNC-100-160-PPV	DNC-32-160-PPV	DNC-32-125-PPV
<b>Presión de trabajo</b>	0,6-6 bar	0,6-6bar	0,6-6bar
<b>Configuración de montaje</b>	FA	LA	LA
<b>Diámetro interior de la camisa</b>	100mm	32mm	32mm
<b>Carrera</b>	160mm	160mm	125mm

Fuente: Catalogo Festo

**Figura 66.**Formas de instalación de los actuadores



Fuente: Catalogo de kompass

#### 4.2.1 Volumen necesario de aire para un ciclo de movimientos

Con las medidas de los cilindros neumáticos reales detallados en la tabla 11, se calcula el caudal requerido para la salida y retracción del vástago de los cilindros, se obtiene de la expresión (8).

**Tabla 11.**Tabla de cilindros a utilizar

	<b>Cilindros de compresión</b>	<b>Cilindros que transportan las jabas</b>	<b>Cilindros que dosifican</b>
<b>Presión de trabajo</b>	0,6-6bar	0,6-6bar	0,6-6bar
<b>Configuración de montaje</b>	FA	LA	LA
<b>Diámetro interior de la camisa</b>	90mm	30mm	30mm
<b>Diámetro del vástago</b>	19mm	16mm	16mm
<b>Carrera</b>	160mm	150mm	130mm

Fuente: Autores

$$Q_s = A * L * (P_w/P_{atm}) * z * n \quad (8)$$

Donde:

$Q_s$  = Caudal requerido para la salida

A=Área

L=carrera

$P_w$ =presión de trabajo

$P_{atm}$ = Presión atmosférica

z= número de cilindros

n=número de ciclos por minuto

Correspondiente a las dimensiones del sistema de compactado (Sección 3.3.5), la distancia que debe recorrer los cilindros de compactación para producir la compactación (carrera) es de 15cm; además, si la velocidad adecuada de compactación es de 3 cmem en 11 segundo (Sección 3.3.1), entonces el tiempo de avance es de 3 segundos aproximadamente.

Caudal de salida de los cilindros de compresión:

$$Q_s = [(\pi/4) * (9 \text{ cm})^2] * (15 \text{ cm}) * (3,94 \text{ atm}/1\text{atm}) * 4 * 3 = 45205,44 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El caudal necesario para la retracción del vástago del actuador de compresión:

$$Q_r = [(\pi/4) * (9^2 - 1,9^2)]\text{cm}^2 * (15 \text{ cm}) * (3,94 \text{ atm}/1\text{atm}) * 4 * 3$$

$$Q_r = 43190,735 \text{ cm}^3/\text{min}$$

El caudal total por minuto de los cilindros que comprimen:

$$Q_t = Q_s + Q_r$$

$$Q_t = 88396,1839 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Los caudales para los cilindros al igual que sus tiempos se resumen en la tabla 12:

**Tabla 12.** Consumo de los actuadores para un ciclo

Cilindros	Diámetro (cm)	D. vástago (cm)	Carrera (cm)	Q <sub>t</sub> para 1 ciclo cm <sup>3</sup> /min	Q <sub>t</sub> para 3 ciclos cm <sup>3</sup> /min
Compresión	9	1,9	15	29465,39	88396,1839
Dosificación	3	1,6	13	3111,67	9335,02
Transporte de jabas	3	1,6	15	718,08	2154,23
<b>Qt. Sistema</b>				<b>33295,14</b>	<b>99885,44</b>

Fuente: Autores

#### 4.2.2 Selección de la válvula de seguridad principal

La válvula de seguridad principal debe seleccionar con una capacidad y presión de descarga adecuada al caudal máximo de aire comprimido que es capaz de suministrar el compresor en las condiciones más desfavorables. Es decir que la válvula se debe abrir totalmente al momento de superar su presión máxima de taratura.

El caudal máximo que puede erogar el compresor es de 331 l/min. (Ver Anexo I)

En el catálogo *Chelic* (Ver Anexo D) se tiene una válvula de máxima QE-803y cuyas características son:

Caudal funcionamiento= 1000lt/min

Presión de trabajo= 0,98-6,86 Bar

### 4.2.3 Selección de electroválvulas

Se desea controlar la salida y la retracción de los actuadores, por lo cual se ha optado por electroválvulas biestables, cuyas señales de pilotaje serán producidos por voltajes de 24 voltios.

Para una fácil conexión de las mangueras a los racores de las válvulas se seleccionó rosca tipo NPT de 3/8 (rosca de tubería cónica nacional), pues ésta es la más común en el mercado y la que proporciona seguridad en el sellado. Además el aire se distribuirá mediante un sistema principal de 3/8 de diámetro de manguera.

Para la selección de la válvula que controlará los cilindros de compresión hay que tomar en cuenta la cantidad de cilindros a actuar y encontrar el caudal, de selección en la tabla 12.

Número de cilindros para la compresión: 4

Caudal:  $88396,18 \text{ cm}^3/\text{min} = 88,39 \text{ lt}/\text{min}$ .

Con estas características se selecciona del catálogo de válvulas de la marca *Chelic*. (Ver Anexo E) la válvula SV-5201 -5/2- biestable cuyo código y características se despliegan así.

SV= válvula estándar para aire comprimido con rosca NPT

5= la serie 5000,

2=el número de solenoides

1=la media del racor en este caso 1/8in

5/2= el número de vías y el número de posiciones

Presión de trabajo = 14,7-140psi =9 bares

Temperatura de trabajo= 5-50 grados Centígrados

Voltaje de los solenoides= 24vdc

Caudal máximo = 660 lt/min

Caídas de presión en la válvula: 2psi =0,1 bar

Para la selección de la válvula que controla los cilindros de dosificación hay que tomar en cuenta la cantidad de cilindros a ser accionados y encontrar el consumo de aire en la tabla 12.

Numero de cilindros para la dosificación: 2

Caudal:  $1867 \text{ cm}^3/\text{min}=1,9 \text{ lt}/\text{min}$ .

Con estas características se selecciona del catálogo de válvulas de la marca *Chelic*, en este caso se ha seleccionado la válvula SV-5201 -5/2- biestable.

Las propiedades son las mismas que de la válvula anterior.

Este tipo de válvula también puede ser utilizada para el cilindro neumático que empuja las jabas.

Para la selección de la válvula que controlara la apertura y cierre de la alimentación de aire al sistema hay que tomar en cuenta el caudal total de todo el sistema, el caudal para la selección de las válvulas se toma de la tabla 12

Esta válvula debe ser monoestable y accionada por un solenoide de 24vdc.

Caudal del sistema  $\approx 10 \text{ lt}/\text{min}$ .

Con estas características se selecciona del catálogo de válvulas de la marca *Chelic* (Ver Anexo F), en este caso se ha seleccionado la válvula SUD-10H-2/2- monoestable, con las siguientes características.

Tipo de rosca NPT

La medida del racor en este caso es de 3/8in.

La válvula es de dos vías y de dos posiciones

Presión de trabajo =  $0-20 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Temperatura de trabajo =  $5-50 \text{ }^\circ\text{C}$

Voltaje = 24vdc

Caudal máximo =  $108 \text{ lt}/\text{min}$

Caídas de presión en la válvula: 2 psi = 0,1 bar

#### 4.2.4 Selección de los reguladores de caudal

En este caso no fue necesario hacer una selección de reguladores de caudal, debido a que cada cilindro posee un sistema de regulación en sus dos entradas de aire, con los cuales es posible regular la velocidad de los actuadores tanto en la salida como en la retracción de los vástagos.

#### 4.2.5 Selección de la tubería

Para establecer el diámetro de las mangueras para el sistema neumático se utiliza, las recomendaciones de velocidad que son. [10]

Para tuberías de los ramales  $v = 15\text{m/s}$

$$A_{tub} = Q_{sist}/v \quad (9)$$

Según la ecuación de continuidad:

$A_{tub} = (0,001\text{m}^3/\text{s})/(15\text{m/s}) = 6,6 * 10^{-5}\text{m}^2$ , que corresponde a un diámetro de:

$$D_{tub1} = 9,21 \times 10^{-3}\text{m} = 9,21\text{mm} \approx 10\text{mm}$$

Para calcular el diámetro de la tuberías de los ramales, tomamos en cuenta el caudal para los cilindros de compresión, en este caso es de  $88396,18\text{cm}^3/\text{s}$  teniendo que dividir el caudal para el número de cilindros, se toma la recomendación de que la velocidad de  $v = 15\text{ m/s}$ .

Entonces:

$A_{tub2} = (3,6 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s})/(15\text{ m/s}) = 2,4 \times 10^{-5}\text{m}^2$ , que corresponde a un diámetro de:

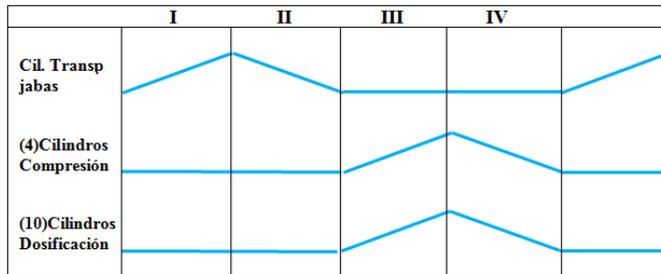
$$D_{tub2} = 5,59 \times 10^{-3}\text{m} = 5,6\text{ mm} \approx 6\text{mm}$$

La selección de las mangueras se realizó del catálogo Festo (Ver Anexo G y H)

#### 4.2.6 Selección de compresor

En la figura 67 se puede observar que los cilindros neumáticos de dosificación y de compresión trabajan simultáneamente en las fases III y IV. Por lo cual se procede a calcular el consumo total del sistema por minuto para todos los actuadores.

**Figura 67.** Secuencia de movimientos de los actuadores neumáticos



Fuente: Autores

**Tabla 13.** Consumo de los actuadores para 3 ciclos por minuto

Cilindros	Q para 1 actuador (l/min)	Numero de cilindros	Consumo total (l/min)
<b>Cil. compresión</b>	22,9	4	88,39
<b>Cil. dosificación</b>	0,93	10	9,3
<b>Cil. Tras. las jabas</b>	2,15	1	2,15
<b>TOTAL</b>			99,84

Fuente: Autores

El caudal consumido es de 100 lt/min aproximadamente

Volumen del tanque del compresor:

El depósito sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las fluctuaciones de presión en la red a medida que se consume aire comprimido. La presión máxima y mínima en el tanque son 9 bares y 6 bares respectivamente, debido a que la presión del sistema es 4 bares, será a esta presión a la que se encuentre la válvula reductora del grupo FRL.

$$V = (Q_t \cdot t \cdot P_{atm}) / \Delta P$$

(10)

Donde:

V = Volumen del tanque (l)

$Q_t$  = Erogación del compresor al circuito (l/min)

t = Tiempo requerido para el llenado del depósito (min)

$\Delta P$  =Variación entre la presión máxima y mínima en el tanque

Se debe seleccionar un Compresor con una capacidad de almacenamiento de:

$$V = (99,89 \text{ l/min} \cdot 3 \text{ min} \cdot 1 \text{ atm})/3 \text{ atm} = 99,89 \text{ l}$$

Cálculo de la potencia del compresor:

$$Pot. = (P_{atm} * Q_t * Ln(P_{max \text{ abs}}/P_{atm \text{ abs}})) \quad (11)$$

Donde:

$Q_t$ =consumo total por el tiempo en que no se prendera el compresor

$P_{max \text{ abs}}$ = presión máxima absoluta del tanque

$P_{atm \text{ abs}}$ = presión atmosférica absoluta

$$Pot. = (101325 \text{ Pas} * 0,00998854 * Ln(10/1))$$

$$Pot.=2330,42 \text{ J/seg.}=3,12 \text{ Hp}$$

De esta forma, los parámetros de selección para el compresor son:

Capacidad de almacenamiento  $\approx 100 \text{ l}$

Presión mínima del compresor: 6 bares

Presión máxima del compresor: 9 bares

Potencia del compresor  $\approx 3,1 \text{ Hp}$

El compresor seleccionado es de la marca CAMPBELL HAUSFELD (Ver Anexo I), es utilizado en el manejo de herramientas neumáticas, y actuadores neumáticos y posee las siguientes características:

- Capacidad del tanque 225 litros / 60 galones
- Motor de 3,2HP y llegando alcanzar 6 HP que es la potencia pico en el arranque del motor eléctrico
- Voltaje: 220v/60Hz
- Tipo de uso Diario: Industrial –Diario
- Fases: Monofásico

- 10,1 CFM a 90 psi

**Tabla 14.** Número de arranques por hora compresor *CAMPBELL HAUSFELD*

Tamaño de las instalaciones	Potencia (Hp)	Arranques – Hora (N)
PEQUEÑAS	Menores de 1 HP	12 a 24
MEDIANAS	De 1 a 5 HP	8 a 10
GRANDES	Mayores de 5 HP	4 a 6

Fuente: <http://www.aircompressorsdirect.com/Campbell-Hausfeld-VT6275-Air.html>

#### 4.2.7 Selección del FRL

Tanto la norma ISO 8573-1:2010 y las *FESTO* (Ver Anexo J) recomiendan que para usos de, actuadores neumáticos y válvulas neumáticas se utilice filtro de 40  $\mu$ m.

La unidad FRL se seleccionó de la misma marca del compresor es decir, (Ver Anexo F) de las siguientes características:

Temperatura máxima de trabajo: 66 grados centígrados

Puertos de conexión: 3/8 in rosca NPT

Flujo máximo de aire: 850 l/min a 6,21bar

Presión máxima 150 psi = 10,34 bar

El grupo FRL esta tarado a una presión de 4 bares, que es la presión del sistema.

#### 4.2.8 Elementos constitutivos del sistema neumáticos

**Tabla 15.** Elementos del sistema neumático

$N_0$	Cantidad	Designación	Característica
1	1	Compresor	Modelo VT6275
2	1	FRL	Modelo PA2121
3	1	Electroválvula 2x2 monoestable	V19P417A-B219B
4	5	Electroválvula 5x2 biestable	V19P511A-B219B
5	1	Electroválvula 4x2 monoestable	V19P611A-B219B
6	4	Cilindros de doble efecto (C)	-
7	10	Cilindros de doble efecto (D)	-
8	1	Cilindros de doble efecto (X)	-
9	13	Silenciadores (1/4)	SPD-4-01
10	1	Relief	-
11	2	Regulador de presión	L72M-2AP-QTN
12	7	Racores (1/8-3/8)	SQMH-3/8
13	14	Racores (1/8 – 1/4)	SQMH-1/4
14	2	Racores (3/8)	SQMH-3/8
15	30	Racores (1/4-1/4)	SQMH-1/4
16	15	(metros )Manguera de 1/8	-

17	20	(metros )Manguera de 1/4	-
----	----	--------------------------	---

Fuente: Autores

### 4.3 Circuito eléctrico

#### 4.3.1 *Diseño del circuito del panel de control*

El panel de control es el que maneja todos los movimientos del proceso de producción, para lo cual se utiliza un sistema de control programable PLC (controlador lógico programable), eliminando la operación manual. El PLC se encargará de comandar las acciones programadas al recibir las señales de entrada de los distintos sensores, y emitir las señales de comando de acuerdo al programa diseñado para el proceso.

Con la utilización del PLC se optimiza el espacio disponible y los tiempos de montaje y desmontaje eléctricos, disminuyendo el costo tanto por espacio como por el número de elementos constitutivos respecto de los otros tipos de automatización.

En el panel de control además del PLC se ubican los mandos necesarios para el funcionamiento de la máquina así como la emergencia cuando se desee paralizar la línea de producción.

#### 4.3.2 *Elementos a controlar*

Cilindros neumáticos:

X= Transporte de jabas

C= Compresión

D= Dosificación

Salidas del PCL:

Solenoides de transporte de jabas

Solenoides  $X^+$ ,  $X^-$

Solenoides de compresión

Solenoides  $A^+$ ,  $A^-$

Solenoides de dosificación

Solenoides  $F^+$ ,  $F^-$

Solenoides  $G^+$ ,  $G^-$

Solenoides  $H^+$ ,  $H^-$

Solenoides  $I^+$ ,  $I^-$

Solenoides  $J^+$ ,  $J^-$

Solenoides de apertura de aire

Solenoides *abrir*

Debido a la necesidad de 13 entradas y 14 salidas se ha seleccionado un PLC S7-200 CPU224, pertenece a la familia de autómatas compactos de SIEMENS que se lo puede alimentar con 120-230 VAC, con 14 entradas de 24VDC y 10 salidas de corriente alterna o continua, es decir que se puede controlar cargas que funcionen con corriente alterna o corriente directa, (Ver Anexo K).

Debido a que el PLC no posee el número de salidas requerido, se ve en la necesidad de incrementar un módulo de expansión, incrementándose de esta forma 8 salidas digitales.

El PLC posee una salida de 24VDC la misma que sirve para la alimentación de los diferentes sensores ya sean capacitivos o inductivos que funcionen con este voltaje. Adicional al PLC se necesita un módulo de expansión de 8 salidas digitales de 24VDC. El módulo es de la marca siemens 1BF22-0XA0.

#### **4.3.3** *Circuitos a controlar*

Los circuitos para el control de la máquina son: de potencia y de control.

##### **4.3.3.1** *Circuito de potencia*

El circuito de potencia se lo ha realizado en dos esquemas diferentes debido a que la alimentación de dichos circuitos es diferente, necesitando corriente alterna para el PLC y para el compresor a diferencia de las electroválvulas que solamente se activan los solenoides con 24 VDC.

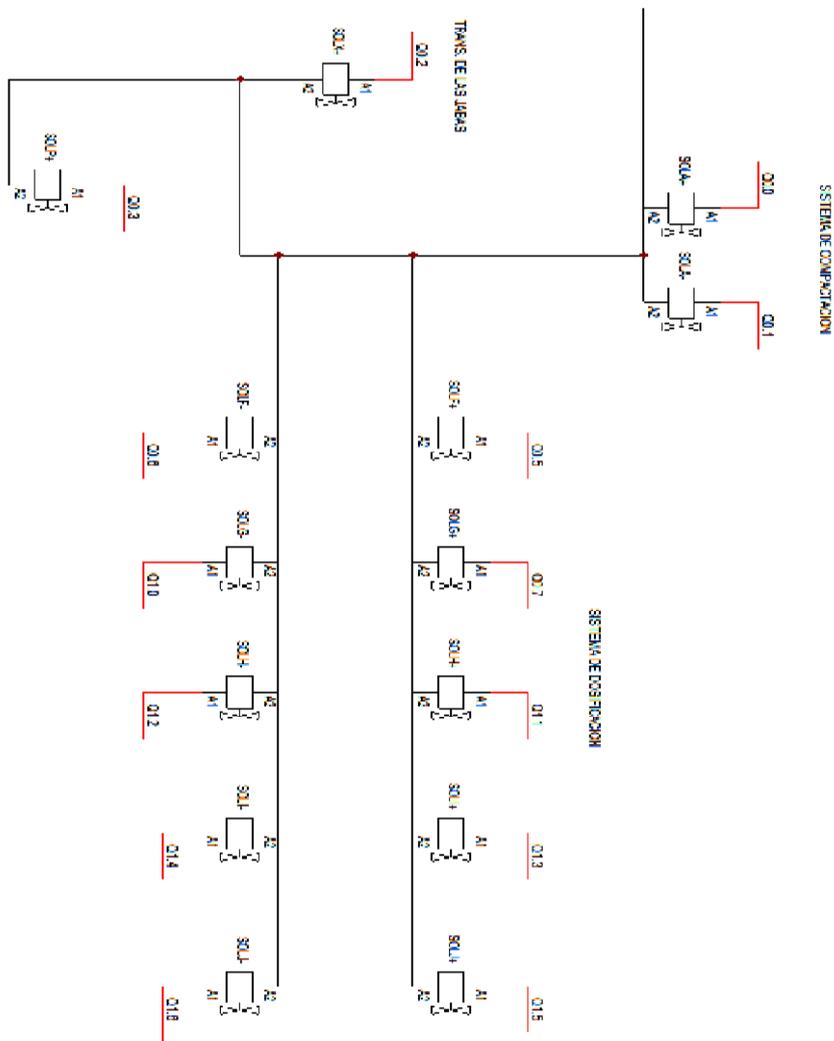
Para el circuito de corriente alterna se realizara la conexión con la protección de un *breaker* de 20 Amperios y conductor de 10 AWG.

##### **4.3.3.2** *Circuito de control*

El circuito de control se divide en dos partes:

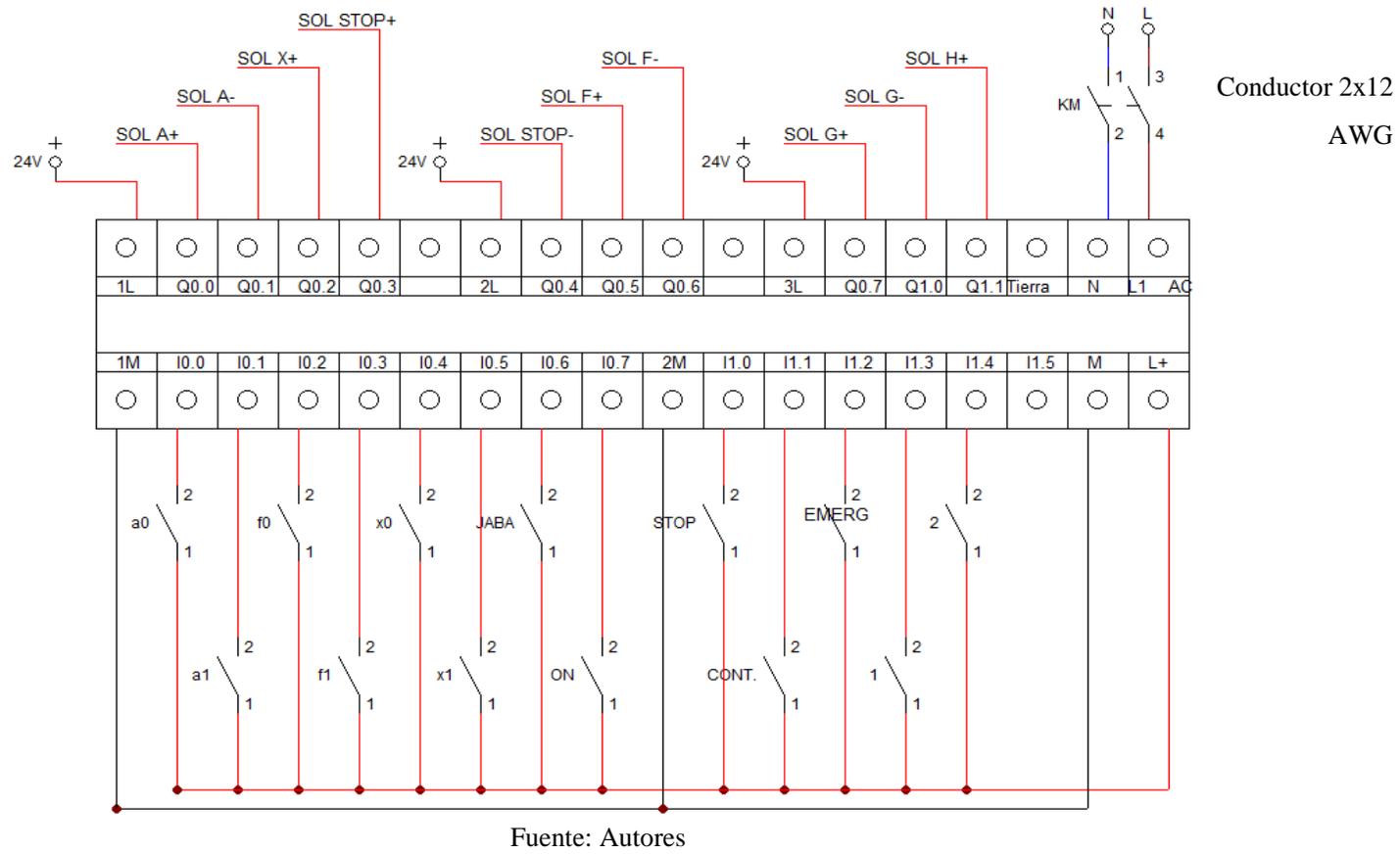
- El circuito de las conexiones del PLC que explica las conexiones de las entradas y salidas al igual que las conexiones de salidas del módulo de expansión, se muestran en la figuras 68, 69, 70 y 71. En este caso en PLC es el que controlará todo el proceso, tanto en el arranque como en las paradas de emergencia o pausas a lo largo del proceso de producción.
- El circuito de control manual solamente está constituido por un tablero el cual alimentará el PLC para el arranque del proceso, y las paradas.

**Figura 68.** Circuito de control de las electroválvulas

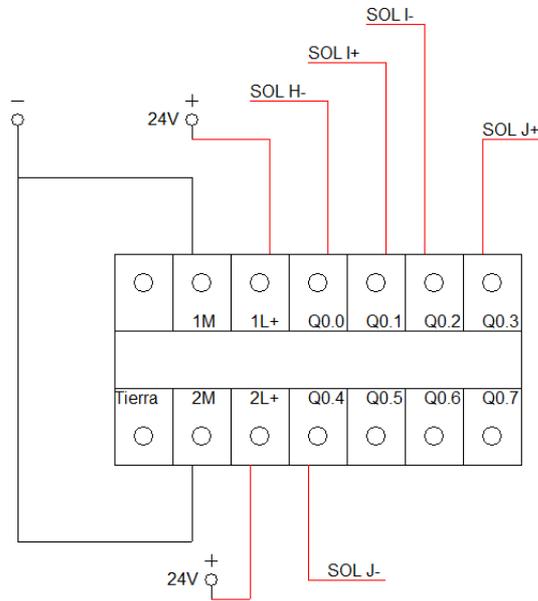


Fuente: Autores

**Figura 69.** Circuito de conexión del PLC

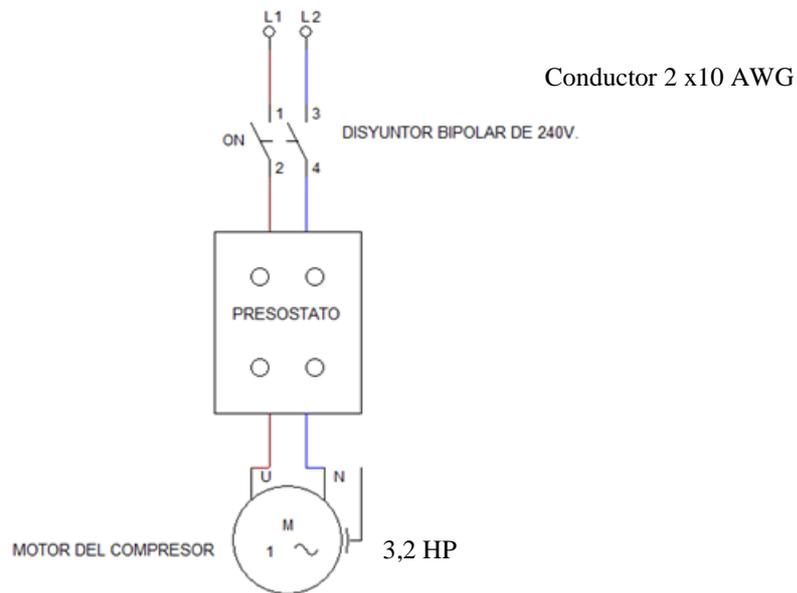


**Figura 70.** Circuito de conexión del módulo de salidas



Fuente: Autores

**Figura 71.** Circuito de Potencia del compresor



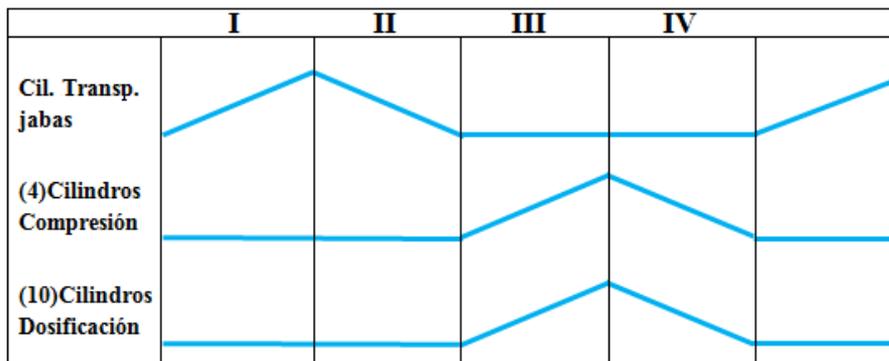
Fuente: Autores

#### 4.3.4 Programación del PLC

Para la automatización del proceso se utilizó un PLC S7-200 CPU 224 con conexiones AC/DC/Relay, el software para realizar la programación es el *STEP 7 Micro Win v4.0*, con un *servipack 9.0* para facilitar la descarga del programa al PLC.

El PLC es el encargado de controlar todos los procesos tanto el proceso de compactación, dosificación y el de transporte de jabas, el proceso que no controla es la alimentación eléctrica del compresor ya que este se mantendrá encendido durante toda la jornada de servicio, activándose el compresor cuando la presión en el tanque disminuya. La secuencia de los movimientos a controlar son los mismos que de la figura 72. (Sección 2.1)

Figura 72. Diagrama de fases del proceso



Fuente: Autores

ON

X+/X-/F+A+/PAUSA/F-A-/	4 VECES
X+/X-/ F+A+G+/PAUSA/F-A-G-/	4 VECES
X+/X-/F+A+G+H+/PAUSA/F-A-G-H-/	4 VECES
X+/X-/F+A+G+H+I+/PAUSA/F-A-G-H-I-/	4 VECES
X+/X-/F+A+G+H+I+J+/PAUSA/F-A-G-H-I-J-/	n VECES

**Tabla 16.** Tabla de asignaciones

DIRECCIÓN	SÍMBOLO	DIRECCIÓN	SÍMBOLO
I0.0	$a_0$	Q0.0	SOL $A^+$
I0.1	$a_1$	Q0.1	SOL $A^-$
I0.2	$f_0$	Q0.2	SOL $X^+$
I0.3	$f_1$	Q0.3	SOL $STOP^+$
I0.4	$x_0$	Q0.5	SOL $F^+$
I0.5	$x_1$	Q0.6	SOL $F^-$
I0.6	Sensor jaba	Q0.7	SOL $G^+$
I0.7	ON	Q1.0	SOL $G^-$
I1.0	STOP	Q1.1	SOL $H^+$
I1.1	CONTINUAR	Q2.0	SOL $H^-$
I1.2	EMERGENCIA	Q2.1	SOL $I^+$
I1.3	Opción 1	Q2.1	SOL $I^-$
I1.4	Opción 2	Q2.3	SOL $J^+$
		Q2.4	SOL $J^-$

Fuente: Autores

#### 4.3.5 Condiciones marginales del proceso productivo

Para iniciar el proceso se debe seleccionar la opción 1 ó 2 con las cuales se puede elegir empezar el proceso desde cero o continuar el proceso de la jornada anterior.

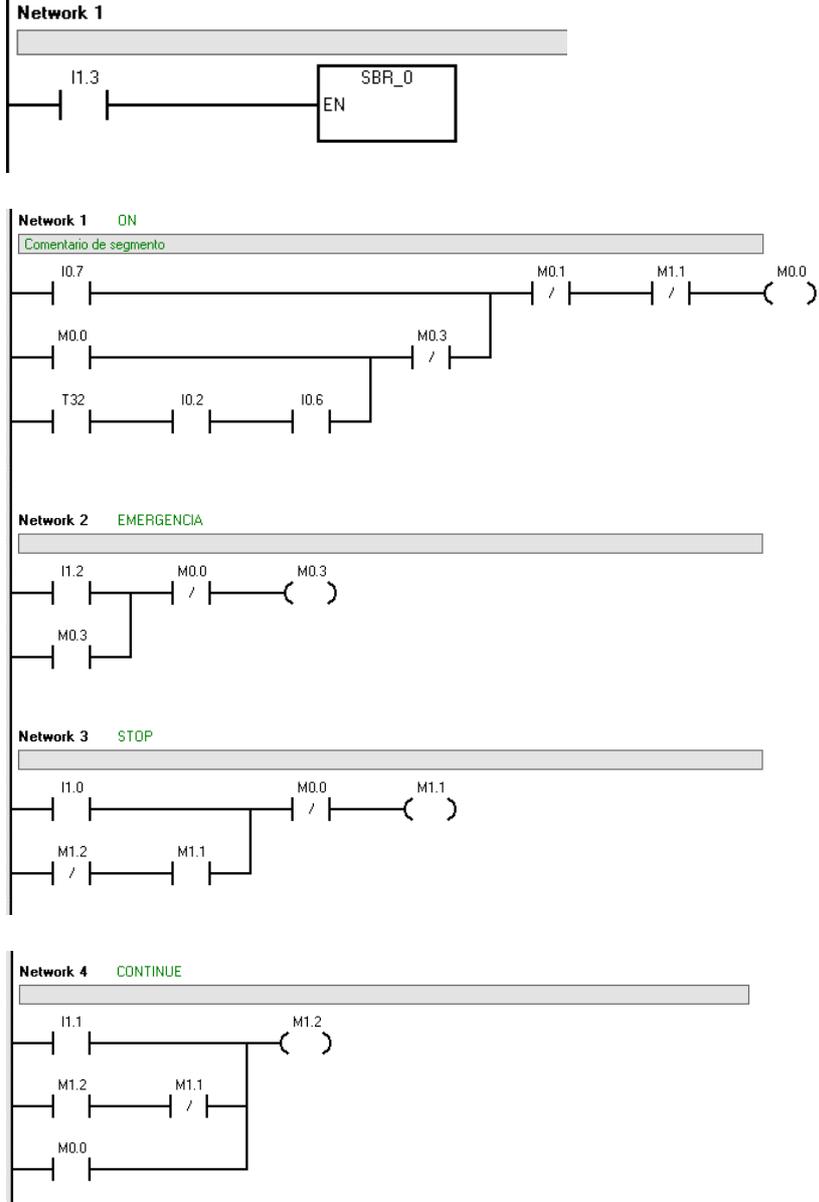
Al presionar el pulsador *ON* se dará inicio al proceso seleccionado, empezado así la dosificación de las jaba, y la consecutiva dosificación y compactación de la pólvora en los cartuchos. Si se presentara la necesidad de detener el proceso se deberá presionar el pulsador *stop*, y cuando se desee reanudarlo se deberá presionar el pulsador *CONTINUAR*.

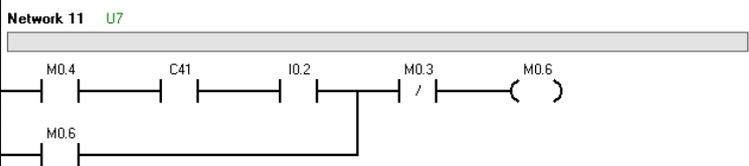
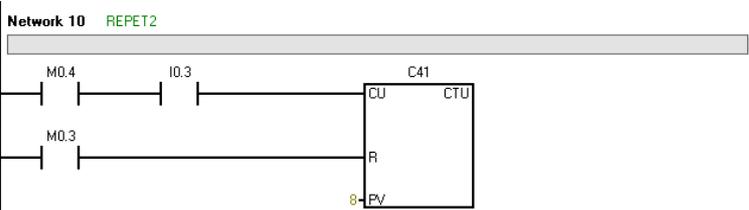
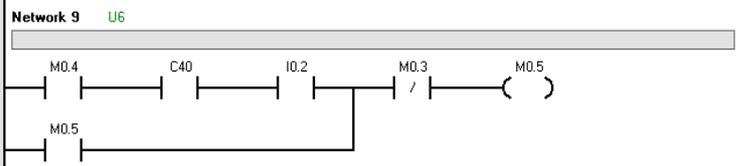
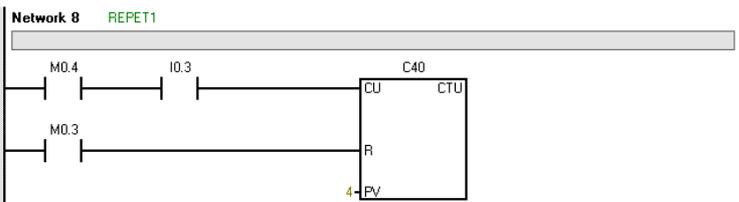
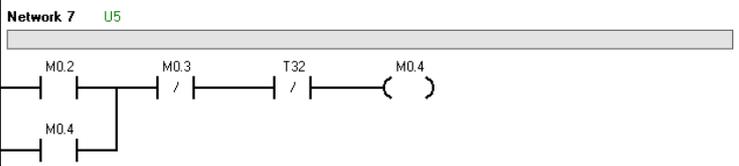
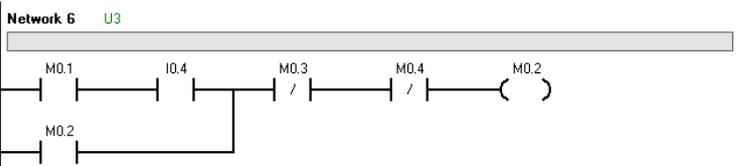
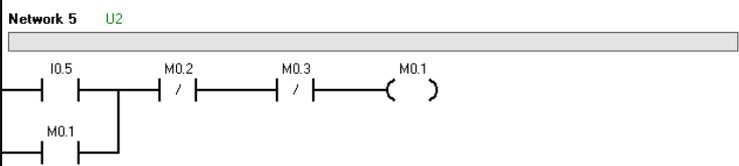
Por otro lado si se presentara una emergencia en la máquina, y se deseara paralizar el proceso de producción se presionará el botón de *EMERGENCIA*, con lo cual el proceso se detiene y todos los actuadores regresan a su posición inicial.

El diseño del programa se lo realizó con la TÉCNICA DE LA CASCADA y se representa en la figura 73.

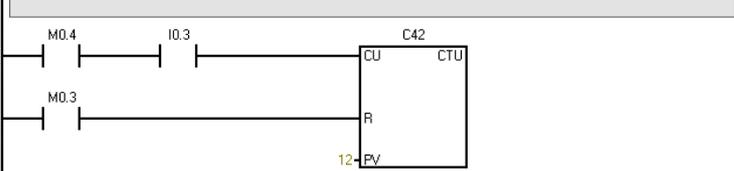
Para el caso en el que la máquina ha terminado una jornada de trabajo y a finiquitado la secuencia con la última jaba y si se desea reiniciar con el proceso después de haber realizado el mantenimiento, se debe seleccionar la opción 1, con la cual todas las etapas de trabajando se van realizando secuencialmente.

**Figura 73.** Programación tipo escalera para el PLC opción 1

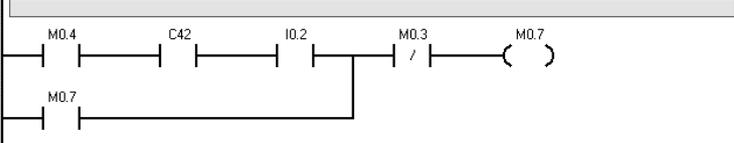




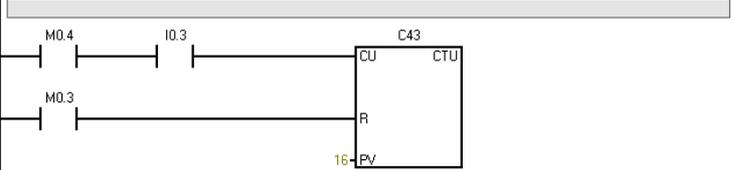
**Network 12** REPET3



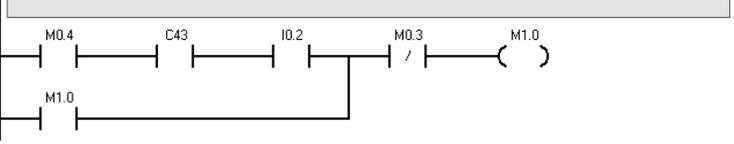
**Network 13** U8



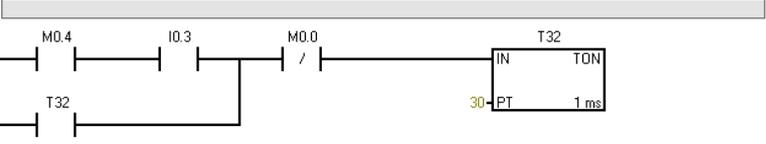
**Network 14** REPET4



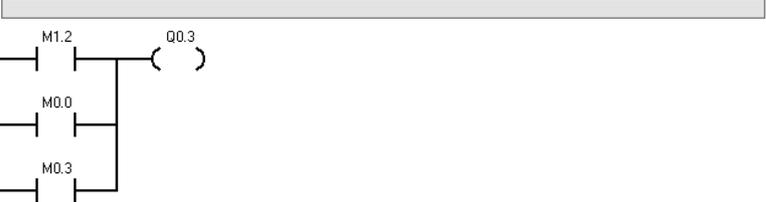
**Network 15** U9



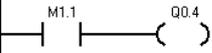
**Network 16**



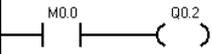
**Network 17** SOL STOP+



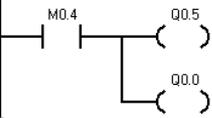
**Network 18** SOL STOP-



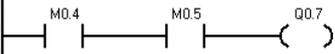
**Network 19** SOL X+



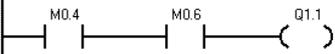
**Network 20** SOL F+YA+



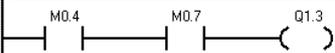
**Network 21** SOL G+



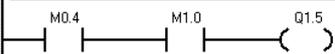
**Network 22** SOL H+



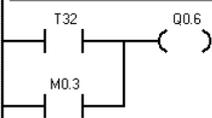
**Network 23** SOL I+



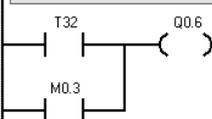
**Network 24** SOL J+

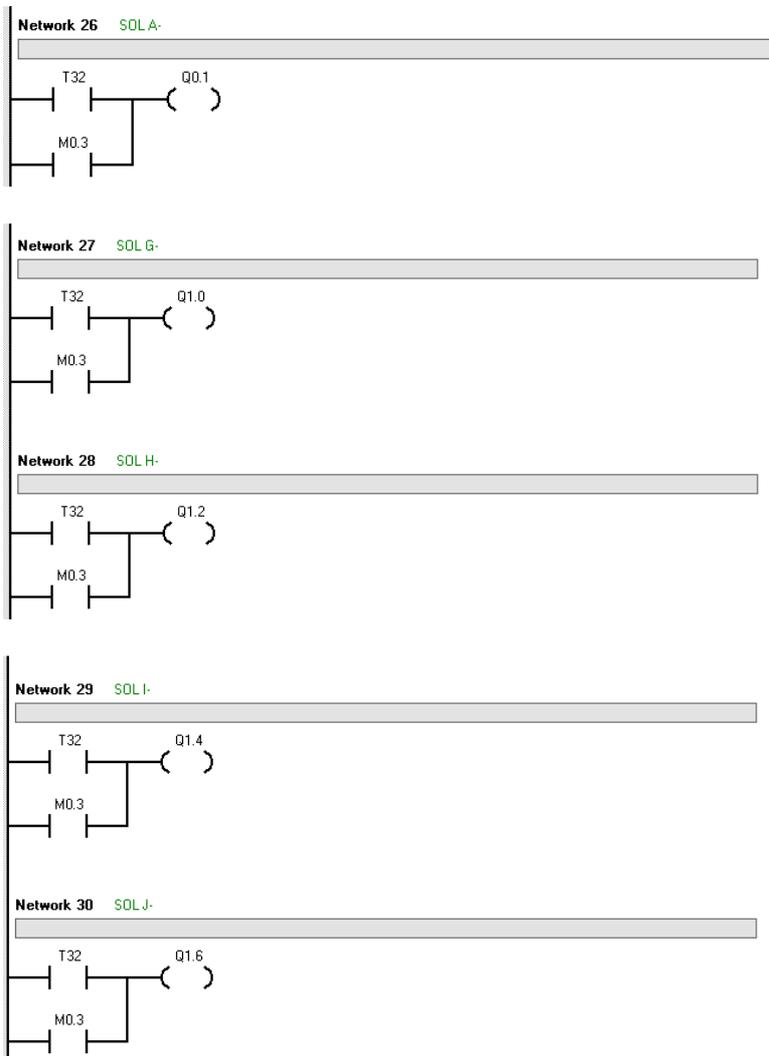


**Network 25** SOL F-



**Network 25** SOL F-

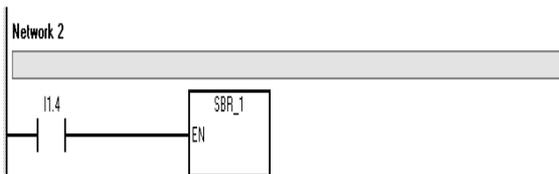


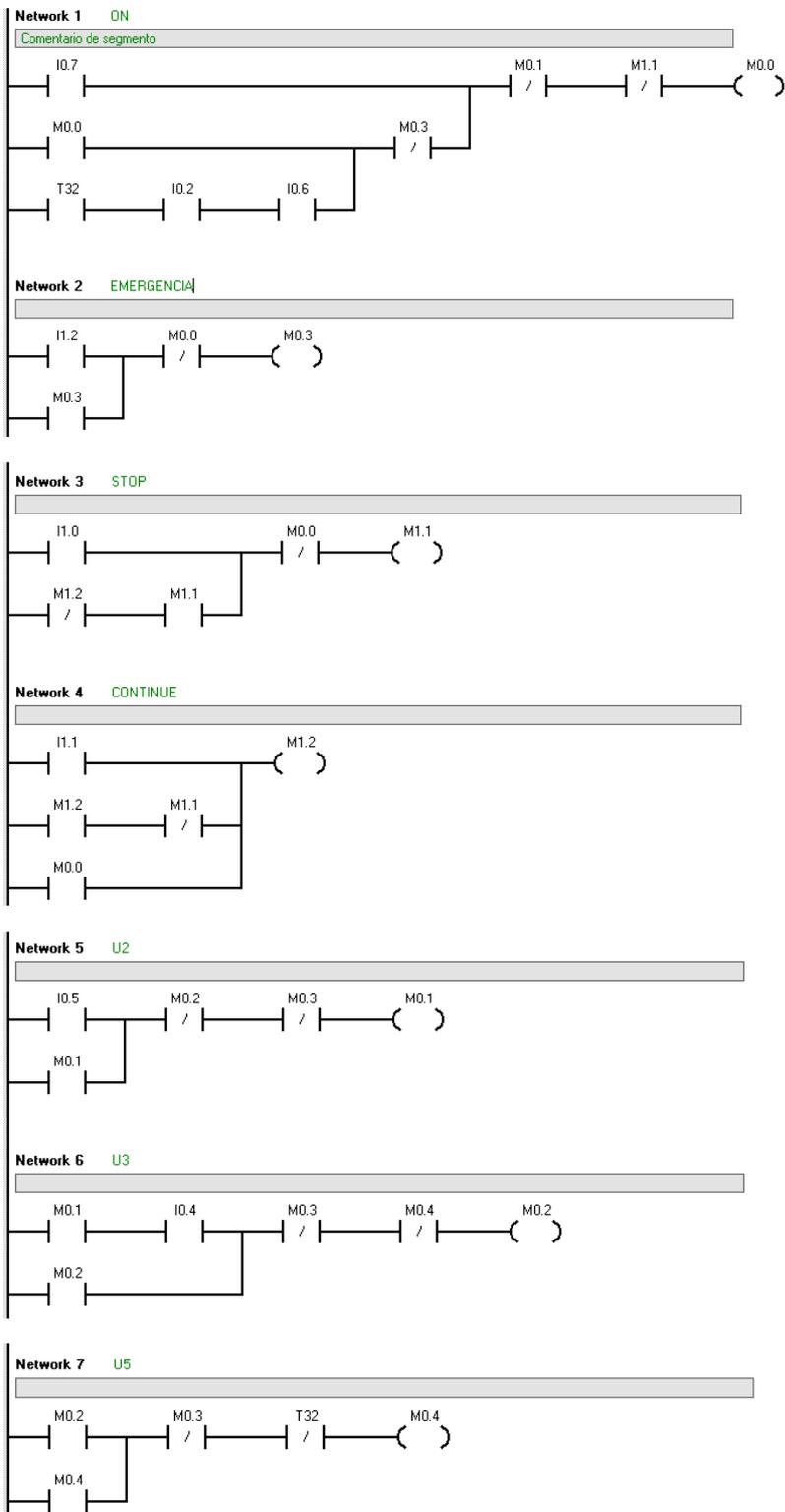


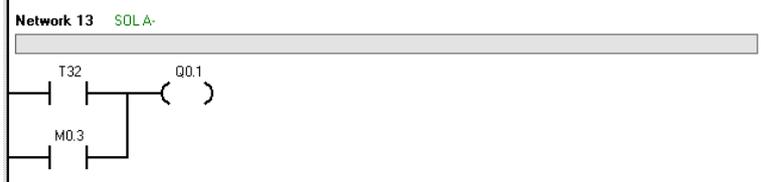
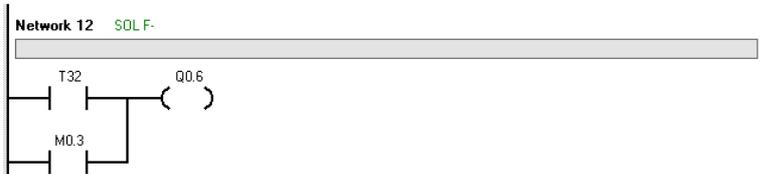
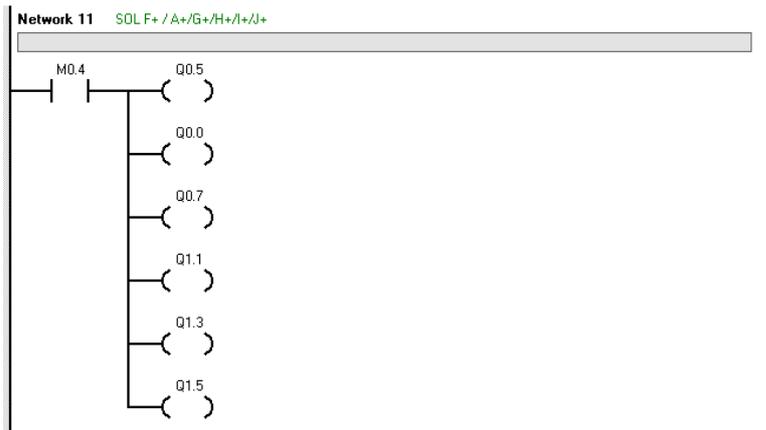
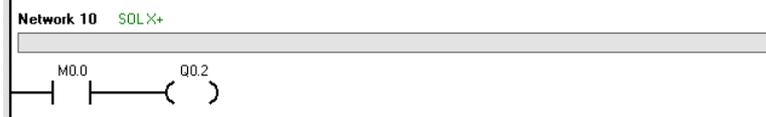
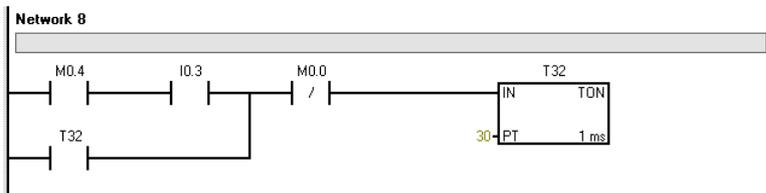
Fuente: Autores

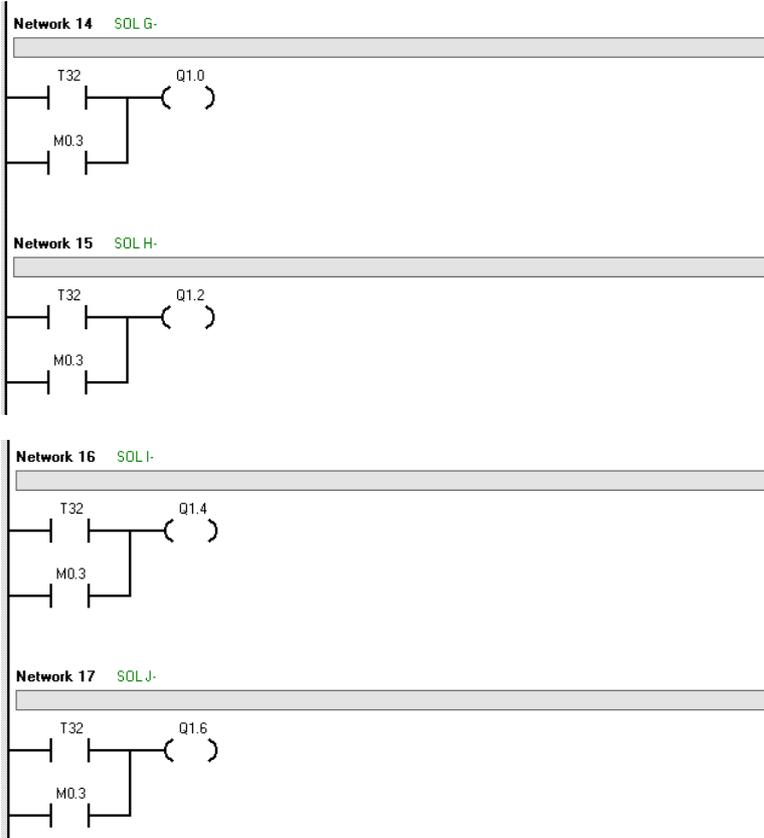
Cuando por alguna razón, un ciclo deben interrumpirse, y el funcionamiento debe retomarse desde el punto de interrupción entonces debe seleccionar la opción 2, que se muestra en la figura 74.

**Figura 74.** Programación tipo escalera para el PLC opción 2









Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

#### 5.1. Construcción

Para llevar a la realidad el diseño del conjunto y de las partes de la máquina se deben utilizar una serie de máquinas, herramientas y procesos en la manufactura y confección.

#### 5.2. Máquinas herramientas y equipo utilizado

En la presente tabla 17 se detallan los equipos, herramientas, máquinas y accesorios utilizados en la construcción de la máquina automática para llenado de material pirotécnico en tubos de cartón.

**Tabla 17.**Tabla de equipos, máquinas y herramientas

<b>Código</b>	<b>Equipo</b>
MH 1	Amoladora
MH 2	Brocas
MH 3	Calibrador pie de rey
MH 4	Cizalla
MH 5	Compresor
MH 6	Cortadora de acrílico CNC
MH 7	Cortadora de Plasma
MH 8	Dobladora de tol
MH 9	Entenalla
MH 10	Escuadra
MH 11	Esmeril
MH 12	Flexómetro
MH 13	Fresadora
MH 14	Nivel
MH 15	Oxi –Corte
MH 16	Pulidora
MH 17	Soldadora Eléctrica
MH 18	Soldadora MIG
MH 19	Soplete
MH 20	Taladro de mano
MH 21	Taladro de pedestal
MH 22	Torno

Fuente: Autores

### 5.3. Descripción del proceso de construcción

La forma, dimensión, tipo de material de cada una de las partes de la máquina se detallan en los planos correspondientes.

**Tabla 18.**Partes constitutivas de la máquina

Sistema	Elemento	Cantidad	Material/Modelos
Estructura Base	Mesa de Soporte	1	Acero Estructural ASTM A
	Mesa de Entrada	1	Acero Estructural ASTM A
	Mesa de Evacuación	1	Acero Estructural ASTM A
	Placas Laterales	10	Placa de Acero ASTM A 36
	Tapas-Puertas	8	Tol Galvanizado
	Patas de Nivelación	18	Hierro - Tornillo de plástico
Sistema de Transporte	Canal en U	2	Plancha Acero ASTM A 36
	Empujador	1	Acero AISI 1080
	Cilindro Neumático	1	Ø 50mm – 130mm
	Jaba	40	MDF
Sistema de Dosificación	Tolva	5	ASTM A 36
	Placa Base	5	Nylon
	Placa Dosificadora	5	Nylon
	Aletas	10	Nylon
	Placa de Apertura	5	Policarbonato
	Guías Dosificadoras	10	ASTM A 36
	Cilindro Neumático	10	Ø 40mm – 130mm
	Juntas	10	Acero ASTM A 36
Sistema de Compactado	Soportes Laterales	8	Acero ASTM A 36
	Soporte Cilindro	4	Acero ASTM A 36
	Porta Martillos	4	Acero ASTM A 36
	Cilindro Neumático	4	Ø 70mm – 150mm
	Martillos	12	Acero AISI 1080
Sistema Neumático	Electroválvula	7	Chelic
	Manguera Neumática		Varios
	UTM	1	Campbell
	Compresor	1	Campbell
Sistema de Control	Pulsador Rojo	1	Autonics
	Pulsador Verde	1	Autonics
	Pulsador Amarillo	1	Autonics
	PLC	1	Siemens CPU S-7 200
	Modulo de Expansión	1	Siemens EM 222
	Sensor Capacitivo	1	Autonics
	Sensor Inductivo	1	Autonics
	Caja de Circuitos	1	30x60x25

Fuente: Autores

#### 5.4. Operaciones tecnológicas de la construcción

Las principales operaciones tecnológicas utilizadas para la fabricación de la máquina se detallan en la tabla 19.

**Tabla 19.** Operaciones tecnológicas utilizadas en la construcción

Sistema	Elemento	Nº	Operación Tecnológica	Tiempo (min)
Estructura Base	Mesa de Soporte	1	Medición	30
		2	Corte (Tronzadora)	40
		3	Limpieza de escoria	15
		4	Pre-soldado	40
		5	Encuadrado	30
		6	Soldado	120
		7	Pulido	30
	Mesa de Entrada	8	Medición	10
		9	Corte (Tronzadora)	15
		10	Limpieza de escoria	10
		11	Pre-soldado	30
		12	Encuadrado	30
		13	Soldado	40
		14	Pulido	10
	Mesa de Evacuación	15	Medición	15
		16	Corte (Tronzadora)	15
		17	Limpieza de escoria	10
		18	Pre-soldado	30
		19	Encuadrado	30
		20	Soldado	40
		21	Pulido	15
Estructura Base	Placas Laterales	22	Trazado-Medición	30
		24	Corte	60
		25	Pulido	30
		26	Taladrado	30
		27	Pulido	30
		28	Montaje	20
		29	Soldado	60
	Tapas-Puertas	30	Trazado-Medición	40
		31	Corte	60
		32	Pulido	20
		33	Taladrado	40
		34	Montaje	60
		35	Empernado	60
	Patas de Nivelación	36	Montaje	40
37		Empernado	20	
Sistema de Transporte	Canal en U	38	Trazado-Medición	20
		39	Corte	30
		40	Doblado	90

		41	Montaje	40
		42	Soldado	30
		43	Pulido	120
	Empujador	44	Trazado-Medición	30
		45	Corte	30
		46	Pulido	20
		47	Soldado	30
		48	Montaje	30
	Jaba	49	Medición	40
		50	Pegado	60
		51	Corte	90
		52	Taladrado	180
Sistema de Dosificación	Tolva	53	Trazado	40
		54	Corte	120
		55	Pulido	60
		56	Taladrado	60
		57	Soldado	180
		58	Pulido	60
	Placa Base	59	Trazado	40
		60	Corte	60
		61	Taladrado	120
		62	Frezado	90
		63	Cepillado	90
	Placa Dosificadora	64	Trazado	60
		64	Corte	120
		66	Taladrado	90
		67	Cepillado	90
Sistema de Dosificación	Aletas	68	Trazado	60
		69	Corte	80
		70	Taladrado	60
		71	Cepillado	30
	Placa de Apertura	72	Trazado	30
		73	Corte (CNC)	120
		74	Taladrado	60
		75	Limado	30
	Guías Dosificadoras	76	Trazado	30
		77	Corte	40
		78	Pulido	30
		79	Taladrado	30
		80	Soldado	40
		81	Pulido	40
	Juntas	82	Trazado	30
83		Corte	30	
84		Doblado	40	
85		Pulido	20	
86		Montaje	20	
Sistema de Compactado	Soportes Laterales	87	Trazado	40
		88	Corte	40

		89	Pulido	30
		90	Taladrado	30
		91	Soldado	50
		92	Pulido	30
	Soporte Cilindro	93	Trazado	40
		94	Corte	40
		95	Pulido	30
		96	Taladrado	60
		97	Soldado	50
		98	Pulido	30
	Porta Martillos	99	Trazado	40
		100	Corte	40
		101	Pulido	30
		102	Taladrado	60
		103	Soldado	60
		104	Pulido	30
	Martillos	105	Medido	20
		106	Cortado	60
		107	Refrendado	120
108		Cilindrado	180	
109		Roscado	240	
			<b>TOTAL</b>	<b>5495</b>

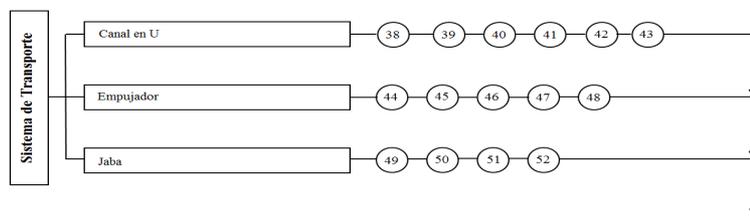
Fuente: Autores

En la tabla 19, los tiempos muertos que se dan entre operación y operación no se han incluido, a pesar de que por lo general son los que suelen ocasionar más demora en la construcción de maquinaria. Estos tiempos dependen de varios factores imprescindibles que pueden extenderlos o acortarlos.

### 5.5. Flujograma de Construcción de las partes de la máquina

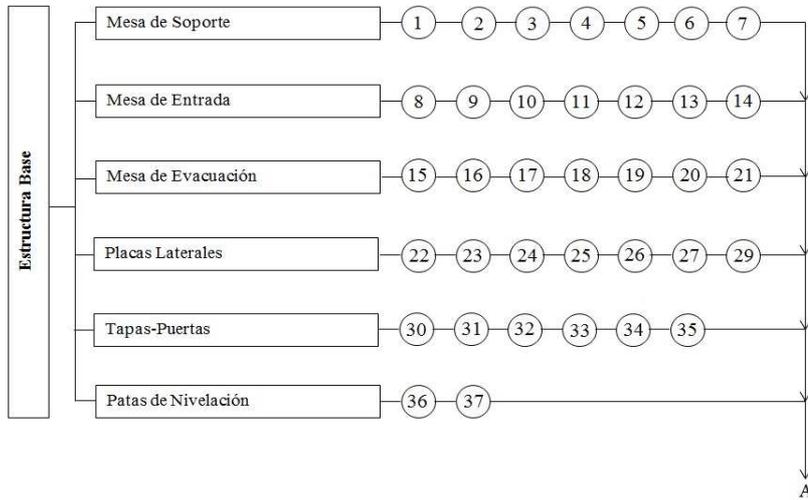
Los flujogramas de construcción para las distintas partes constitutivas de la máquina se muestran en las figuras 75, 76, 77, 78.

**Figura 75.** Flujograma de construcción sistema de transporte



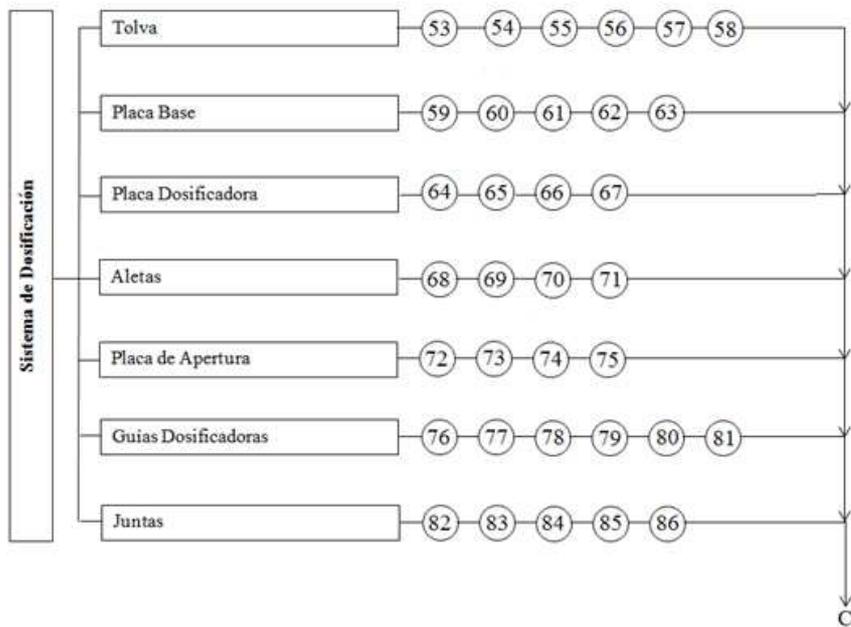
Fuente: Autores

**Figura 76.**Flujograma de construcción estructura base



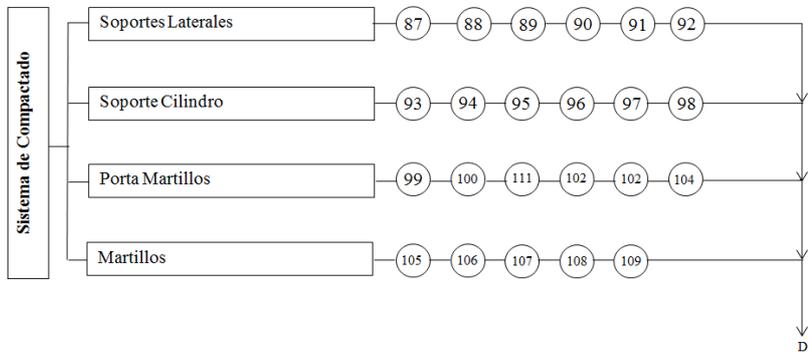
Fuente: Autores

**Figura 77.**Flujograma de construcción sistema de dosificación



Fuente: Autores

**Figura 78.** Flujograma de construcción sistema de compactado



Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. PRUEBAS Y RESULTADOS

Antes de realizar las pruebas, son necesarias las revisiones del montaje de los elementos de la máquina, para garantizar que la misma tenga un funcionamiento normal.

#### 6.1 Plan de pruebas

Las pruebas que se realizaron en la máquina previa a su presentación final fueron las siguientes:

Sistema de dosificación:

- a) Simultaneidad de trabajo de los cilindros
- b) Velocidad de movimiento de las placas dosificadoras
- c) Tiempo necesario para la descarga
- d) Descarga de las sustancias (pólvora y barro)

Sistema de compactación:

- e) Simultaneidad de trabajo de los cilindros
- f) Concetricidad de trabajo de los pisones
- g) Fuerza de compactación
- h) Velocidad de compactación

Sistema de transporte:

- i) Fuerza de transporte
- j) Traslación periódica de las jabas (paso)

Jabas:

- k) Resistencia de los materiales

Funcionamiento general:

- l) Sincronía de funcionamiento
- m) Tiempo de producción
- n) Características del producto terminado
- o) Tiempo de funcionamiento y reposo del compresor

- p) Pruebas de efectividad del producto (altura)
- q) Pruebas de explosión

## 6.2 Pruebas y resultados

La descripción de las pruebas y resultados son:

### a) Simultaneidad de trabajo de los cilindros

De la simultaneidad de los cilindros depende el adecuado trabajo de las placas dosificadoras, que debe ser lineal. Para verificar esto, se trabajó los cilindros en vacío hasta lograr su simultaneidad regulando los estrangulamientos. Se comprobó su sincronía una vez ensamblando el conjunto cilindros-placas dosificadoras y poniéndola en marcha.

### b) Velocidad de movimiento de las placas dosificadoras

Para que se produzca la dosificación tolva-placas y placas-descarga, es necesario determinar una adecuada velocidad de las placas dosificadora. Para lo cual se determinó que se moverán los 13cm de carrera en 2,6 segundos.

### c) Tiempo necesario para la descarga

Es necesaria una pausa de las placas dosificadoras en la boca de la tolva y los agujeros de las placas de descargar, para que dé tiempo a que se carguen y se descarguen. Se determinó que es necesaria una pausa de 30,5 segundos.

### d) Descarga de las sustancias

Para verificar si se produce la descarga de las sustancias (pólvora y barro) y si las geometrías de: ángulo de la tolva, boca de la tolva, diámetro de los agujeros de las placas dosificadoras y de descarga, son las adecuadas para evitar el apelmazamiento, se probó cada ~~módulo~~ de dosificación cargado con ~~30lb~~ de pólvora o barro según corresponda, los cuales trabajaron de forma normal produciéndose la dosificación en cada ~~módulo~~.

### e) Simultaneidad de trabajo de los cilindros

Para garantizar la sincronía de funcionamiento de la máquina es necesario también que el trabajo de los cilindros de compactación sea simultáneo, para esto se activó los cilindros en

vacío, regulando los estrangulamientos hasta conseguir la simultaneidad de trabajo, lo cual se comprobó visualmente.

f) Concentricidad de trabajo de los pistones

Para garantizar dicha concentricidad es necesaria la sincronización con el sistema de transporte. Para lograr esto se reguló la posición de los módulos de compactación y la perpendicularidad de los pistones, con esto se logró el adecuado ajuste de los pistones en las jabas.

g) Fuerza de compactación

Para verificar si el sistema de compactación es capaz de desarrollar la fuerza necesaria para obtener la adecuada compactación de las sustancias (pólvora y barro), se realizó pruebas en cada módulo individualmente, regulando la presión de trabajo en los cilindros y de esta manera regulando la fuerza. Se consiguió una adecuada compactación con una presión de 4,0 bares, como en el diseño efectuado.

h) Velocidad de compactación

Para una adecuada compactación es necesario determinar también la velocidad de compactación. Se probó si los ~~3 cm~~ por segundo del diseño son apropiados. Una vez realizadas las pruebas, se verificó que la compactación es apropiada.

i) Fuerza de transporte

Para verificar si la fuerza generada por el cilindro empujador es la suficiente para mover todas las jabas, se procedió a cargar todo el canal con 25 jabas y efectuar el empuje, una vez realizada la prueba, todas las jabas fueron movidas con facilidad, con una fuerza ~~superior a 28 kg~~ de 27kg.

j) Traslación periódica de las jabas (paso)

Para la sincronía de la máquina, las jabas deben moverse con un paso de 13cm. Para esto el cilindro trabaja con una carrera de 13cm en ~~2,63~~ segundos. De esta manera el avance de las jabas en el canal es el correcto.

k) Resistencia de los materiales

Para determinar si las jabas mantienen sus dimensiones y características una vez sometidas a las cargas de compactación. Se probó trabajando cada una de las jabas, de tal manera se evidenció que las jabas no sufren mayor deformación.

l) Sincronía de funcionamiento

La sincronía de la máquina es el aspecto más importante en su trabajo, el cual depende del adecuado funcionamiento y precisa ubicación de todos los sistemas, después de la calibración de todas sus partes, la máquina trabajó de manera sincrónica y normal. ~~Trabajó~~ ~~La máquina trabajo~~ en vacío durante 18 horas no consecutivas y 36 horas en producción.

m) Tiempo de producción

Se verificó que la máquina es capaz de realizar tres ciclos por minuto. Una vez que la máquina esté en funcionamiento normal se estima que la producción será de 540 cartuchos por hora.

n) Características del producto terminado

Las características del producto terminando fueron evaluadas haciendo funcionar los cartuchos, es decir probándolos como cohetes. Una vez realizada la prueba de vuelo resultó que los cohetes alcanzan una altura satisfactoria, validando con esto el funcionamiento de la máquina. Esta prueba se realizó midiendo el tiempo de vuelo y estimando la altura.

o) Tiempo de funcionamiento y reposo del compresor

Una vez trabajando la máquina normalmente se comprobó que el tiempo de funcionamiento del compresor es de 6,946 minutos y el de reposo 3,18 minutos. ~~lo que concuerda con el diseño neumático.~~

### 6.3 Análisis de los resultados

a) Es importante señalar que no todos los cilindros de las placas dosificadoras de la máquina trabajan simultáneamente, pero si el par de cilindros de cada placa dosificadora. El tiempo de carrera queda definido por el par de cilindros que ~~les~~ ~~tomaron~~ más tiempo realizar su carrera.

**Con formato:** Párrafo de lista, Sangría: Izquierda: 1 cm, No ajustar espacio entre texto latino y asiático, No ajustar espacio entre texto asiático y números, Punto de tabulación: No en 1,75 cm + 1,9 cm

- b) El adecuado funcionamiento de la máquina depende de la sincronía de trabajo de todas sus partes, esto requirió de un preciso trabajo de calibración de todos los sistemas.
- c) El resultado de las pruebas nos deja constatar que los parámetros asumidos en el diseño mecánico y neumático, ~~se~~ cumplen en el funcionamiento real de la máquina.

**Prueba de vuelo (80kg)**

	<u>Tiempo</u> <u>(seg)</u>	<u>Altura</u> <u>(m)</u>
<u>1.</u>	<u>3,6</u>	<u>63</u>
<u>2.</u>	<u>3,4</u>	<u>56</u>
<u>3.</u>	<u>3,67</u>	<u>65</u>
<u>4.</u>	<u>3,8</u>	<u>70</u>
<u>5.</u>	<u>3,6</u>	<u>63</u>
<u>6.</u>	<u>3,5</u>	<u>60</u>
<u>7.</u>	<u>3,55</u>	<u>61</u>
<u>8.</u>	<u>3,58</u>	<u>62</u>
<u>9.</u>	<u>3,61</u>	<u>63</u>
<u>10.</u>	<u>3,71</u>	<u>67</u>
<u>11.</u>	<u>3,49</u>	<u>59</u>
	<u>3,591</u>	<u>62,6</u>

~~e) Los tiempos reales de funcionamiento y reposo del compresor de 6,9 y 3,1 respectivamente, no son exactamente los tiempos calculados pero son muy cercanos.~~

~~e)~~

~~f)~~

~~g)~~

~~h)~~

~~i)~~

d)

**Con formato:** Párrafo de lista, Numerado + Nivel: 1 + Estilo de numeración: a, b, c, ... + Iniciar en: 1 + Alineación: Izquierda + Alineación: 0,63 cm + Sangría: 1,27 cm, Punto de tabulación: No en 1,75 cm + 1,9 cm

**Con formato:** Párrafo de lista, Sangría: Izquierda: 1 cm, Punto de tabulación: No en 1,75 cm + 1,9 cm

## CAPÍTULO VII

### 7. COSTOS

En el presente análisis económico se da una descripción general de todos los gastos realizados durante la ejecución del proyecto de diseño y la construcción de la máquina.

#### 7.1 Costos Directos

En el análisis de costos directos se toman en cuenta los gastos por materiales, mano de obra, equipos o maquinarias utilizadas.

##### a) Costos de materiales y accesorios mecánicos

**Tabla 20.** Costos de materiales y accesorios mecánicos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	P. unit	Costo
Plancha	SAE 1010 de 5mm	plancha	1,5	123,62	185,43
Plancha	AISI de 3mm	plancha	1	100,9	100,9
Plancha	SAE 1010 de 10mm	plancha	0,25	327	81,75
Eje	AISI 1018 de 1/2 plg	metro	2,5	3,61	9,025
Plancha	Policarbonato 9mm	plancha	0,1	563,12	56,312
Placa	Nylon 300x160x25 mm	plancha	1	28,4	28,4
Placa	Nylon 300x160x30 mm	plancha	2	35,33	79,1392

Placa	Nylon 300x160x10 mm	plancha	1	14,1	15,792
Placa	Nylon 300x160x16 mm	plancha	1	20,5	22,96
Placa	Nylon 300x160x16 mm	plancha	1	34,5	38,64
Placa	Nylon 1000x500x10 mm	plancha	1	94,51	105,8512
Electrodos	E6011	kg	1	4,88	4,88
Plancha Tol	Negro 1 mm	m <sup>2</sup>	5,5	32,64	179,52
Tubo Estructural	Cuadrado 40x40x3	6m	7	36,63	256,41
Broca	1/2plg	unidad	3	1,5	4,5
Bisagra		unidad	8	0,25	2
Perno	Allen cabeza cilíndrica M12 X8 0	unidad	30	0,6	18
Perno	Allen cabeza cilíndrica M8X35	unidad	13	0,45	5,85
Perno	Allen cabeza cilíndrica M10X50	unidad	12	0,8	9,6
Disco de corte	Norton BDA-32	unidad	1	1,7	1,7
Disco de pulir	Norton BDA-640	unidad	1	2,7	2,7
Pintura	Fondo Gris	lts	2	4,5	9
Tiñer	Unidas	lts	1,5	1,7	2,55
Accesorios	Llave de pico, teflón, etc	unidad	1	20,26	20,26
Pintura	Sintético Gris	lts	1	69,73	69,73
				<b>Total</b>	<b>1310,89</b>

Fuente: Autores

## b) Costos de materiales y accesorios neumáticos

**Tabla 21.** Costos de materiales y accesorios neumáticos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	P. unit	Costo
Compresor	6,5HP 60 Gal 220V	unidad	1	736,61	825,0032
FRL	1/2 NPT	unidad	1	79,02	88,5024
Válvula	Reductora de Presión	unidad	3	39,54	132,8544
Electroválvula	Monoestable 5/2 3/8 NPT 24 VDC	unidad	1	39,7	44,464
Electroválvula	Biestable 5/2 3/8 NPT 24 VDC	unidad	6	58,9	395,808
Racor Recto	3/8 NPT 10MM	unidad	10	2,24	25,088
Racor Recto	3/8 NPT 6MM	unidad	12	1,88	25,2672
Regulador Caudal	6MM	unidad	1	7,29	8,1648
Te Rápido	10 MM	unidad	8	2,67	23,9232
Te Rápido	6MM	unidad	4	2,35	10,528
Silenciador	1/4 NPT	unidad	14	1,98	31,0464
Manguera	10MM	m	20	1,84	41,216
Manguera	6MM	m	20	2,35	52,64
Electroválvula	2/2 3/8" 24 VDC	unidad	1	48,8	54,656
Cilindro Neumático	150MM Ø 70MM	unidad	5	110	616
Cilindro Neumático	130MM Ø 40MM	unidad	11	45	495

<b>Total</b>	<b>2870,1616</b>
--------------	------------------

Fuente: Autores

c) **Costos de accesorios eléctricos y electrónicos**

**Tabla 22.** Costos de accesorios eléctricos y electrónicos

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unit</b>	<b>Costo</b>
PLC	Siemens CPU S-7 200	unidad	1	485,21	485,21
Módulo Expansión	Siemens EM 222	unidad	1	128,65	128,65
Cable Programación	Siemens	unidad	1	150,21	150,21
Sensor Proximidad	Inductivo Autonics DCWIRE	unidad	2	28,95	57,9
Sensor Proximidad	Inductivo Capacitivo DCWIRE	unidad	1	35,62	35,62
Caja Eléctrica	100x30 cm	unidad	1	20,5	20,5
Luz Piloto	Roja Autonics	unidad	1	3,69	3,69
Luz Piloto	Verde Autonics	unidad	1	3,69	3,69
Pulsador Verde	NA	unidad	1	14,57	14,57
Pulsador Rojo	NA	unidad	1	14,57	14,57
Pulsador Amarillo	NA	unidad	1	14,57	14,57
Selector Posición	Dos posiciones con retorno	unidad	1	16,76	16,76
Cable flexible	TFF AWG 18	m	60	0,23	13,8
				<b>Total</b>	<b>959,74</b>

Fuente: Autores

El costo total por accesorios y componentes de la máquina dosificadora de material pirotécnico en tubos de cartón es pues:

**Tabla 23.** El costo total por materiales

<b>Material</b>	<b>Valor(USD)</b>
Mecánicos	1310,89
Neumáticos	2870,16
Eléctricos y Electrónicos	959,74
<b>TOTAL</b>	<b>5140,79</b>

Fuente: Autores

d) **Costos por maquinaria y equipos utilizados**

**Tabla 24.** Costos por máquina y equipo utilizado

<b>Máquinas/Herramientas</b>	<b>Costo/Hora</b>	<b>Horas Equipo</b>	<b>Costo(USD)</b>
Amoladora	2	9	18
Cizalla	2	5	10
Cortadora de acrílico CNC	6	3	18
Corte Plasma	6	10	60
Dobladora Mecánica	6	2	12
Entenalla	1	8	8

Esmeril	1	5	5
Fresadora	12	18	216
Oxi-corte	7	8	56
Plegadora	5	2	10
Pulidora	1	15	15
Soldadora Eléctrica	5	25	125
Soldadora MIG	5	2	10
Torno	16	9	144
Tronzadora	3	2	6
Otros Equipos			60
<b>TOTAL</b>			<b>773</b>

Fuente: Autores

e) **Costos por mano de obra**

**Tabla 25.** Costos por mano de obra

<b>Trabajador</b>	<b>Salario/Hora</b>	<b>Horas Hombre</b>	<b>Costo</b>
Maestro mecánico	3	64	192
Ayudante mecánico	1	80	80
Maestro Tornero	2	50	100
<b>TOTAL</b>			<b>372</b>

Fuente: Autores

f) **Tabla de Costos por transporte**

**Tabla 26.** Costos por transporte

<b>Transporte</b>	<b>Costo/Flete</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Máquina a planta	60	1	60
<b>TOTAL</b>			<b>60</b>

Fuente: Autores

**Tabla de costos directos:**

**Tabla 27.** Valor total costos directos

<b>Costo por</b>	<b>Valor(USD)</b>
Material y accesorios	5140,79
Máquina y equipo utilizado	773
Mano de obra	372
Transporte	60
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	<b>6345,79</b>

Fuente: Autores

## 7.2 Tabla Costos Indirectos

**Tabla 28.** Costos indirectos

Detalles	Cantidad (%CD)	Valor(USD)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	5%	317,28
Imprevistos	1%	63,45
Utilidad	0	-
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>		<b>380,73</b>

Fuente: Autores

## 7.3 Costos Totales

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de **6726,52 USD**. (Seis mil setecientos veinte y seis dólares con cincuenta y dos centavos).

## 7.4 Análisis de costos por operación y mantenimiento

Mediante la toma de datos estadísticos en un tiempo considerable de funcionamiento del equipo se obtiene un análisis de los costos de operación y mantenimiento.

**Tabla 29.** Medición de consumo eléctrico

Medición	Tiempo de medición (min.)	Consumo (kWh.)	Consumo en 1 h. (kWh.)
1	15	0,53	2,12
2	30	1,11	2,22
3	60	2,28	2,28

Fuente: Autores

Se hizo una relación con los datos obtenidos y se determinó la diferencia existente en el consumo de una hora de trabajo del equipo, que se debe al tiempo de trabajo del compresor. Tomando en cuenta un período de trabajo del equipo de 8 horas al día, se considera que al mes se laboran 22 días. Dando un total de consumo:

**Tabla 30.** Consumo eléctrico

Consumo	Costo kWh. (usd)	Costo total (usd)
8h	0,11	0,14
22 días	0,11	24,58

Fuente: Autores

Es importante tomar en cuenta los costos por operario, por consumo eléctrico, por materiales de mantenimiento tales como: se aprecia en la tabla 31:

**Tabla 31.** Costos por operación y mantenimiento

<b>Valores por operación de la máquina en un mes</b>	
Detalle	Valor (usd)
Consumo eléctrico	24,58
Operarios	1120
Consumo de Sustancias (Pólvora)	23 562,9
Accesorios	13 805,6
Aceite Neumático	8,00
Varios	10,0
<b>TOTAL</b>	<b>38 531,1</b>

Fuente: Autores

Siendo los costos de operación y mantenimiento mensualmente de **38 531,1usd** por mes.

## 7.5 Otros

a) Salvamento del equipo:

Para efectos de cálculos de rentabilidad, se hace necesaria la estimación de un valor de salvamento de la máquina al momento en el que haya terminado su vida legal contable. Se estima un valor de salvamento del 10 % del costo de inversión en función de que los elementos constitutivos del equipo automático, en especial los electrónicos, seguirán funcionando al término de su vida útil contable.

Se tiene:

Inversión:  $P = 6726,52$  usd

Salvamento del equipo:  $S = 10\% * P$  (12)

$S = 0,1 * 6756,51$  usd

$S = 675,65$  usd

b) Depreciación de la máquina:

La depreciación es la pérdida de valor contable que sufren los activos fijos por el uso a que se les somete y su función productora de renta. En la medida en que avance el tiempo de servicio, decrece el valor contable de dichos activos.

La vida contable de un activo fijo depreciable comienza desde la fecha en que la empresa lo compra y lo empieza a explotar económicamente hasta la fecha en que se cumple su depreciación total.

Las leyes tributarias de nuestro país determinan una vida legal para maquinaria y equipos de 10 años.

Aplicando este método al equipo automático se tiene una depreciación anual de:

Inversión:  $P = 6726,52$  usd

Salvamento:  $S = 675,65$  usd

Vida útil contable:  $n = 10$  años

Depreciación anual ( $D_a$ ):

$$D_a = P - S/n \quad (13)$$

$$D_a = 605,08 \text{ usd}$$

La depreciación anual, es la depreciación acumulada y el valor en libros de la máquina al final de cada uno de los años de vida útil, se pueden apreciar en la tabla 32:

**Tabla 32.** Depreciación anual del equipo

<b>Año</b>	<b>Depr. Anual (usd)</b>	<b>Depr. Acumulada (usd)</b>	<b>Valor en libros (usd)</b>
0	0	0	6726,52
1	605,08	605,08	6121,44
2	605,08	1210,16	5516,36
3	605,08	1815,24	4911,28
4	605,08	2420,32	4306,2
5	605,08	3025,4	3701,12
6	605,08	3630,48	3096,04
7	605,08	4235,56	2490,96
8	605,08	4840,64	1885,88
9	605,08	5445,72	1280,8
10	605,08	6050,8	675,72

Fuente: Autores

c) Análisis del punto de equilibrio

El punto de equilibrio se presenta cuando el ingreso cubre los costos fijos y variables generados en la producción de los cartuchos. Los datos de costos que se estiman para el primer año de funcionamiento se detallan en la tabla 33:

**Tabla 33.** Costos fijos y costos variables de funcionamiento

Concepto	Costos fijos	Costos variables
Consumo eléctrico	-	294,96
Operarios	13440	-
Consumo de Sustancias (pólvora)	-	282755,9
Accesorias (mechas y varilla)	-	165 668.03
Depreciación	605,08	-
Otros	-	100
<b>TOTAL</b>	<b>14 045,08</b>	<b>448 818,9</b>

Fuente: Autores

Inversión:

$P = 6726,52$  usd

Producción mínima mensual de la máquina:

Período de trabajo:  $Pt = 8$  h/día

Producción:  $Ph = 540$  u/h

Días al mes:  $Dt = 22$  días

Producción mensual:  $Pm = Pt * Ph * Dt = 95\ 040$  u/mes

Ingreso anual:

Costo por producto:  $Cp = 0,50$  usd

Ingreso mensual:  $Im = Pm * Cp = 47\ 520$  usd.

Ingreso anual:  $Ia = Im * 12 = 570\ 240$  usd.

Aplicando la fórmula para el punto de equilibrio y reemplazando valores se tiene:

$$PE = \text{Costo fijo} / (1 - \text{Costos variables} / \text{Ventas totales}) \quad (14)$$

$$PE = 83\ 631,1 \text{ usd}$$

Como el ingreso se calcula a razón de ~~0,5019~~ usd por cartucho, el número de cartuchos que se requiere vender para llegar al punto de equilibrio es:

$$n_{\text{cartuchos}} = PE / 0,5029 \text{ usd} \quad (15)$$

$$n_{\text{cartuchos}} = 167\ 262,3$$

Con una producción de 540 unidades por hora de la máquina, se requerirán 310 horas de trabajo; a un ritmo de 8 horas de trabajo por cada día y 22 días por mes se necesitará un tiempo de 1,76 meses para llegar al punto de equilibrio.

## **CAPÍTULO VIII**

### **6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA**

#### **6.1. Indicaciones básicas para el montaje[11]**

##### **a) Espacio y ubicación:**

La máquina debe estar instalada en un área con techo para protección de lluvias, el tablero eléctrico de control debe estar ubicado en un área, en lo posible aislado de sonidos fuertes, los cuales podrían crear interferencia, o señales parásitas hacia el controlador, el tablero debe estar aislado de aceite, corrientes de aire o ambientes de grasa que afecte el buen funcionamiento de los controles eléctricos de la máquina.

##### **b) Anclaje y nivelación:**

Antes de poner en funcionamiento la máquina se debe realizar una fundición del concreto en el área de instalación la máquina ya que es necesario nivelarla correctamente para su buen funcionamiento. La maquina no requiere de anclaje ya que por su propio peso se

estabilizará. No debe estar sujeta a vibraciones que podrían dificultar su funcionamiento y tampoco debe generarla.

Sin embargo, en la base se colocarán elementos cauchotables en los puntos de apoyo sobre el piso para absorber las pequeñas vibraciones que se podrían producirse y de esta manera aumentar la vida útil.

**c) Ensamble:**

Se debe verificar que todas las partes mecánicas estén acopladas entre sí según lo estipulado en los planos, y ajustadas entre sí con los pernos seleccionados para evitar fallas de funcionamiento. Las conexiones eléctricas de la máquina deben ser hechas adecuadamente según los circuitos, ya que una equivocación en el voltaje a utilizar en las diferentes partes podría causar daños en el sistema. De igual forma es importante verificar el nivel inicial de aceite en el grupo FRL.

**d) Acometidas:**

Todas las tuberías para el aire deben ser verificadas y acopladas correctamente, evitar las fugas.

**e) Acometida eléctrica:**

La acometida es monofásica a 220 V, una frecuencia de 60 Hz, protegida por un disyuntor bipolar y cable de conexión 10AWG.

**f) Acometida neumática:**

**Requerimientos neumáticos para montaje del sistema neumático**

**Tabla 34.** Requerimientos neumáticos para montaje del sistema neumático

Diámetro de la manguera principal	3/8 in
Diámetro de la manguera de distribución	1/4 in
Presión de taratura en la válvula de máxima	4 bar

**Fuente.** Del fabricante

## **6.2. Operación inicial de la máquina**

Antes de iniciar la producción de manera continua de los cartuchos de pólvora, es necesario ejecutar las siguientes operaciones:

- a) Conectar las líneas de energía, según lo indicado en los circuitos eléctricos.
- b) Energizar el tablero de control.
- c) Encender el sistema neumático (compresor).
- d) Verificar que la presión de trabajo sea la correcta.
- e) Revisar el nivel de aceite y de condensado en el grupo FRL.
- f) Verificar que no existan fugas en el sistema neumático.
- g) Ubicar las jabas con los cartuchos.
- h) Verificar que el centrado de las jabas se produzca, caso contrario modificar la carrera del actuador que transporta las jabas.
- i) Seleccionar una de las dos opciones de funcionamiento y verificar si el programa del PLC es el correcto para el funcionamiento de la máquina.
- j) Arrancar la máquina en vacío y verificar si todos los finales de carrera se activan correctamente.
- k) Verificar que el desplazamiento de las placas dosificadoras sea el correcto y se produzca el alineamiento.
- l) Realizar un proceso sin material para ver si los actuadores se activan correctamente.
- m) Ver si la compresión del producto es el correcto, caso contrario aumentar la presión, en los actuadores que realizan dicha operación.
- n) Verificar la limpieza en el canal de transporte de las jabas antes del arranque de la máquina.

## **6.3. Mantenimiento de la máquina**

### **6.3.1. Mantenimiento mecánico**

- a) El mantenimiento mecánico de la máquina no es tan exigente, sin embargo se recomienda un mantenimiento de tipo preventivo, en las partes eléctricas, mecánicas y neumáticas, para garantizar su buen funcionamiento.
- b) Antes de empezar con la producción diaria, se debe verificar el nivel de aceite tanto en el compresor como el FRL.

- c) Al finalizar la jornada de trabajo de la máquina se debe limpiar todas las partículas de barro o de pólvora, que podrían resultar perjudiciales para el funcionamiento de la maquina en la siguiente jornada.
- d) Comprobar regularmente ajuste de pernos, tuercas, etc.
- e) Revisar cada seis meses todos los sistemas de la máquina y verificar que todos sus elementos trabajen correctamente.
- f) Cambiar las agujas de la base de las jabas después de haber cumplido su vida útil.
- g) Verificar que el espesor de las placas dosificadoras no se hayan disminuido notablemente ya que influiría en la cantidad dosificada de la pólvora en loscartuchos. Podría incluso presentase fugas de material de la tolva por el excesivo juego.

### 6.3.2. Mantenimiento neumático

El propósito del mantenimiento de los accesorios es garantizarla calidad del aire comprimido entregado por el compresor al sistema. Es importante la comprobación periódica del correcto funcionamiento del regulador de caudal y de presión, válvula de distribución, lubricantes, etc.

Tener aire comprimido de buena calidad es importante para asegurar una larga vida útil de los equipos neumáticos y óptimos resultados en los procesos que requieren dicho servicio.

El mantenimiento produce un bien real como es la capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

La participación del mantenimiento en el éxito o fracaso de una empresa incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto servicio.
- Capacidad operacional (ejemplo, el cumplimiento de plazos de entrega).
- Seguridad e higiene industrial.
- Calidad de vida de los colaboradores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía.

Con formato: Sangría: Izquierda: 0 cm, Con viñetas + Nivel: 1 + Alineación: 0,63 cm + Sangría: 1,27 cm

La labor de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria, herramienta y equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

Es necesario efectuar a intervalos regulares los trabajos y el chequeo en las siguientes unidades:

**Grupo FRL:** Debe revisarse periódicamente el nivel de agua condensada, que no debe sobrepasar nunca la altura marcada. De lo contrario, el agua podría ser arrastrada hasta la tubería por el aire comprimido. Para purgar el agua condensada hay que abrir el tornillo existente, debiendo comprobarse su correcto funcionamiento, limpieza del filtro de aire.

**Regulador o válvula reguladora:** Siempre que esté precedida por un correcto sistema de filtrado, no necesita más mantenimiento que comprobar la ausencia de fugas.

**Lubricador:** Verificar el nivel de aceite y, si es necesario, añadir hasta el nivel marcado. Los filtros de plástico y los recipientes de los lubricadores no deben limpiarse con disolventes, dado que pueden dañarlos. Para los lubricadores, utilizar únicamente aceites minerales de la viscosidad y componentes especificados.

**Válvula de seguridad:** Se debe verificar que la válvula de seguridad se abra a una presión un 20% mayor que la presión máxima del sistema junto con un manómetro confiable.

**Tanque:** El mantenimiento que se realiza al tanque se limita a una limpieza interior en muy escasas ocasiones, además de la revisión del condensado y su evacuación.

#### **6.4. Sistemas de seguridad**

La utilización del aire comprimido en la industria está ampliamente extendida, como accionamiento de máquinas herramientas, actuadores de válvulas, maquinaria, desmoldeadores de piezas, etc. Dado que su accionamiento es debido a un fluido a presión, su empleo da lugar a la aparición de riesgos específicos, que se van a ver magnificados si se hace un mal uso del mismo.

Debe observarse las siguientes reglas elementales de seguridad:

##### **a) Antes de la acometida**

- Purgar las conducciones de aire.
- Verificar el estado de los tubos flexibles.

- Examinar los tubos flexibles para que no existan, codos o dobleces que obstaculicen el paso del aire.
- Nunca conectar la máquina neumática a una fuente de suministro de oxígeno. Existe peligro de explosión.

**b) Durante el trabajo**

- Las mangueras de aire comprimido se deben situar de forma que no se tropiece con ellas, un sistema para impedir todo esto es el de colocar las mangueras en soportes elevados, o como en este caso en la base de la máquina, en donde no se presenta problemas
- No usar la manguera de aire comprimido para limpiar el polvo de la ropa, se pueden producir lesiones graves en los ojos, oídos y boca.
- Al usar herramientas neumáticas siempre debe cerrarse la llave de paso del aire antes de abrir la manguera. Verificar las fugas de aire que pueden producirse por las juntas, acoplamientos defectuosos o roturas de mangueras o tubos.
- Para cortar el aire cuando se desee interrumpir uno de los procesos, hay que cortar la fuente de alimentación y nunca debe doblarse la manguera con este propósito.
- Siempre que se trabaje con herramientas neumáticas se deben usar gafas, guantes, calzado de seguridad y protección para los oídos.
- Si se utiliza herramientas neumáticas debe ser rigurosamente prohibido la expulsión de la herramienta con la presión del equipo neumático portátil, en lugar de quitarla con la mano.

**c) Después de utilizarla**

- Cerrar la válvula de alimentación del circuito del aire.
- Abrir la llave de admisión de aire de la máquina, de forma que se purgue el circuito.
- Desconectar la máquina.

## **CAPÍTULO IX**

### **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **9.1 Conclusiones**

Después del análisis de varias alternativas del proceso de producción, se determinó que el proceso idóneo para realizar el cargado y compactado de pólvora y barro en los cartuchos deben ser de forma lineal y continua debido a que de esta manera se obtiene la mayor producción. Facilitando de esta manera la automatización de los procesos de dosificación, compactación y transporte.

Para el funcionamiento de la máquina se utilizó un PLC en cual controla todo el proceso mediante un programa de tipo escalera.

Debe existir siempre el mismo paso, es decir que las jabs no podrán modificarse en sus dimensiones. De no ser así la máquina no funcionará correctamente, sería necesario reiniciar el proceso.

Se construyó la máquina de tal manera que sea completamente desmontable a fin de facilitar el mantenimiento y recambio de sus partes.

El normal funcionamiento de la máquina depende de la adecuada y precisa ubicación de sus partes, de la calibración y sincronización de los sistemas.

La máquina resultado de este proyecto, produce unidades (cartuchos) de mejor calidad que los obtenidos manualmente, son homogéneos y compactos. Además de incrementar la producción de 28 unidades a 540 unidades por hora.

Los martillos deben ser ubicados concéntricos a los cartuchos.

Las placas dosificadoras deben estar acorde a la etapa de dosificación siendo una placa específica para cada etapa del proceso.

## **9.2 Recomendaciones**

Realizar la conexión del compresor al voltaje indicado.

Verificar que no exista obstrucción en el canal de transporte de las jabas.

Verificar que el relief se encuentra tarado a 4 bares.

Verificar que las tolvas se encuentran con material suficiente para su dosificación.

Comprobar la alimentación eléctrica hacia el PLC mediante la luz piloto que se encuentra en la caja de control.

Si el proceso se inicia por primera vez, debe ubicarse la perilla en la opción 1. Para que el proceso continúe en la siguiente jornada de trabajo la perilla debe ubicarse en la posición 2.

La posición de las jabas no debe variar, en caso contrario la dosificación será incorrecta.

La mesa para la evacuación de las jabas no debe usarse para otras funciones.

No se debe manipular los sensores ya que se produciría señales erróneas para el PLC.

Evaluar la alternativa de una mesa revolver que pueda disminuir peso, espacio y costos.

Es posible que con cartuchos de dimensiones más amplias, todos los procesos de dosificación y compactación sean más fáciles de realizar.

Se puede incrementar la seguridad de trabajo de la máquina si se utiliza un sistema de comandos neumáticos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BROWNEB. H., The Art Of Pyrotechny, Pág.8.
- [2] SASSE. Ronald A, Technical Report BRL-TR-2630, A Comprehensive Review of Black Powder, Pág.9.
- [3] SASSE . Ronald A, Technical Report BRL-TR-2630, A Comprehensive Review of Black Powder, Pág. 15.
- [4] MORAN Paul, The Complet Book Of Flash Powder, 1993, Pág.40.
- [5] ARREDONDO, F. (1972) El Yeso, Estudio de Materiales.- Ed CSIC. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, Pág.67.
- [6] BONILLA JULIO, Automatización de una Maquina Empacadora de Caramelo en Polvo; Proyecto de Titulación Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico; EPN; Quito-Ecuador, 2009, Pág.63.
- [7] SHIGLEY E. J. MITCHELL L. D, Diseño en Ingeniería Mecánica, Cuarta Edición, Pág.409.
- [8] RONALD A. Sasse, Technical Report BRL-TR-2630, A Comprehensive Review of Black Powder, Pág.16.
- [9] B. H. BROWNE, The Art Of Pyrotechny, Pág.10.
- [10] NANCY CUXIL, Mantenimiento y Factores de Seguridad Industrial en Redes de Aire Comprimido, Proyecto de Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009, Pág.89.
- [11] NANCY CUXIL, Mantenimiento y Factores de Seguridad Industrial en Redes de Aire Comprimido, Proyecto de Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009, Pág.61.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARREDONDO, F. (1972) El Yeso, Estudio de Materiales.- Ed CSIC. Instituto Eduardo Torroja, Madrid.
- BONILLA JULIO, Automatización de una Máquina Empacadora de Caramelo en Polvo; Proyecto de Titulación Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico; EPN; Quito-Ecuador, 2009.
- BROWNE. B. H., The Art Of Pyrotechny.
- CARNICER, E. “Aire Comprimido Teoría y Cálculo de las Instalaciones”.
- CUXIL NANCY, Mantenimiento y Factores de Seguridad Industrial en Redes de Aire Comprimido, Proyecto de Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.
- D. KEITH DENTON. “Seguridad Industrial”. Mc Graw-Hill. 1984. México.
- GILI Gustavo S.A., Barcelona, 1977.
- MORAN Paul, The Complet Book Of Flash Powder.
- ORTEGA-RIVASEnrique, Manejo y Procesamiento de Polvos y Granulados Alimenticios, Universidad de Colima, 2006.
- SASSE. Ronald A, Technical Report BRL-TR-2630, A Comprehensive Review of Black Powder.
- SHIGLEY E. J. MITCHELL L. D, Diseño en Ingeniería Mecánica, Cuarta Edición.
- TAKEO SHIMIZU, PH.D., Fireworks, The Art Science and Technique, 2302 Tower Drive, Austin, Texas 78703 USA
- VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, JUAN, Y GARCÍA SANTOS, ALFONSO. Manual del yeso. ATEDY. 2001. ISBN 84-95312-46-8

## **LINKOGRAFÍA**

### **PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA COHETERÍA MODERNA**

<http://www.portalplanetasedna.com.ar/cohete02.htm>

2012-06-21

### **COHETE DE PÓLVORA PARA PRINCIPIANTES**

<http://www.todopetardos.com/foro/index.php?topic=7794.0>

2012-06-25

### **PROPIEDADES DE LA PÓLVORA NEGRA**

[http://vannuytargetrange.com/Pyrotechnic/Black\\_Powder\\_41.pdf](http://vannuytargetrange.com/Pyrotechnic/Black_Powder_41.pdf)

2012-07-05

### **LAS INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN LA COMBUSTIÓN DE LA PÓLVORA NEGRA**

[http://vannuytargetrange.com/Pyrotechnic/Black\\_Powder/Blackpowder\\_64.pdf](http://vannuytargetrange.com/Pyrotechnic/Black_Powder/Blackpowder_64.pdf)

2012-07-05

### **PROPIEDADES DE LA PÓLVORA FLASH**

[http://www.2shared.com/document/5mkZ8hZ-  
/The\\_Complete\\_Book\\_of\\_Flash\\_Pow.html](http://www.2shared.com/document/5mkZ8hZ-/The_Complete_Book_of_Flash_Pow.html)

2012-08-15

### **SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN**

<http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html>

2012-06-18

### **PROPIEDADES FÍSICAS DEL NYLON**

<http://www.acemaq.com/Product.Asp?Clv=NYLACERO%202000>

2012-09-26

### **DENSIDAD DEL MDF**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero\\_de\\_fibra\\_de\\_densidad\\_media](http://es.wikipedia.org/wiki/Tablero_de_fibra_de_densidad_media)

2012-10-09

### **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO**

<http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbse/se3/040.html>

2012-11-17

### **TIPO DE COMPRESORES**

<http://www.aircompressorsdirect.com/Campbell-Hausfeld-VT6275-Air.html>

2012-11-19

### **EL ARTE LA CIENCIA Y LA TÉCNICA DE LOS FUEGOS ARTIFICIALES**

[http://pirohimic.ucoz.ru/\\_ld/1/120\\_1MB.pdf](http://pirohimic.ucoz.ru/_ld/1/120_1MB.pdf)

2012-07-24

### **MANUFACTURA DE LOS COHETES DE PIROTECNIA**

<http://es.scribd.com/doc/102231003/FIREWORKS-Anderson-Robert-the-Making-of-r-1>

2012-07-26

### **MANUFACTURA DE FUEGOS ARTIFICIALES**

[http://embed.docstoc.com/docs/39209071/Browne\\_the\\_Art\\_of\\_Pyrotechny](http://embed.docstoc.com/docs/39209071/Browne_the_Art_of_Pyrotechny)

2012-07-26

### **COMO HACER PÓLVORA NEGRA**

<http://ebookbrowse.com/chemistry-how-to-make-black-powder-or-gunpowder-unknown-pdf-d86664705>

2012-07-28