



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

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA FABRICACIÓN DE LA PÓLVORA POR
VÍA HÚMEDA, EN LA EMPRESA ARTESANAL PIROTÉCNICA
VIZUETE”

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO
Para optar al Grado Académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: PAUCAR CUJILEMA ELVIS GEOVANNY
MASAQUIZA GUAMÁN BRYAN ANDRÉS

TUTOR: ING. JAVIER JOSÉ GAVILANES CARRIÓN

Riobamba – Ecuador
2017

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

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA FABRICACIÓN DE LA PÓLVORA POR VÍA HÚMEDA, EN LA EMPRESA ARTESANAL PIROTÉCNICA VIZUETE”, de responsabilidad de los señores ELVIS GEOVANNY PAUCAR CUJILEMA y BRYAN ANDRÉS MASAQUIZA GUAMÁN, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna. E DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.
Ing. Freddy Chávez. V DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES.
Ing. Javier Gavilanes. C DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACION
Ing. Patricio Romero. MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Nosotros, Elvis Geovanny Paucar Cujilema Y Bryan Andrés Masaquiza Guamán, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Elvis Paucar
Bryan Masaquiza

DEDICATORIA

Mi agradecimiento profundo a Dios por haberme dado generosamente el don de la vida.

A mis padres, Enma y César por constituirse en el apoyo sustancial en cada una de las acciones, en las oportunidades que en la vida me ha brindado.

A mis hermanos, Cesar Luis y Patricia por su afecto y motivación en los momentos cruciales de mi existir.

A toda mi familia, amigos y profesores por el aporte de cada uno de ellos para llegar a cumplir este logro, el más importante de mi vida.

Elvis Geovanny Paucar Cujilema.

A Dios por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por permitirme cumplir con este objetivo proporcionándome la salud.

Quiero dedicar el éxito obtenido a mis padres, Oswaldo y Carmen por ser el pilar fundamental en toda mi educación, por el valor mostrado como ejemplo de perseverancia, constancia y motivación que me ha permitido salir adelante y más que nada, por su amor incondicional.

A mis hermanas, Mónica y Beatriz, por ser mi ejemplo y fortaleza en cada paso que doy y por su incondicional apoyo a lo largo de toda mi educación académica.

A todas las personas que de una u otra forma permitieron la realización de este proyecto.

Bryan Andres Masaquiza Guamán

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por forjar nuestro camino y entregarnos el don de la perseverancia para alcanzar nuestra meta.

Agradecemos profundamente al Ing. Javier Gavilanes, Director del Trabajo de Titulación por su habernos permitido recurrir a su capacidad y conocimiento científico además de todo el apoyo brindado a lo largo de la elaboración de este proyecto.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la formación profesional brindada y abrirnos las puertas de sus ceno científico. A la Empresa Artesanal “Pirotecnia Vizuite” de la parroquia Cubijies, cantón Riobamba por información entregada para la realización de esta investigación.

Elvis y Bryan

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1 Pirotecnia	6
1.1.1 <i>Problemática en la industria pirotécnica</i>	<i>6</i>
1.2 La Pólvora.....	7
1.2.1 <i>Generalidades.....</i>	<i>7</i>
1.2.2 <i>Métodos de fabricación de la pólvora negra.</i>	<i>8</i>
1.2.3 <i>Seguridad y riesgos en la fabricación de pólvora negra.....</i>	<i>9</i>
1.3 Producción de pólvora por vía húmeda	14
1.3.1 <i>Metodologías de fabricación de pólvora por vía húmeda.....</i>	<i>15</i>
1.3.2 <i>Ventajas y desventajas de la producción de pólvora por vía húmeda</i>	<i>20</i>
1.4 Información De La Empresa.....	21
1.4.1 <i>Datos Generales.....</i>	<i>21</i>
1.4.2 <i>Proceso De Producción En La Empresa Artesanal Pirotécnica Vizquete</i>	<i>22</i>
1.4.3 <i>Instalaciones de la empresa pirotécnica Vizquete.....</i>	<i>23</i>
1.4.4 <i>Seguridad En La Empresa Artesanal Pirotécnica Vizquete.....</i>	<i>23</i>
1.5 Automatización Industrial.....	25
1.5.1 <i>Componentes de la automatización</i>	<i>25</i>
1.5.2 <i>Objetivo de la automatización.....</i>	<i>26</i>
1.5.3 <i>Fases de la automatización</i>	<i>26</i>
1.5.4 <i>Niveles de la Automatización.....</i>	<i>28</i>
1.5.5 <i>Elementos de una instalación Automatizada</i>	<i>29</i>
1.5.6 <i>Automatismos eléctricos.....</i>	<i>29</i>
1.6 Sistemas de control.....	32
1.6.1 <i>Sistema de control en lazo abierto</i>	<i>32</i>
1.6.2 <i>Sistemas de control en lazo cerrado.....</i>	<i>33</i>

1.6.3	<i>Sistema de control de dos estados on/off</i>	33
1.7	Controlador Lógico Programable (PLC)	33
1.7.1	<i>Ventajas del PLC</i>	34
1.7.2	<i>Estructura general de un PLC</i>	34
1.7.3	<i>Lenguaje de programación</i>	35
1.8	CONTROLLINO Arduino PLC	37
1.8.1	<i>Controllino MINI</i>	37
1.8.2	<i>Controllino MAXI</i>	38
1.8.3	<i>Controllino MAXI AUTOMATION</i>	39
1.8.4	<i>Controllino MEGA</i>	40
1.9	Plataforma Arduino	41
1.9.1	<i>Arduino Hardware</i>	41
1.9.2	<i>Arduino Software</i>	42
1.9.3	<i>Comunicación</i>	43
1.10	Sensores	44
1.10.1	<i>Sensores de Caudal</i>	44
1.10.2	<i>Sensores de temperatura</i>	44
1.10.3	<i>Sensor de humedad de suelo</i>	45
1.11	Actuadores	46
1.11.1	<i>Electroválvulas Hidráulicas</i>	46
1.11.2	<i>Válvulas neumáticas</i>	47
1.11.3	<i>Cilindro neumático</i>	48
1.12	Mezcladores-Agitadores	49
1.12.1	<i>Tipo de flujo en tanques agitados</i>	49

CAPITULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	51
2.1	Proceso de fabricación de pólvora previo a la automatización	52
2.2	Proceso químico por vía húmeda, cálculo de dosis y variables a controlar	53
2.2.1	<i>Preparación</i>	54
2.2.2	<i>Incorporación</i>	57
2.2.3	<i>Extracción Salina</i>	60
2.3	Proceso de fabricación de pólvora por vía húmeda posterior a la automatización	62
2.3.1	<i>Diseño del sistema de automatización</i>	63

2.3.2	<i>Etapas de automatización del proceso de elaboración de pólvora por vía húmeda.</i>	65
2.4	Diseño del sistema mecánico.	66
2.4.1	<i>Diseño del recipiente de agitación.</i>	66
2.4.2	<i>Diseño de la estructura móvil para el agitador.</i>	67
2.4.3	<i>Diseño de estructura principal.</i>	68
2.4.4	<i>Ensamblaje total del sistema.</i>	69
2.5	Diseño del sistema neumático.	70
2.5.1	<i>Sistema Neumático móvil de agitador y bandeja.</i>	71
2.5.2	<i>Sistema neumático de Volteo y Filtración.</i>	72
2.5.3	<i>Consumo de aire del sistema.</i>	74
2.5.4	<i>Compresor de aire</i>	77
2.5.5	<i>Electroválvulas Neumáticas.</i>	78
2.6	Sistema Electrónico y de Control.	79
2.6.1	<i>Sistema de control en lazo abierto.</i>	79
2.6.2	<i>Componentes del sistema electrónico.</i>	79
2.6.3	<i>Selección del Controlador Lógico Programable.</i>	83
2.6.4	<i>Dimensionamiento de Conductores.</i>	85
2.6.5	<i>Esquema de conexión Electrónica.</i>	86
2.6.6	<i>Esquema de conexión Eléctrica.</i>	88
2.7	Diseño del software del sistema automático.	90
2.7.1	<i>Diagrama de flujo del sistema automático.</i>	90
2.8	Comunicación e Interfaz Hombre-Maquina.	93
2.8.1	<i>Configuración del Controlador lógico programable</i>	93
2.8.2	<i>Programación y configuración de la interfaz Hombre-Maquina.</i>	94

CAPITULO III

3	DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	96
3.1	Introducción	96
3.2	Comprobación de variables de dispositivos electrónicos de medida.	96
3.2.1	<i>Prueba de medición de sensores de Temperatura.</i>	96
3.2.2	<i>Prueba de medición del sensor de Caudal de Alcohol.</i>	97
3.2.3	<i>Prueba de medición del Sensor de Caudal de Agua.</i>	100
3.2.4	<i>Pruebas de medición del Sensor de Humedad.</i>	101
3.3	Análisis de repetibilidad.	102
3.4	Comprobación de etapas del proceso.	103

3.4.1	<i>Adición mezclas Binarias</i>	104
3.4.2	<i>Dosificación de Agua</i>	104
3.4.3	<i>Agitación y sistema de calentamiento</i>	106
3.4.4	<i>Dosificación Alcohol</i>	107
3.4.5	<i>Agitación y sistema de enfriamiento</i>	107
3.4.6	<i>Volteo y Transporte</i>	108
3.4.7	<i>Prensado</i>	110
3.5	Sistema automatizado, comprobación y ajuste de la receta.	111
3.5.1	<i>Adición mezclas Binarias</i>	112
3.5.2	<i>Dosificación de agua</i>	113
3.5.3	<i>Mezclado con calentador</i>	114
3.5.4	<i>Dosificación Alcohol</i>	114
3.5.5	<i>Mezclado con enfriador</i>	115
3.5.6	<i>Volteo y Transporte</i>	115
3.5.7	<i>Prensado</i>	116
3.5.8	<i>Finalización y etapas posteriores</i>	116
3.6	Consumo de energía	117
3.6.1	<i>Calculo de consumo de energía</i>	117
3.6.2	<i>Consumo mensual</i>	119
3.6.3	<i>Costo mensual de energía</i>	119
3.6.4	<i>Calculo del costo de energía mensual.</i>	119
3.7	Resultados previos a la automatización.	120
3.7.1	<i>Tiempo de producción previo a la automatización.</i>	120
3.7.2	<i>Seguridad en la producción de pólvora previo a la automatización.</i>	122
3.7.3	<i>Calidad del producto final previo a la automatización.</i>	124
3.7.4	<i>Optimización de recursos previo a la automatización</i>	124
3.8	Resultados posteriores a la automatización.	125
3.8.1	<i>Tiempo de producción posterior a la automatización.</i>	125
3.8.2	<i>Seguridad en la producción de pólvora posterior a la automatización.</i>	126
3.8.3	<i>Calidad del producto final posterior a la automatización</i>	128
3.8.4	<i>Optimización de recursos posterior a la automatización.</i>	129
3.9	Análisis del sistema de automatización.	129
3.9.1	<i>Implementación</i>	129
3.9.2	<i>Recursos Humanos</i>	135
3.9.3	<i>Recursos económicos</i>	135
3.9.4	<i>Grado de automatización</i>	135
3.9.5	<i>Niveles de automatización</i>	136

3.9.6	<i>Tecnología Empleada</i>	136
3.9.7	<i>Productividad y Calidad</i>	137
3.10	Análisis económico	137
	CONCLUSIONES	139
	RECOMENDACIONES	140
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Tabla ventajas y desventajas de métodos de producción de pólvora negra.....	12
Tabla 2-1: Sensibilidad Diferencial	31
Tabla 1-2: Proporciones para la mezcla.	56
Tabla 2-2: Tabla de calculo de masa para las mezclas binarias.	57
Tabla 3-2: Punto de ebullición del agua y presión según la altitud. NOAA-NASA.	59
Tabla 4-2: Desarrollo de las etapas de automatización relacionada con etapas del proceso químico.....	64
Tabla 5-2: Proceso para la automatización por vía húmeda.....	64
Tabla 6-2: Datos técnicos del cilindro neumático de Transporte de agitador y bandeja.....	71
Tabla 7-2: Datos técnicos del cilindro neumático de Volteo.	73
Tabla 8-2: Datos técnicos del cilindro neumático de Filtración.....	73
Tabla 9-2: Datos técnicos del compresor de aire.	77
Tabla 10-2: Electroválvulas neumáticas marca CHELIC.	78
Tabla 11-2: Electroválvulas neumáticas marca CHANTO.	78
Tabla 12-2: Características del sensor DS18B20.....	80
Tabla 13-2: Características del sensor YF-S201.....	80
Tabla 14-2: Características del sensor FC-28.	81
Tabla 15-2: Características del relé de estado sólido.....	81
Tabla 16-2: Características del Contactor electromagnético.....	82
Tabla 17-2: Características de electroválvulas de agua.	83
Tabla 18-2: Características de electroválvula de alcohol.....	83
Tabla 19-2: Tabla de entradas y salidas Controllino MAXI AUTOMATION.	84
Tabla 20-2: Calculo de dimensionamiento de conductores.	85
Tabla 1-3: Mediciones de temperatura.....	97
Tabla 2-3: Mediciones de volumen en el sensor de caudal de Alcohol.	98
Tabla 3-3: Estadística descriptiva del error absoluto en el sensor de caudal de alcohol.....	98
Tabla 4-3: Medidas del sensor YF-S201 según el número de pulsos.	99
Tabla 5-3: Mediciones de volumen en el sensor de caudal de Agua.	100
Tabla 6-3: Estadística descriptiva del error absoluto en el sensor de caudal de Agua.....	100
Tabla 7-3: Comportamiento del sensor de humedad.....	101
Tabla 8-3: Pruebas de repetibilidad de los sensores.....	102
Tabla 9-3: Receta en proporción 75,15,10 para 1 Kg.	111
Tabla 10-3: Receta para las Mezclas Binarias.	111
Tabla 11-3: Valores de dosificación y valores de temperatura máxima y mínima.	112
Tabla 12-3: Tabla de consumo DC.	117

Tabla 13-3: Tabla de consumo AC.	118
Tabla 14-3: Costo de consumo mensual.	120
Tabla 15-3: Análisis de Riesgos del Método utilizado por la Empresa Artesanal.	123
Tabla 16-3: Análisis de riesgos del Método por Molino de bolas.	123
Tabla 17-3: Análisis de Riesgos del Sistema Automatizado para elaboración de pólvora por vía húmeda.	127
Tabla 18-3: Tabla de resultados del sistema.	128
Tabla 19-3: Costos directos e indirectos de fabricación.	137
Tabla 20-3: Costo Materia prima para 1Kg.	138
Tabla 21-3: Costo para elaborar 20 Kg al mes.	138
Tabla 22-3: Tabla comparativa de costos de la pólvora por diferentes métodos.	138

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Molino de bolas industrial	12
Figura 2-1: Diagrama de flujo del procedimiento de precipitación.....	18
Figura 3-1: Diagrama de producción de pólvora por vía húmeda	19
Figura 4-1: Fases para la automatización	26
Figura 5-1: Fases para el desarrollo de una automatización.....	27
Figura 6-1: Pirámide de la Automatización.....	28
Figura 7-1: Relé y sus partes.....	31
Figura 8-1: Numeración de los contactares NA y NC	32
Figura 9-1: Control en Lazo Abierto	32
Figura 10-1: Control en Lazo cerrado.....	33
Figura 11-1: Estructura general de un PLC	34
Figura 12-1: Etapas del GRAFCET.....	36
Figura 13-1: Lenguaje grafico de contactos.....	36
Figura 14-1: Esquema de funciones lógicas.	37
Figura 15-1: Controllino MINI.....	38
Figura 16-1: Controllino MAXI	39
Figura 17-1: Controllino MAXI AUTOMATION	40
Figura 18-1: Controllino MEGA.	41
Figura 19-1: Plataforma Arduino.....	41
Figura 20-1: Partes del Arduino Uno.....	42
Figura 21-1: Software Arduino IDE	43
Figura 22-1: Caudalímetro electrónico de turbina.	44
Figura 23-1: Termopar tipo K.....	45
Figura 24-1: Sensor de humedad Suelo para Arduino.....	46
Figura 25-1: Electroválvula.	47
Figura 26-1: Electroválvula 5/2.....	48
Figura 27-1: Cilindro neumático.....	48
Figura 28-1: Tipos de Agitadores.	50
Figura 1-2: Etapas de fabricación artesanal de pólvora por vía seca.....	52
Figura 2-2: Etapas de fabricación de polvora por via húmeda.	53
Figura 3-2: Gráfico del proceso por vía húmeda.	54
Figura 4-2: Diagrama para dosificación de los elementos en las mezclas binarias.	56
Figura 5-2: Etapas del sistema automático para producción de pólvora por vía húmeda.....	63
Figura 6-2: Etapas de proceso óptimo del sistema de automatización.	66
Figura 7-2: Diseño del recipiente para la agitación a) Vista lateral b) Vista superior.....	67

Figura 8-2: Diseño de la base	68
Figura 9-2: Diseño de la estructura principal.....	69
Figura 10-2: Ensamble total de la estructura.	70
Figura 11-2: Diagrama del sistema neumático móvil de agitador y bandeja.....	72
Figura 12-2: Sistema de pivote y guiado rígido.....	72
Figura 13-2: Diagrama del sistema neumático de volteo y filtración.....	74
Figura 14-2: Sistema de control en lazo abierto propuesto.....	79
Figura 15-2: Diagrama general electrónico.	87
Figura 16-2: Diagrama de la fuente alimentación de los sensores.....	87
Figura 17-2: Diagrama de conexión de los sensores.	88
Figura 18-2: Diagrama generala eléctrico.....	89
Figura 19-2: Diagrama de entradas y salidas de actuadores.	90
Figura 20-2: Diagrama de flujo del sistema automático.....	92
Figura 21-2: Interfaz de control Hombre-Maquina.	93
Figura 22-2: Programación de la comunicación Ethernet.....	94
Figura 23-2: Programación de la HMI.....	95
Figura 1-3: Panel de control.....	103
Figura 2-3: Ejecución de las pruebas con la ayuda de la HMI.	104
Figura 3-3: (a) Cilindro extendido, (b)Cilindro retraído.....	105
Figura 4-3: Circuito de agua antes y después.	105
Figura 5-3: Apertura de la electroválvula.....	106
Figura 6-3: Calentamiento y agitación en el reactor.....	107
Figura 7-3: Prueba de dosificación de alcohol.....	107
Figura 8-3: Prueba de enfriamiento del reactor.	108
Figura 9-3: Sistema de volteo con motor DC y con cilindro de doble efecto.....	109
Figura 10-3: Modificación del sistema de transporte y posicionamiento de la bandeja.	109
Figura 11-3: Sistema de transporte y posición de la bandeja.....	110
Figura 12-3: Sistema de prensado sin guías.....	110
Figura 13-3: Sistema de prensado con guías alrededor del pistón.....	111
Figura 14-3: Medida de peso cada elemento.	112
Figura 15-3: Obtención de mezclas binarias N-C y C-S por conminución.	113
Figura 16-3: Adición de mezclas binarias en el reactor.....	113
Figura 17-3: Agitado y calentamiento de la mezcla.	114
Figura 18-3: Introducción de alcohol en el depósito temporal.	114
Figura 19-3: Agitación y enfriamiento de la mezcla.	115
Figura 20-3: Volteo del reactor.....	115
Figura 21-3: Etapa de prensado.	116

Figura 22-3: Extracción manual de la bandeja.	116
Figura 23-3: Granulado con 50 g de dextrina en una malla.....	117
Figura 24-3: Entrada de la red de agua potable al Sistema automatizado.	130
Figura 25-3: Válvula y sensor para la dosificación de agua.	131
Figura 26-3: Posicionamiento del agitador.....	131
Figura 27-3: Sistema de dosificación de alcohol.	132
Figura 28-3: Sistema de enfriamiento.....	133
Figura 29-3: Sistema de volteo del reactor.	133
Figura 30-3: Sistema de transporte.	134
Figura 31-3: Sistema de prensado.....	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-2: Tasa de evaporación de la marmita de diámetro de 23 cm.....	60
Grafico 2-2: Diagrama KNO ₃ -H ₂ O-CH ₃ OH politérmico (0-10-20-30-40 °C) de saturación.	61
Grafico 1-3: Contenido de agua en el material frente a medidas entregadas por el sensor.	102
Grafico 2-3: Tiempos de producción de pólvora en métodos preliminares a la automatización.	121
Grafico 3-3: Velocidades de Combustión de Pólvora Artesanal.....	124
Grafico 4-3: Tiempo de producción los diferentes métodos de fabricación de pólvora.	126

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

(KN_3)	Fórmula Nitrato de potasio.
(C_7H_4O)	Carbón Vegetal (fórmula empírica)
C:	Símbolo Carbón.
S:	Símbolo Azufre.
D.C:	Después de Cristo.
A.C:	Antes de Cristo.
CIA:	Agencia central de inteligencia.
RPM:	Revoluciones por minuto.
m²:	Metros Cuadrados.
Pa:	Pascales.
RF:	Radio Frecuencia.
PC:	Computador Personal.
PLC:	Controlador Lógico Programable.
PWM:	Pulse-Width Modulation.
MHz:	Megahercios.
CC:	Voltaje de corriente Continua.
AC:	Voltaje de corriente alterna.
I²C:	Circuito Interintegrado.
CPU:	Unidad central de proceso.
GRAFCET:	Grafo de Estados y Transiciones.
PID:	Control proporcional, integral, derivativo.
SCADA:	Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
HMI:	Interfaz hombre-maquina.
NA:	Normalmente abierto.
NC:	Normalmente cerrado.

CC:	Corriente continua.
V:	Voltaje.
I/O:	Entrada/Salida (Input/Output).
RAM:	Memoria de acceso aleatorio.
ROM:	Memoria de sólo lectura.
A:	Amperios.
PWM:	Modulación por ancho de pulsos.
RTC:	Reloj en tiempo real.
USB:	Bus Universal en Serie
IDE:	Entorno de desarrollo interactivo
UART:	Recepción-transmisión asíncrona universal
SPI:	Interfaz de periféricos serie (Serial Peripheral Interface)
RTD:	Detector de temperatura resistivo
TDR:	Reflectómetro de dominio de tiempo
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel del mar
H₂O:	Formula del agua
ml:	Mililitros
Kg:	Kilogramos
IP:	Internet Protocol
DNS:	Sistema de nombres de dominio
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexos A:** Hoja de datos Controllino Maxi Automation.
- Anexos B:** Distribución de salidas y entradas Controllino Maxi Automation.
- Anexos C:** Hoja de datos DS18B20.
- Anexos D:** Hoja de datos YF-S201.
- Anexos E:** Hoja de datos FC-28.
- Anexos F:** Alambres y cables de cobre TW 600 V 60°C.
- Anexos G:** Cargos Tarifarios para la ciudad de Riobamba.
- Anexos H:** Criterios y evaluación del Método de Mosler.
- Anexos I:** Plano Mecánico del Recipiente Principal.
- Anexos J:** Plano Mecánico de la base móvil del actuador de agitación.
- Anexos K:** Plano Mecánico de la Estructura base Principal.
- Anexos L:** Plano Mecánico de la Estructura Ensamblada.
- Anexos M:** Ficha Técnica.
- Anexos N:** Guía del usuario.

RESUMEN

En la presente investigación se desarrolló un sistema automatizado para la producción de pólvora aplicando el método de fabricación por vía húmeda, con el objetivo de proteger la integridad del artesano durante la fabricación sin comprometer la calidad del producto requerido para su trabajo. El diseño del sistema se adaptó según las necesidades del método de elaboración de pólvora para asegurar su eficiencia, considerando la menor cantidad de pérdida del producto, se implementó una marmita con sistema de calentamiento y una camisa para la reducción de temperatura integrando sistemas neumáticos para desplazar los dispositivos de forma eficiente. Se implementó un controlador lógico programable (PLC) denominado Controllino Maxi Automation, basado en la plataforma Arduino lo que permitió la versatilidad de los sensores utilizados en la investigación, agregando un interfaz hombre maquina (HMI) donde se visualiza las etapas del proceso que permite un control total del sistema por medio del protocolo Ethernet TCP/IP. Como resultado de las pruebas se concluyó que el método y la automatización del sistema garantizan la seguridad del operario, mediante el uso de la técnica de análisis de riesgo de Mosler se comprobó que el sistema posee un riesgo bajo durante su producción, conjuntamente se comprobó que el sistema garantiza la velocidad de combustión en la pólvora requerida, según el criterio del artesano y de las pruebas realizadas, la velocidad de combustión para pólvoras de mayor calidad obtuvieron un promedio de 10 y para pólvoras de baja calidad una calificación de 8, así mismo se optimizaron las pérdidas del producto hasta obtener un pérdida del 10% del producto total y optimizando el tiempo de producción en 65%. Se recomienda al operario proceda con extremo cuidado y con las condiciones de operación necesaria durante su uso, adicionalmente se agrega que utilice las protecciones necesarias durante todas las etapas del proceso.

Palabras Claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <FABRICACIÓN POR VÍA HÚMEDA>, <COMUNICACIÓN INALÁMBRICA>, <ELABORACIÓN DE PÓLVORA ARTESANAL >, <INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA (HMI)>, <PIROTECNIA>.

ABSTRACT

In the present research an automated system for the production of gunpowder is developed, applying the method of manufacture by wet way, in order to protect the integrity of the craftsman during the manufacture without compromising the quality of the product required for its work. The design of the system is adapted according to the needs of the powder processing method to ensure its efficiency, considering the least amount of product loss, a kettle with heating system and a jacket for the temperature reduction were implemented, integrating pneumatic systems to move the devices efficiently. A programmable logic controller (PIC) called Controllino Maxi Automation is implemented, based on the Arduino Platform, which allows the versatility of the sensors used in the investigation, adding a human machine interface (HMI) where the stages of the process are visualized total control of the system through the protocol Ethernet TCP/IP. As a result of the tests. It is concluded that the method and the automation of the system guarantee the security of the operator, through the use of the Mosler risk analysis technique, it was verified that the system has a low risk during its production, the system guarantees the speed of combustion in the required powder. According to the criterion of the craftsman and the tests carried out, the combustion rate for high quality powder obtained an average of 10, and for low quality gunpowder a rating of 8. Also, the losses of the product were optimized until a loss of 10% of total product and optimizing production time by 65%. It is recommended that the operator proceed with extreme care and with the necessary operating conditions during use, in addition to using the necessary protections during all stages of the process.

KEYWORDS:

<TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <AUTOMATION OF INDUSTRIAL PROCESSES >, <MANUFACTURE BY WET WAY>, <WIRELESS COMMUNICATION>, <MANUFACTURE OF HANDMADE GUNPOWDER>, <MAN-MACHINE INTERFACE (HMI)>, <PYROTECHNICS>.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se realizó el diseño e implementación de un sistema automatizado para fabricación de la pólvora por vía húmeda, en la empresa artesanal pirotécnica Vizúete, con el fin de evadir el riesgo fortuito que existe en la fabricación artesanal, este objetivo se proyecta cumplir efectuando el método de fabricación por la técnica húmeda, utilizando procesos de automatización y control para garantizar la seguridad del sistema y de la persona encargada de la elaboración de pólvora negra.

Para la elaboración de esta investigación es indispensable emplear de forma armonizada los siguientes métodos y técnicas de investigación:

Revisión documental, para introducirnos en la información relacionada con métodos, técnicas afines al objeto de estudio y dispositivos utilizados en la fabricación de pólvora, sus ventajas y desventajas.

Sistematización, para aplicar con sustento en la experimentación y en las bibliografías examinadas diseños del sistema automatizado de fabricación de pólvora por vía húmeda.

Análisis y síntesis, para evaluar los datos, llegar a conclusiones y recomendaciones.

Experimentación, para ejecutar las simulaciones y comprobaciones de las diferentes etapas del sistema.

Medición, para la evaluación de las variables en la fase de experimentación práctica de la investigación.

Observación, para la validación de los datos obtenidos en las pruebas del sistema diseñando.

Estadística descriptiva, para interpretar los resultados obtenidos y analizar el porcentaje de error del sistema.

La memoria descriptiva de la tesis consta de una introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones. El primer capítulo, denominado Marco Teórico, considera aspectos relacionados con las metodologías de fabricación de pólvora negra, problemática de seguridad y dispositivos e instrumentos utilizados. Se exponen trabajos realizados sobre fabricación de pólvora por vía húmeda y la situación actual de la Empresa debido a su seguridad y proceso de fabricación.

El segundo capítulo es el Marco Metodológico aborda puntualmente el diseño del *hardware* del sistema y los requerimientos para la selección de dispositivos. Presenta *software* del sistema con los requerimientos y parámetros establecidos por el método de fabricación húmeda de pólvora.

El tercer capítulo expone el análisis y validación del sistema. Adjunta análisis de su costo y características del sistema. Las Conclusiones comprenden resultados principales alcanzados de la investigación, resaltando aspectos innovadores en el ámbito estudiado, en las Recomendaciones se proyecta propósitos a futuro que convendrían tomar en cuenta para un posterior desarrollo de trabajos de investigación.

ANTECEDENTES

La pólvora negra es la materia prima en la elaboración de fuegos artificiales, a lo largo de los años la fórmula utilizada no ha variado demasiado, pero si ha mejorado en cuanto a su proceso de elaboración, transporte y seguridad cuando es manipulada. La elaboración tradicional consiste en machacar la mezcla sobre un mortero de madera e incluso piedra durante 6 a 8 horas, para elaborar aproximadamente 5kg de pólvora. Esta actividad involucra grandes riesgos de explosión e incendio para quien lo manipula directamente, durante el proceso de molienda la pólvora eleva su temperatura por la fricción entre los granos y el mortero, dejando expuesta a la persona a un eventual chispazo y posterior inflamación de la mezcla. Los artesanos que se dedican a esta actividad usan un molino de bolas para realizar la mezcla, esto no reduce sustancialmente el riesgo de inflamación de la pólvora, aunque mantiene al operario distanciado del proceso de elaboración, esto no significa que esté libre de riesgos, pero reduce el peligro por su tiempo de exposición a la mezcla.

Los artesanos han perdido el temor a manipular la pólvora, lo hacen con mucho respeto y sobre todo precaución para evitar cualquier clase de accidente, “En realidad se trata de una labor peligrosa, pero para quienes no toman las precauciones y mucho más para quienes no saben del arte”, dice Patricio Baculima, quien pertenece a una familia que por generaciones se ha dedicado a esta actividad. (AGN, 2010).

La fabricación y manipulación de pólvora es peligrosa incluso más peligrosa que la elaboración de ciertos explosivos más potentes, el material puede culminar en una explosión si la condiciones en la que se encuentra son adecuadas para iniciar la ignición. La explosión es muy potente y destructiva incluso sin generarse la explosión, la pólvora puede causar mucho daño por su rápida combustión. “La manipulación de pólvora y juegos pirotécnicos ha provocado varios accidentes

en el país, que terminaron con la vida o provocaron incapacidad física de personas” (EL TELÉGRAFO, 2016).

En nuestro país Ecuador y en varios países de Latinoamérica la pirotecnia es directamente artesanal, aun existiendo legislaciones y normas de seguridad para regular esta actividad, no se han disminuido notablemente este tipo de accidentes.

Incluso en países desarrollados todavía existe la pirotecnia y la elaboración de pólvora de manera artesanal, por lo cual las empresas de un gran desarrollo, se permiten tener la importación de la pólvora negra de China, la mayor productora de pólvora a nivel mundial por su tecnificación y desarrollo en este campo.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede crear un sistema automatizado para la elaboración de la pólvora por vía húmeda que resulte seguro y efectivo para las empresas artesanales que se dedican a la pirotecnia?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Existe un método adecuado para evitar accidentes durante la trituración y mezcla de la pólvora?

¿Qué métodos, materiales y herramientas van a contribuir al desarrollo óptimo de este tipo de automatización?

¿Qué estrategias son necesarias para implementar un sistema que garantice seguridad en la mezcla de pólvora?

¿Qué beneficio ocasionara la automatización del método de vía húmeda para la elaboración de pólvora en la pirotecnia artesanal?

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

Diseñar e implementar un sistema automatizado para la fabricación de pólvora por vía húmeda en la Empresa Artesanal Pirotécnica Vizuete.

Objetivos Específicos:

- Identificar los problemas de seguridad que existen en los diferentes métodos y técnicas de fabricación de pólvora negra.
- Diseñar el sistema automatizado para disminuir el riesgo de accidentes y garantice la calidad en la fabricación del producto.
- Implementar el sistema de automatización propuesto para la elaboración de pólvora negra.
- Validar el sistema de automatización en cuanto a la seguridad y calidad en la elaboración de pólvora negra.

DELIMITACIÓN

Espacio

Se delimita espacialmente para el cantón Riobamba, parroquia Cubijies, por la temperatura ambiental y altitud debido que a nivel del Ecuador no todas las ciudades están en las mismas regiones geográficas.

Tiempo

Esta investigación está realizada con datos recopilados por las empresas artesanales en el año 2017.

Alcance

El presente trabajo de investigación está orientado a empresas artesanales dedicadas a la pirotecnia en la ciudad de Riobamba, parroquia Cubijies, con objeto de reducir el riesgo durante la fabricación de pólvora. Se deja la brecha abierta a posteriores investigaciones para el proceso de automatización en la fabricación de pólvora por vía húmeda.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Pirotecnia

La pirotecnia aparece con el descubrimiento de la pólvora negra, sus inicios fueron en China para ser conocido en Europa aproximadamente en el siglo XII. Su manufactura consistía en un tubo pequeño cerrado por uno de sus lados que contenía una sustancia similar a la pólvora negra que combinados con mecanismos móviles o fijos proporcionaban espectáculos únicos, las mejoras realizadas posteriormente fueron en las fórmulas de mezclas combustibles para obtener color, luminosidad, velocidad e incluso efectos sonoros. La pirotecnia principalmente es utilizada en diferentes fiestas alrededor del mundo, aunque su uso también se extiende en el ámbito militar, en Latinoamérica durante la conquista de los españoles se implementaron nuevas formas de homenajear a sus patronos y festejar sus conquistas, donde según historiadores se presentaban castillos, toritos y buscapiés, entre otros (Gobierno del Estado de México, 2013).

En la actualidad la pirotecnia se ha beneficiado de la tecnología mejorando su técnica y velocidad, producción e incluso ayudando a su seguridad, en países europeos se han desarrollado sistemas automáticos de manufactura descartando así la fabricación manual de años anteriores, en Latinoamérica el desarrollo en la industria pirotecnia se ha visto retrasada por lo menos 50 años, siendo Brasil el país más desarrollado en el campo. En nuestro país la pirotecnia artesanal ocupa gran parte del campo pirotécnico donde los conocimientos entregados por generaciones anteriores y obtenidos por su experiencia predominan frente a conocimientos técnicos en el arte.

1.1.1 Problemática en la industria pirotécnica

En Latinoamérica particularmente en nuestro país, la principal dificultad del campo pirotécnico es el retraso industrial de esta actividad, debido al desconocimiento del artesano de las nuevas tecnologías que podrían beneficiar a su producción y principalmente a su seguridad en la manipulación de materiales explosivos, lo que conlleva a la reducción de la actividad y a importación de productos pirotécnicos de países dominantes en el área pirotécnica.

Las principales dificultades a la que se enfrenta la actividad son:

- Uso de técnicas artesanales.
- Clandestinaje.
- Carencia de normatividad adecuada.
- Ausencia de impulso a la expansión y creación de mercado.
- Cincuenta años de atraso con respecto a países como China, España, Italia, Estados Unidos, Brasil y Argentina. (Gobierno del Estado de México, 2013)

Los requerimientos para mejorar la producción pirotécnica están en la falta de tecnificación en procesos de producción, capacitación de los artesanos dedicados a la actividad, y legislación adecuada de prevención y manipulación de productos pirotécnicos.

1.2 La Pólvora

1.2.1 Generalidades

Una mezcla de salitre homogeneizada (KNO_3) y carbón vegetal (fórmula empírica (C_7H_4O)). Confinado en un espacio cerrado, esta mezcla explota violentamente si se calienta hasta 400 grados centígrados. Mediante la adición de azufre a esta mezcla, la temperatura de ignición es reducida significativamente. (Bretscher, 2009)

La pólvora negra es uno de los principales componentes de la pirotecnia está compuesta por tres simples elementos nitrato potásico, carbón vegetal y azufre en proporciones definidas cercanas al 75, 15, 10 por ciento respectivamente.

Mecanismo de Combustión

A lo largo de los años el estudio de este componente ha logrado explicar cómo tres componentes no explosivos o relativamente explosivos al juntarse pueden serlos, esto se debe al mecanismo que sigue la pólvora negra. Varios autores han incursionado en la investigación de los mecanismos de combustión lo cual ha logrado establecer los parámetros de ignición de la pólvora.

Velocidad de combustión

Existen diferentes formas de definir la velocidad de la combustión de la pólvora, lo cual precede de disciplinas diferentes: como la masa reactiva por unidad temporal o avance molar de reacción en química, como volumen de reacción en tecnología de propulsantes o como avance lineal por segundo, en ciencia de explosivos. “Se la puede definir como la que frente a un reactivo de sección laminar progresa con respecto a un tubular de flagante en reposo, en consonancia con la utilizada en ciencia. Su magnitud es longitud por cada unidad de tiempo”. (Crespo Prieto, 2015)

1.2.2 Métodos de fabricación de la pólvora negra.

En el transcurso de los años desde la creación de la pólvora se han implementado varios métodos de elaboración, que ha ido creciendo según de la necesidad de la misma, que va desde la escala de manufactura pequeña hasta escala ya industrial, donde se necesitan grandes cantidades de pólvora negra, lo que implica un riesgo mayor.

Métodos de molienda utilizados de media a grande escala

Los métodos más utilizados para la producción de media a grande escala son:

- molinos de mazos
- molinos de bolas
- molinos de rueda
- molinos de chorro (Maltitz, 2003)

Métodos de molienda utilizados pequeña escala

Los métodos de pequeña escala se pueden encontrar varios, algunos que ya han sido probados y se podría decir que ya han visto la magnitud de peligrosidad expuestos, pero al hablar de este tipo de explosivo es impredecible detectar el grado de peligrosidad de cada método.

Estos son:

- Manos de mortero y morteros motorizados
- Molinillos de café
- Licuadoras

- Tumbadores
- Anillo y puck pulverizadores
- Pequeños molinos de bolas
- Pequeños molinos de rueda (Maltitz, 2003)

Otros métodos de molienda

Estos tipos de métodos son métodos que se han experimentado de una manera muy práctica por lo cual no son recomendables para su uso antes de algún estudio previo. Algunos de ellos son:

- Mármol frío: Un método chino antiguo (alrededor del año 600 DC) utiliza una gran losa de mármol para enfriar una mezcla caliente de pólvora negra.
- Método Edward Greene: Una saturada solución de potasio o nitrato de sodio se mezcla con azufre y carbón vegetal y se calentó en un recipiente cerrado a algún lugar cerca del punto de ebullición del agua. La mezcla se realiza con algún tipo de agitador mecánico a lo largo de este proceso. Después del calentamiento y agitación suficiente, una bomba de vacío se conecta al recipiente. La presión de vacío aplicada hace que el agua en la mezcla que se evapore rápidamente, dejando tras de sí una mezcla con muy pequeños cristales de nitrato de potasio.
- Uso de ácido ascórbico: El proceso de fabricación es por lo general bastante simple con el nitrato de potasio y ácido ascórbico, se mezclan con agua para formar una suspensión. Las fibras de celulosa también se agregan a algunas mezclas. La mezcla íntima, al igual que con otros procesos de pólvora es esencial. Algunos procesos calientan la suspensión, teniendo cuidado para controlar la temperatura dentro de ciertos límites. Si esto no se hace cierta, pueden ocurrir reacciones químicas no deseadas. La mezcla se seca a continuación, se comprime y se granula.

1.2.3 Seguridad y riesgos en la fabricación de pólvora negra

En la elaboración de pólvora lo primordial es garantizar la seguridad del operario, lo fundamental al trabajar con un explosivo altamente peligroso, que inclusive a menudo puede causar más daño que explosivos más potentes, es tener en cuenta sus características de combustión y propiedades para así evitar accidentes, estableciendo parámetros y normas de manipulación del explosivo. El material puede ir en explosión si las condiciones son adecuadas, inclusive sin generar la explosión provoca mucho daño a causa de su rápida combustión. Este explosivo es impredecible por lo cual

abordar todas las consideraciones de seguridad es un trabajo complejo, existen casos en que personas experimentadas en el manejo de la pólvora no han cubierto todas las condiciones para mantenerse protegido y han sufrido accidentes.

Consideraciones de Seguridad en el manejo de la pólvora

En la manipulación de la pólvora todos los posibles principios de seguridad a considerar son totalmente imposibles de abordar, debido a eso cada individuo de acuerdo a las circunstancias y contingencias debe desarrollar su propia conciencia sobre los aspectos de seguridad ante este explosivo.

En primera instancia se debe tomar en cuenta la importancia de seguir las doctrinas de seguridad y la capacidad de las personas para ponerlas en práctica, así con simples reglas o señales se puede evitar accidentes no deseados en su manufactura. La cantidad a elaborar es importante, como se sabe en todo tipo de explosivo al tener menor cantidad, el impacto es menor pero no necesariamente se reducen las probabilidades de un accidente, una forma de evitar el riesgo de aglutinar gran cantidad de explosivo y reducir las probabilidades de explosión es dividiendo las cantidades de explosivos de acuerdo con su peligrosidad, así las fases más peligrosas se realizan disminuyendo su cantidad.

Un método importante de fabricación de pólvora a la hora de enfatizar la seguridad es la vía húmeda, la cual es proclamada por diversos autores como la vencedora ante métodos por vía seca, sus ventajas primordiales son la reducción de la fricción, calor y polvo, en cuanto a aspectos de elaboración es un proceso seguro y mejor, generando un resultado más rápido para lo cual hay que tomar en cuenta una de las consideraciones básicas en el manejo de explosivos, la precaución, debido a que el método sin técnica y un mal manejo puede tornarse peligroso.

La familiaridad engendra desprecio y es una de las principales razones por las que personas experimentadas tienen accidentes. (Maltitz, 2003) El gran error es subestimar las condiciones creadas para generar accidentes, ya sea por una enorme experiencia o la sobrevaloración del conocimiento adquirido al mismo tiempo que la fabricación del explosivo implica muchas variables que pueden cambiar de forma sutil que no se es consciente de su modificación.

Existen varios materiales los cuales no son adecuados para el uso en la fabricación de pólvora, un claro ejemplo es el metal por poseer una alta familiaridad con las chispas, además de ser un buen conductor de calor, por ende, su uso es peligroso en métodos de fabricación secos e inclusive al humedecer la pólvora, si no se tiene las precauciones y la técnica adecuada en el método suele ser un riesgo este tipo de material.

Para la elección de un método de fabricación de pólvora negra, es fundamental considerar primeramente la seguridad, existiendo así diversos métodos unos más seguros que otros, teniendo

claro que ningún método elimina en su totalidad el peligro. Además, la presencia de la persona implicada en el proceso es un aspecto importante a tomar en cuenta en la elección debido al número de personal necesario para su elaboración lo que implica más riesgos, una solución a ello es la automatización del proceso, aunque su costo económico sea más alto.

En cuanto al ambiente de trabajo, se debe poseer una adecuada preparación en caso de accidentes, la más sencilla es tener un buen suministro de agua a la mano en caso de ignición accidental, valorando así la velocidad de combustión de la pólvora que mientras más rápida más peligrosa, eso no quiere decir que si es más lenta su velocidad de combustión reduzca su peligrosidad.

Riesgos en métodos de fabricación de pólvora por vía seca

Existen infinidad de métodos de fabricación de pólvora por vías seca, por el hecho de que cada productor de pólvora tiene su proceder en la elaboración, con el pasar de los siglos las metodologías fueron avanzando, pasando de un simple mortero con mazo a molinos o máquinas impulsadas por electricidad, lo que llevo a la producción de grandes cantidades de explosivos, esto implico alta peligrosidad en la producción, gracias a que estos métodos son de alto riesgo de iniciación involuntaria, por las variables que son impredecibles y de difícil control.

Seguidamente del mortero y mazo como método de fabricación se utilizó un tipo de mortero mecanizado, llamado por su nombre en inglés stamp mill o molino de estampillas en español, este tipo de método goza de una mala reputación por su alta peligrosidad debido a su funcionamiento que consta de un mazo que se levanta y cae de manera se pueda constituir la pólvora deseada, generando así demasiado calor por su violenta acción, lo que ha provocado abandonar su uso e inclusive restringirlo en algunos países.

El molino de ruedas aparece en busca de métodos innovadores para producción a gran escala, posee menor grado de peligrosidad que otros tipos de molinos además de producir pólvora de alta calidad. Es un dispositivo que tritura sustancias presionándolas entre ruedas y una superficie plana su uso común de los molinos de ruedas es extraer aceite de las plantas productoras de aceite tales como aceitunas y semillas de sésamo. (Maltitz, 2003) Para disminuir el riesgo de explosión se usa agua, reduciendo así el calor generado por la molienda, aun con esta precaución ha provocado accidentes a lo largo de la historia por lo cual es mejor su uso de forma remota.

En la pirotecnia artesanal en todo el mundo e inclusive en nuestro país, es extendido el uso de molinos de bolas, que habitualmente es utilizado por la industria minera y en un tamaño reducido en laboratorios químicos, la seguridad del método depende mucho de la técnica utilizada para la molienda, una muy usada es la molienda binaria para luego de varias horas proceder a la molienda ternaria por algunos minutos, la cual reduce sustancialmente el riesgo de explosión acosta de la calidad final obtenida. Al realizar una molienda ternaria directa el método aumenta su riesgo de

accidentes por lo que se utiliza en producción de escalas medias a pequeñas, el método reinante para producción a gran escala es el de molino de ruedas.

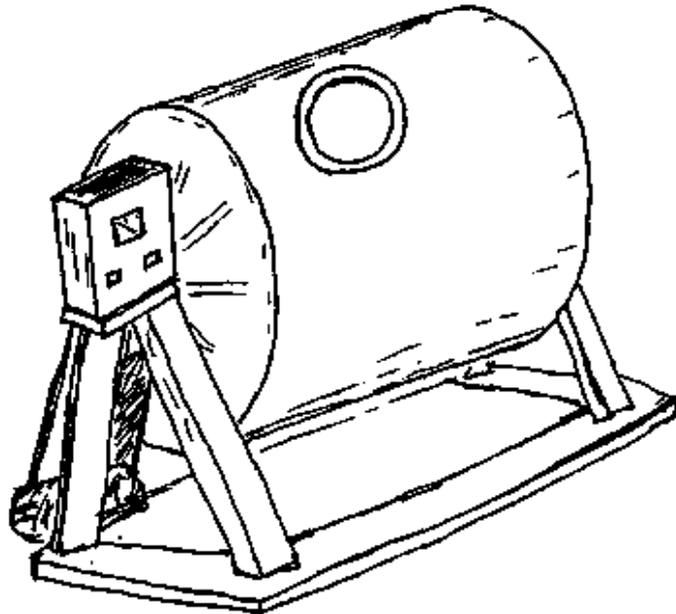


Figura 1-1: Molino de bolas industrial

Fuente: (Maltitz, 2003)

Una de la metodologías más prometedoras en cuestión de seguridad son los Jet Mills o molinos a chorro, que utilizan corrientes de aire a presión para pulverizar y fabricar el explosivo, su uso no se extiende en el campo comercial, generalmente es usado en el área militar con pequeñas cantidades, un dato importante es un molino de este tipo modificado por la compañía noruega Nitedals Krudvaerk de Dyno Industries el cual genera partículas similares a las obtenidas en un molino de ruedas dando ventaja en cuanto a seguridad pero disminuyendo su capacidad de producción que se deprecia por la gran seguridad que brinda.

Tabla 1-1: Tabla ventajas y desventajas de métodos de producción de pólvora negra

<i>Métodos de producción</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>	<i>Riesgo de Accidentes</i>
Stamp Mill	<ul style="list-style-type: none"> • Simple Construcción y uso. • Bajo costo de implementación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera excesivo calor por su alto impacto. • Utilización restringida en algunos países. 	Alto

Molino de Ruedas	<ul style="list-style-type: none"> • Apropiado para uso a gran escala con respectivas precauciones. • Pérdida de masa en las paredes de las ruedas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo mayor para producción a gran escala. • Tiempo de molienda largo para obtención de calidad alta. 	Bajo-Medio
Molino de Bolas	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de implementación reducido en relación a otros métodos. • Genera calidades de pólvora aceptables con relación a su precio. • Uso extendido en el área pirotécnica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su uso apropiado para producciones de escala media y pequeña. • Genera calor en cantidad y estática dependiendo del material de las bolas. 	Medio
Jet Mill	<ul style="list-style-type: none"> • Existe mayor seguridad en su producción. • Su metodología no utiliza mecanismos de impacto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado • Disminución de la cantidad de pólvora elaborada. • No ofrece ventajas en el área comercial debido a ofrecer calidades iguales a molinos de rueda. 	Bajo

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Fuente: (Maltitz, 2003)

1.3 Producción de pólvora por vía húmeda

La principal dificultad encontrada en la fabricación de pólvora negra es la seguridad durante el proceso de obtención, para lo cual se han desarrollado infinidad de metodologías de preparación del explosivo, sin duda no se encontró un buen resultado para mejorar la seguridad aplicando métodos donde los tres componentes de la pólvora se encontrarán completamente secos en el mismo instante del proceso. Mejoras en el método de molienda permitieron reducir el riesgo en la elaboración, donde se utilizó molienda binaria, adición de humedad a la mezcla en cantidades reducidas y métodos parcialmente complicados de alto costo como los Jet Mills y sus variantes, estos se enfrentaban a dificultades de disminución de calidad, aumento de tiempo en su elaboración y en el caso de los Jet Mills disminución de la producción del explosivo.

Las producciones húmedas realizan, al menos parte de los procesos bajo un fluido insensibilizador de forma que no es posible la ignición espontánea del explosivo, (Crespo Prieto, 2015) aumentando significativamente la seguridad en la producción, por lo cual se considera un procedimiento clave para producciones, en donde se busca la seguridad del operador sin disminuir la calidad del explosivo, esto, si se aplica su técnica de manera eficiente y precisa. El método de fabricación húmedo, conocido también como método de precipitación o método CIA, este último denominado así porque en sus inicios se realizaron una serie de estudios por parte del Arsenal de Frankford en los años sesenta donde se investigaron métodos por los cuales las fuerzas armadas estadounidenses podrían fabricar y utilizar armas improvisadas en el campo. (Maltitz, 2003) Aunque sus inicios fueron más atrás en el tiempo, considerado desde la creación del método donde se utiliza un mármol frío para la reducción de calor, para luego desarrollarse poco a poco con la inclusión de fluidos, generalmente agua, más tarde se iría modificando la estructura de su fórmula entrando a la creación de pólvoras blancas y a la adición de licores. Se llegó en su evolución hasta 1976 donde Voigt patentó el método más desarrollado hasta la fecha de producción húmeda, basado en extractores inorgánicos. (Crespo Prieto, 2015)

El método de precipitación es poco conocido en el campo de la pirotecnia y goza de una mala fama por ser método con mucha técnica y precisión, hecho por el cual al ser implementado arrojaba en mucho de los casos fracaso y desilusión, lo que provocó que este método apenas haya sido llevado a la práctica por lo que no hay modelos industriales en los que fijarse y comparar. (Crespo Prieto, 2015)

1.3.1 Metodologías de fabricación de pólvora por vía húmeda

En la producción de pólvora por vía húmeda la experimentación es lo primordial, dado a que variaciones del método se han aplicado de forma insatisfactoria especialmente por personas con muy poco conocimiento en el mismo, lo que conlleva a no tener un método que nos garantice totalmente eficacia específicamente en cuestiones de calidad del explosivo, otra razón son las variables que la influyen en la elaboración donde en ciertos casos son determinantes en la calidad de la pólvora, por lo que se debe escoger la mejor metodología ajustada a la eficiencia que deseamos obtener y también a los costos, además de su disposición de material necesario en el lugar de producción.

Trabajos recientes han ayudado a mejorar el método en su técnica, basándose en estudios más exhaustivos en lo que respecta a la química de sus elementos que permiten la elaboración de la pólvora de forma húmeda, tal es el caso de la obra expuesta por (Crespo Prieto, 2015), donde fundamentado en estudios anteriores de varios autores nos ofrece un resultado de un proceso prometedor para ponerlo en práctica en la producción de pólvora negra. Existen métodos de tiempos atrás, donde la experimentación, prueba y error, predominan para justificar la validez del método afirmado, donde se obtienen resultados favorables en cuanto a calidad y seguridad que obviamente es el punto más alto del método húmedo. A continuación, se expone una descripción de algunas variaciones del método húmedo para producción de pólvora negra.

Método de precipitación 1

El siguiente método se describe por (Ledgard, 2006) titulado como Estándar Black Powder (Precipitation Method), se necesitan 45 gramos de carbón estándar y 30 gramos de azufre cada uno de ellos se vierte en un molino de bolas las cuales pueden ser de acero de 4 a 5 cm de diámetro y un peso de 25 gramos, esta etapa tiene una duración aproximada de 1 a 2 horas a 150 RPM. En un recipiente preferente de acero inoxidable con 650 mililitros de agua se añade 225 gramos de nitrato de potasio lo que cubre aproximadamente la mitad del recipiente, se lo expone a una fuente de calor para hervir el agua hasta que se disuelva el nitrato potásico, en ese momento se le agrega la mezcla binaria anteriormente preparada y se la agita rápidamente aproximadamente por una hora, depreciando la pérdida de agua. Una vez retirada la fuente de calor se enfría hasta alcanzar 70 o 80 °C, rápidamente se le agrega 600 mililitros de alcohol isopropílico congelado o a su vez alcohol desnaturalizado de igual manera congelado. Inmediatamente se coloca la mezcla en hielo o congelador para llegar a 0 °C dejándolo reposar por lo menos 30 minutos para luego hacer su respectiva filtración y secado al ambiente, posteriormente se procede a la granulación.

Las características de la pólvora resultantes expuestas por el autor son la siguientes:

Velocidad de combustión: Depende del tamaño del grano

Estabilidad: Puede almacenarse por muchos años

Resistencia al agua: Moderada

Inflamabilidad (1 a 10): 9

Facilidad de encendido (1 a 10): 9

Capacidad explosiva: No se puede detonar bajo condiciones normales.

Porcentaje: 75% Nitrato de potasio - 15% Carbón – 10% azufre

Clasificación: Explosivo de flagrante (clasificado como propulsor). (Ledgard, 2006)

Método de precipitación 2

El método de precipitación 2 es una variación del método anterior expuesta por el mismo autor (Ledgard, 2006) en el cual se omite la molienda binaria antes de la incorporación. En un recipiente se agrega 225 gramos de nitrato de potasio añadiendo agua en una medida de 225 mililitros, para la disolución del nitrato potásico se agita y calienta a 80 °C, a continuación se prepara rápidamente una segunda mezcla añadiendo 675 mililitros de alcohol etílico al 95% o alcohol desnaturalizado, seguido de la adición de 31,2 gramos de azufre en polvo y luego 43,8 gramos de carbón regular, agitando rápidamente toda la mezcla durante aproximadamente 30 minutos, durante este periodo la mezcla de nitrato segura con fuerte agitación y a una temperatura de 80 °C. La mezcla que contiene alcohol se la enfría a 15 °C, esta mezcla al estar con fuerte agitación se agrega lentamente el nitrato potasio caliente y se mantiene la agitación durante 1 hora para posteriormente realizar la filtración y secado al ambiente.

El método emite el siguiente resultado en cuanto a las características de la pólvora:

Velocidad de combustión: Depende de del tamaño del grano

Estabilidad: Puede almacenarse por muchos años

Resistencia al agua: Moderada

Inflamabilidad (1 a 10): 9

Facilidad de encendido (1 a 10): 9

Capacidad explosiva: No se puede detonar bajo condiciones normales.

Porcentaje: 75% Nitrato de potasio – 14.6% Carbón – 10.4% azufre

Clasificación: Explosivo de flagrante (clasificado como propulsor).

Uso: Más adecuado para el uso en armas pequeñas, y en fuegos artificiales (Ledgard, 2006)

Método de precipitación 3

El método recomienda molienda binaria para mejor resultado de propulsión debido a pruebas realizadas por el autor que concluyen que ningún otro tipo de incorporación deja mejor resultado en la velocidad de combustión que una molienda previa. El procedimiento expuesto es el siguiente:

Medir en volumen, 3 tazas de nitrato de potasio granulado, 2 tazas de carbón en polvo y 1/2 taza de azufre en polvo en un recipiente adecuado y humedecer con 1 taza de agua procurando agitar bien los ingredientes, después agregar 2 tazas más de agua a la mezcla y colocar el recipiente a una fuente de calor, hervir a fuego lento con suficiente agitación para obtener una mezcla uniforme, a continuación rápidamente añadir, verter la mezcla en 5 pintas de alcohol contenidas en otro recipiente. En 5 minutos se retira la mezcla y se procede a su filtración retirando toda la cantidad posible del líquido, se deja secar y con una humedad considerable se granula para su secado total al sol preferentemente. (Maltitz, 2003)

En algunas mejoras recomendadas por el autor son la molienda binaria, presión de la masa para una constitución mejor de la pólvora y un correcto uso del alcohol, garantizando así el método y su uso en a la pirotecnia.

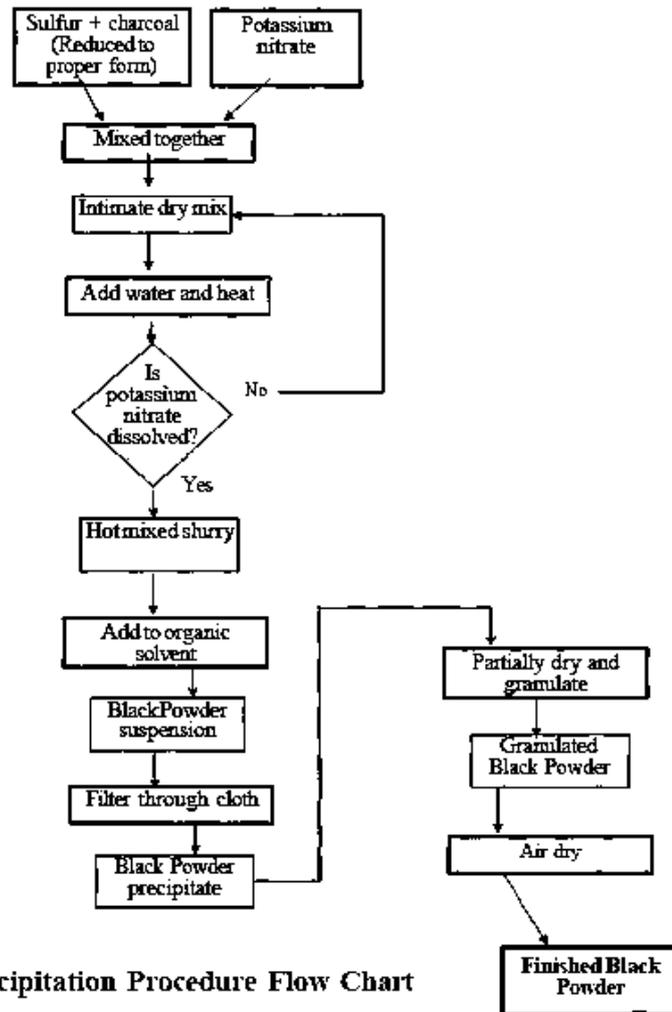


Figura 2-1: Diagrama de flujo del procedimiento de precipitación

Fuente: (Maltitz, 2003)

Método de precipitación 4

Es uno de los más recientes estudiados hasta el momento, aunque es un método no llevado a la práctica totalmente, su contribución para mejorarlo es favorable, brindando un estudio muy técnico y preciso para un sustento en posibles experimentaciones posteriores.

Igualmente como varios autores, se recomienda una molienda binaria y la correcta conminación de sus elementos, posteriormente la incorporación de los elementos en un reactor con fuerte agitación y con fuente de calor, al llegar al punto de ebullición del agua retirar rápidamente para vestirlo en otro recipiente donde estará el alcohol metanol recomendado previamente, congelado y con fuerte agitación se produce la extracción salina para luego retirarlo inmediatamente procediendo a su filtración, procurando no quitar completamente la humedad en la mezcla para un granulado húmedo. El proceso continúa con un prensado y secado para terminar con un acabado.

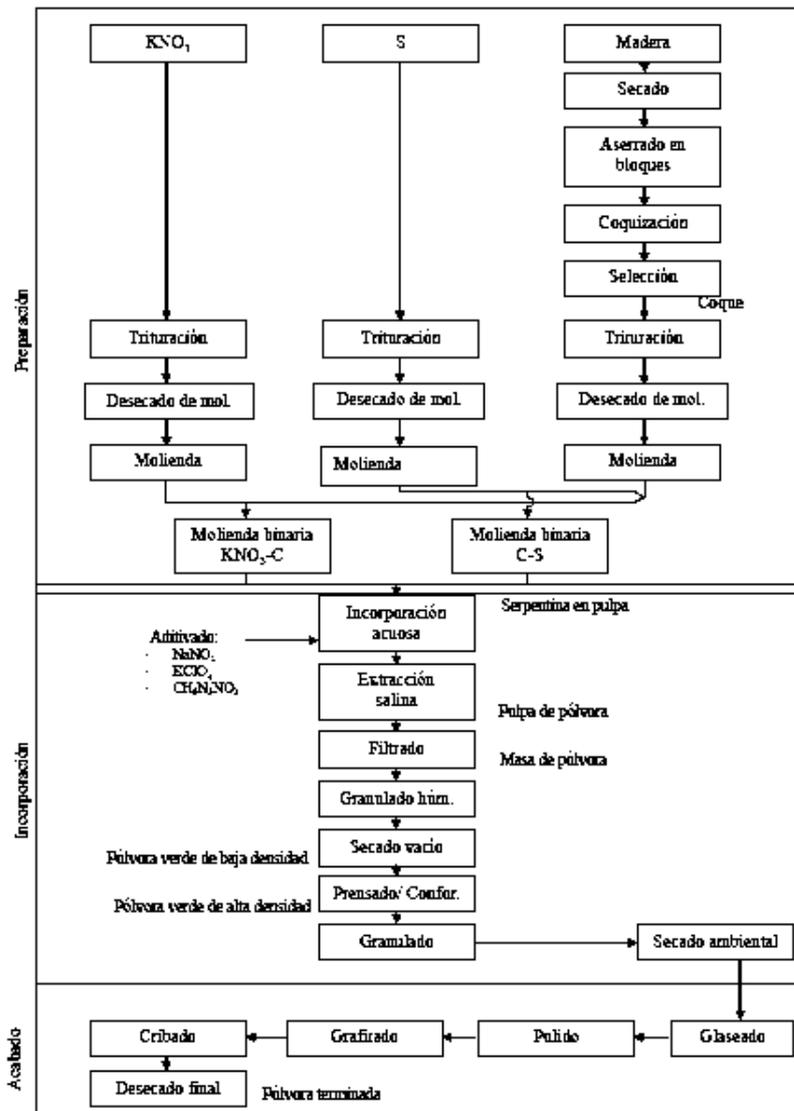


Figura 3-1: Diagrama de producción de pólvora por vía húmeda

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

El proceso describe un proceso ideal para conseguir su máxima velocidad por vía húmeda de pólvora salina, recomendando una formulación teórica de 80% KNO_3 , 13.5 % C y 6.5% S, la utilización del metanol correctamente enfriado, filtración por filtros metálicos, granulación húmeda, prensado posterior, secado al vacío y los subprocesos de acabado que consisten en un glaseado optativo con un exhaustivo control de temperatura, seguido de un pulido posterior al grafitado y el cribado para obtener distintas variedades de velocidad de la pólvora. (Crespo Prieto, 2015)

1.3.2 Ventajas y desventajas de la producción de pólvora por vía húmeda

La producción de pólvora a lo largo de los años se ha visto agravada debido a su problema de seguridad durante la elaboración y almacenaje, el riesgo de combustión y explosión indeseada en las producciones secas es alto, en consecuencia, se han implementado mejoras en su proceso. La humedad ha resuelto gran parte del problema en métodos por vía seca donde la misma es utilizada en mínimas cantidades para no comprometer resultados finales de la pólvora, la gran ventaja de utilizar la técnica húmeda es la disminución eminente de la peligrosidad que siempre ha estado presente en la elaboración de la pólvora por ello gran parte de personas relacionadas con el oficio han optado en poner en práctica el método, algunos de ellos sin resultados alentadores en lo que concierne a velocidades de combustión de modo que la principal desventaja es la aplicación técnica. Necesariamente se requiere un conocimiento competente en cuanto a solubilidades, cálculos de incorporación y extracción además, de demandar un mayor requerimiento de recursos humano en su manufactura. (Crespo Prieto, 2015)

Ventajas que nos proporciona el método de precipitación que no se puede encontrar en otros métodos son:

- Ofrece un método de entrada de nivel viable para aquellos que comienzan en la fabricación de polvo negro.
- No requiere máquinas o equipos especiales para fabricación de pólvora más lenta.
- No tiene el riesgo de explosión de otros métodos. (Maltitz, 2003)

Sus inconvenientes abarcan el uso de elementos extras para la fabricación de la pólvora, como son el agua y el alcohol en cantidades exactas, además de la necesidad de utilizar fuentes de calor y frío para la correcta extracción salina. Consecuentemente es una práctica económicamente más elevada que métodos de molienda ternaria, sin embargo sigue siendo un método totalmente viable, podemos decir que a esto se le agrega la dificultad de conseguir el extractor correcto debido a restricciones que se imponen en cada país para su uso, pero se lo puede descartar por la gran variedad de licores extractores que han resultado de gran eficiencia en el método.

La fabricación de pólvora por vía húmeda es un método totalmente eficaz, mejora su seguridad y obtiene resultados factibles de calidad, justifica totalmente las desventajas con su rendimiento por lo que lo hace un método viable para su práctica. El conocimiento del método es casi nulo en la pirotecnia artesanal por esta razón la introducción de la técnica abre nuevas fronteras para la manufactura de fuegos pirotécnicos despreocupando así al artesano del riesgo para la obtención de su material principal de trabajo y optimizando así su proceso de producción posterior.

1.4 Información De La Empresa

Pirotecnia Vizuite es una empresa que durante varios años se dedicada a la elaboración de juegos pirotécnicos en los que involucra la fabricación de cartuchos de pólvora, mechas, silbadores, luces, etc., manteniendo los procesos ancestrales que involucran en la elaboración de los mismos.

Aproximadamente hace cien años empieza la elaboración artesanal de fuegos pirotécnicos, con Manuel Martínez como propietario de la empresa, tiempo después se traspasado la empresa a Enrique Vizuite primo del dueño anterior, luego a Samuel Vizuite quien heredo a su hijo Víctor Vizuite, es así como esta empresa ha pasado de generación en generación, manteniéndose hasta la actualidad.

Actualmente se conservan los mismos procesos manuales es decir artesanales en la producción de la empresa por lo que se han venido suscitando a través del tiempo un sin número de accidentes. Al presente la empresa lleva laborando 20 años en el mercado manteniendo la tradición y la cultura de nuestro país con los diferentes productos que se elaboran.

En los últimos años se ha tratado de reducir los riesgos de accidentes con nueva materia prima sin embargo el riesgo está presente por lo que se busca automatizar los procesos de mayor peligro para de esa manera mejorar la producción y brindar seguridad tanto al personal que labora en la empresa como al cliente que adquiere el producto final.

1.4.1 Datos Generales.

Número de trabajadores: 9 personas

Ruc: 0603112384001

Direcciones: Cubijies Barrio La Dolorosa calles Chimborazo y Pedro Vicente Maldonado

Teléfono: (03)2323009 – (03)2323188

Producción promedio semanal de cartuchos de pólvora.

1500 unidades

Líneas De Producción De La Empresa

Fabricación de cartuchos de pólvora, mechas, silbadores, luces.

Situación actual de la empresa.

Producción Mensual:

- 4 castillos
- 10 vacas locas
- 500 unidades de voladores
- 500 ruedillas
- 200 figuras de luces
- 2000 tubos de cartón
- 100 kg de pólvora
- 10 contratos al mes

Estructura Organizacional

- Gerente (1)
- Obreros (4) Cargue de cartucho
- Obreros (4) mechas y luces.

1.4.2 Proceso De Producción En La Empresa Artesanal Pirotécnica Vizúete

Materia Prima

La materia prima se adquiere comprando a importadores que tenga a su disposición Nitrato de Potasio español o peruano, Azufre de Perú y se adquiere en la localidad carbón vegetal.

Almacenamiento de la materia prima

Se almacena en bodegas por sacos, estas son ventiladas, los sacos por otro lado se colocan sobre palets de madera, las mismas que poseen pared de ladrillo, techo frágil por lo que se opta por utilizar eternit, toda sustancia, así como los cartuchos de pólvora se almacenan en bodegas separadas. Cabe recalcar que la pólvora terminada no se almacena se la utiliza al momento que se hace el llenado del cartucho.

Fórmula

- 75% Nitrato de potasio
- 15% Azufre
- 10% Carbón vegetal

1.4.3 Instalaciones de la empresa pirotécnica Vizúete.

Ergonomía

De acuerdo con la norma vigente del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas queda terminantemente prohibido cualquier tipo de iluminación artificial solo se trabaja durante el día.

La ergonomía dentro del establecimiento de la empresa se encuentra categorizada de manera aceptable.

Área de trabajo

- Taller 1: 10 m de ancho por 15 m de largo
- Taller 2: 15 m de ancho por 6 m de largo

1.4.4 Seguridad En La Empresa Artesanal Pirotécnica Vizúete

Tipos de accidentes con respecto al manejo de la pólvora en la empresa.

- El 28 de Diciembre de 1998 realizando el llenado del cartucho de pólvora se produjo una chispa produciendo una explosión que cobro la vida de dos personas que se encontraban en el taller debido a la cercanía del llenado del cartucho con la pólvora restante.
- El 20 de Febrero del 2003 se produjo una explosión durante el llenado del cartucho quemando parte de la mano derecha y en menor porcentaje la mano izquierda de un trabajador.
- El 5 de diciembre del 2013 se produjo una explosión durante la compactación del cartucho de pólvora al dar un golpe demasiado fuerte en una de las capas, quemando el rostro y manos de quien realizaba la labor.

Cantidad de accidentes por año.

- 1 accidente por año

Problemas de seguridad que han identificado

Debido al proceso artesanal que se lleva a cabo, al chocar las varillas metálicas con la formula se corre el riesgo de producir una chispa que produce una explosión inminente.

Elementos de protección:

- Guantes antiestáticos
- Ropa u overoles 100% algodón
- Mascarillas anti gas anti polvo
- Gorra o casco
- Calzado antiestático

Infraestructura de protección del taller:

- Pisos de madera o tierra
- Barra antiestática a la entrada
- Techo frágil
- Antena para rayos
- Letreros de advertencia
- Extintores
- Localidad alejada de la población
- Extintores
- Tanque de agua
- Tachos grandes de arena
- Salidas de emergencia
- Ninguna instalación eléctrica

Métodos de protección:

- Descargar energía en la barra antiestática antes de ingresar al taller.
- Usar la ropa adecuada para la elaboración
- No ingresar con celulares ni otros objetos que generen energía
- Prohibido ingresar niños al taller

- Prohibido ingresar con alimentos
- Prohibido ingresar con mascotas

1.5 Automatización Industrial

El proceso de automatización surge desde los años 300 AC, como una forma de realizar movimientos programados de estatuas, brazos y relojes, los mecanismos usados eran puramente mecánicos, pero poco a poco evolucionaron en mecanismos de poleas accionados por manivelas, hasta el surgimiento del motor, impulsa al mecanismo por sí mismo dándole mayor autonomía. Poco a poco ha evolucionado como un entretenimiento para la realeza y para los sacerdotes que lo usaban como forma de dar vida a las estatuas de los Dioses, después se convertiría ya no en un entretenimiento sino en una necesidad para facilitar el trabajo de la persona, para restarle peligro, sumarle rendimiento, etc.

A mediados del siglo XX, los mecanismos automáticos ya eran usados, pero a pequeña escala hasta la segunda guerra mundial, donde ya se plantea un concepto más amplio de lo que es el control automático para procesos industriales, para sustituir al hombre en los trabajos rutinarios, peligrosos, cansados, etc. La industria vio en la automatización una forma más rápida de hacer producir productos a mediana y gran escala, sumando investigaciones para el desarrollo de la industria a través de la automatización de los procesos.

Cuando los procesos ya estaban mecanizados, se hacen varias tareas en un mismo punto, lleva menos tiempo de fabricación y menor costo. El otro lado de la moneda, el mantenimiento y la susceptibilidad del sistema a realizar una actividad sin tomar datos repentinos del entorno que pueden afectar su funcionamiento. Hoy en día la automatización ha evolucionado a pasos agigantados acorde a la aplicación y al tamaño en la industria.

La automatización es sustituir a un operario en las actividades o tareas que realiza durante un proceso, el mismo que se define como la transformación de un material al entrar a una serie de eslabones denominadas actividades teniendo como salida un producto.

1.5.1 Componentes de la automatización

Los componentes de un sistema de automatización son: los que recopilan la magnitud de una variable física denominados sensores, los que realizan las ordenes emitidas por el controlador llamados actuadores y la unidad de control o CPU que realiza la actividad lógica también conocida

como circuito de mando, de acuerdo a la información de los sensores, para así ordenar una tarea a cada actuador que se denomina circuito de potencia.

1.5.2 *Objetivo de la automatización*

La automatización busca mejorar la calidad, uniformidad, tiempo y productividad al menor esfuerzo realizado por el hombre, con la ventaja de menor susceptibilidad al error humano.

1.5.3 *Fases de la automatización*

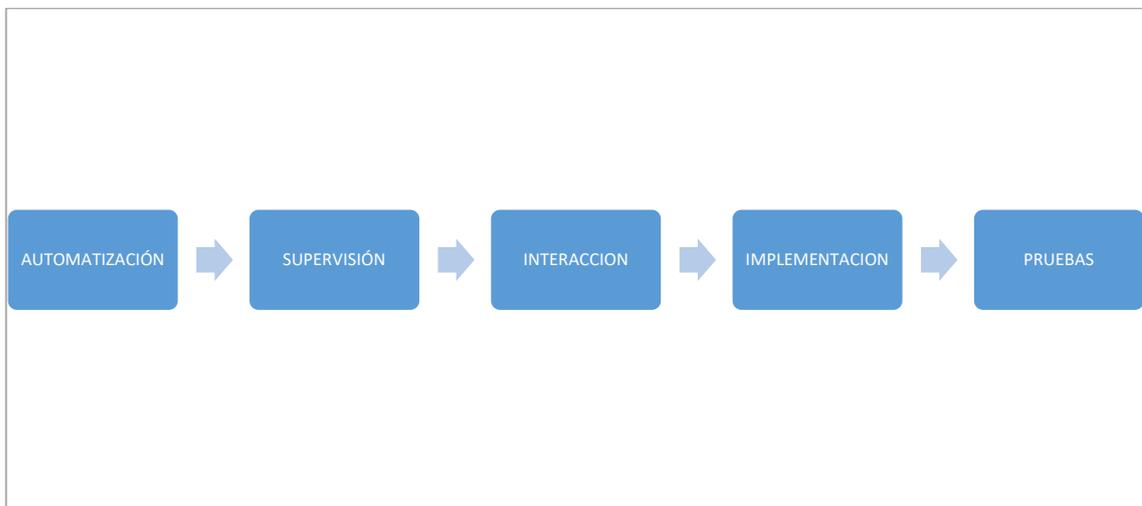


Figura 4-1: Fases para la automatización

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Automatización

En esta fase se realiza el GRAFCET, para realizar el esquema de funcionamiento de primer nivel, se escoge el controlador, los sensores y actuadores que se van a usar como entradas y salidas respectivamente. Por último, se realiza el GRAFSET de segundo nivel analizando los tipos de sensores y de actuadores a usarse en el automatismo.

Supervisión

En esta fase se recopila todas las especificaciones funcionales, de seguridad, de acuerdo a los sensores, módulos que se van a usar, además se detalla los posibles imprevistos que necesiten la intervención del ser humano, para realizar una maniobra durante el funcionamiento del automatismo: estas maniobras son: paro, maniobra y fallo que se van detallando junto al GRAFSET en una lista.

Interacción

Es la misma interacción entre el automatismo y el ser humano, aquí se denota el diseño del panel de mando. Aquí se hace una lista con las acciones necesarias para que el operario pueda poner en marcha o paro al automatismo, sea por botones, alarmas, etc. Este sabe cómo proceder con coherencia de acuerdo a que tan experto sea en el proceso para indicar todo lo necesario en el panel de mando.

Implementación

Es la parte práctica del desarrollo de un automatismo, consta de dos etapas fundamentales que son: Escogimiento del lenguaje de programación y programación, en la que se traduce del GRAFSET a código de bloques, contactos o línea de comandos, según el lenguaje utilizado.

Pruebas

Una vez realizada la programación en el controlador, se procede a realizar las pruebas de funcionalidad, en este punto hay que vigilar la evolución de cada etapa, se sugiere que se vaya realizando por etapas, para una mayor facilidad en el caso de hallar un error, la persona puede ir probando algoritmos parciales y añadir algún requerimiento que se ha omitido, puede darse el caso de un error, el mismo que se debe corregir inmediatamente para seguir con la fase de pruebas.

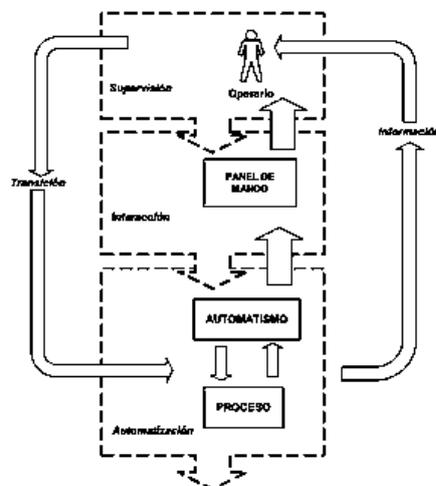


Figura 5-1: Fases para el desarrollo de una automatización

Fuente: <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

Por último, el operario de puesta a punto, toma en cuenta todas las etapas anteriores de forma modular, para revisar su funcionamiento para ir completando un análisis, para obtener una guía del automatismo realizado.

1.5.4 Niveles de la Automatización

Los diversos campos de la tecnología como la mecánica, electrónica, informática y eléctrica se hace un esquema denominado pirámide de la automatización, en cada nivel hay protocolos y normas que se manejan según el caso. Existe comunicación Inter niveles, se manejan protocolos de comunicación propios entre los niveles.



Figura 6-1: Pirámide de la Automatización.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Nivel1: Campo

Son aquellos equipos que se encuentran en contacto directo con el proceso de automatización. En este nivel están los sensores y actuadores.

Nivel2: Control

En este nivel se realiza el control y operación del proceso de acuerdo a los datos generados por los sensores para accionar las salidas, están los PLCs y PIDs.

Nivel3: Supervisión

En este nivel realiza la adquisición de datos, control y supervisión de los mismos, los visualiza (Sistema SCADA), se comunican directamente con los equipos manejados en el nivel2.

Nivel4: Gestión

Se maneja y administra todos los recursos: humanos y materiales de la empresa, a través de softwares de ordenador, exclusivos para la industria.

1.5.5 Elementos de una instalación Automatizada

Maquinas

Realizan el proceso, para realizar un producto, dentro del mismo lo movilizan, mueven, cortan, etc.

Accionadores

Los accionadores van unidos o acoplados a las máquinas para realizar la tarea de ensamblaje, movimiento, entre otros. Existen accionadores según la fuente de energética aplicada:

- Neumáticos. - Funcionan con energía neumática o aire comprimido.
- Hidráulicos. – Funcionan con energía de presión de agua o aceite.
- Eléctricos. - Funcionan con energía eléctrica por lo general usan bobinas para crear un campo magnético generando un movimiento para activar una salida.

Pre-Accionadores

Estos se usan para activar y controlar los accionadores como: contactos, switches y distribuidores neumáticos.

Captadores

Son aquellos que cuantifican una magnitud física y la transmiten a la unidad de control para ser procesadas según el automatismo.

Interfaz Hombre Maquina

Es la interacción entre el hombre y la maquina se la conoce como HMI (Human Machine Interface), puede realizarse con una botonera, teclados, pantallas, monitores, etc.

Elementos de mando

Es el dispositivo que realiza el control del proceso, conocido como unidad de control, comúnmente se trata de un PLC o relé programable.

1.5.6 Automatismos eléctricos.

Es el conjunto de circuitos eléctricos, que se usan para controlar un sistema destinado a realizar una tarea programada, el trabajo es motriz o calorífico, también puede ser en forma de alerta, sea luz o sonido.

Los automatismos eléctricos constan de dos partes fundamentales:

Circuito de potencia

Es el encargado de transmitir la energía al actuador, para que este realice el trabajo, entre los dispositivos de potencia usados tenemos los relés de potencia, contactores, transistores, etc.

Circuito de mando o maniobra

Este circuito se encarga de hacer el control, además realiza la maniobra manual por usuario con pulsadores selectores entre otros, realiza la apertura y cierre de contactos, lectura de sensores y temporiza en el caso de ser necesario.

La razón por la cual es indispensable separar el circuito de potencia con el circuito de mando, es por la forma de trabajo ya que el control se puede realizar a baja potencia reduciendo significativamente los costos, mientras que en el circuito de potencia exigen dispositivos de mayor robustez y tamaño.

Elementos de protección

Protegen al circuito de fallos, separa las líneas de alimentación del circuito, para evitar que se siga deteriorando, estos aparatos además cuidan a la persona de cualquier descarga o incendio, para su labor de protección existen:

- **Fusibles**
Son conductores que están ya calibrados para soportar una determinada corriente eléctrica, cuando esta corriente es superada, el conductor se abre dejando sin paso de corriente a través de él.
- **Relés térmicos y termomagnéticos**
Estos relés cambian de estado al sufrir una sobretensión o sobre corriente. Por su naturaleza de construcción, los contactos se abren debido a la dilatación por calor generando una curvatura en los contactos.
- **Interruptores automáticos**
Son dispositivos capaces de mantener, regular y establecer un límite de corriente permitiendo el normal funcionamiento. Hay dos tipos: Interruptores automáticos con protección magnética y con protección magnetotérmica.
- **Interruptores diferenciales**
Protegen a las personas cuando generan una corriente diferenciada al hacer contacto sobre la masa metálica, este aparato electromecánico, se abre cuando la corriente diferencial alcanza cierto valor, protegiendo a la persona de posibles descargas.

La sensibilidad de los interruptores diferenciales de acuerdo a la tabla:

Tabla 2-1: Sensibilidad Diferencial

SENSIBILIDAD MEDIA	100mA
	300mA
	500mA
	1 ^a
SENSIBILIDAD ALTA	6mA
	10mA
	30mA

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Fuente: Roldan S,2017.

Relés y contactores

Los relés son elementos electromecánicos, que tienen un contacto normalmente abierto y normalmente cerrado, es la posición en reposo. Se acciona cuando la bobina es excitada por un campo cambiando de estado el contacto de reposo y pasando de NA (Normalmente Abierto) a NC (Normalmente cerrado). Poseen dos partes que lo conforman: Circuito de excitación y circuito de conmutación.

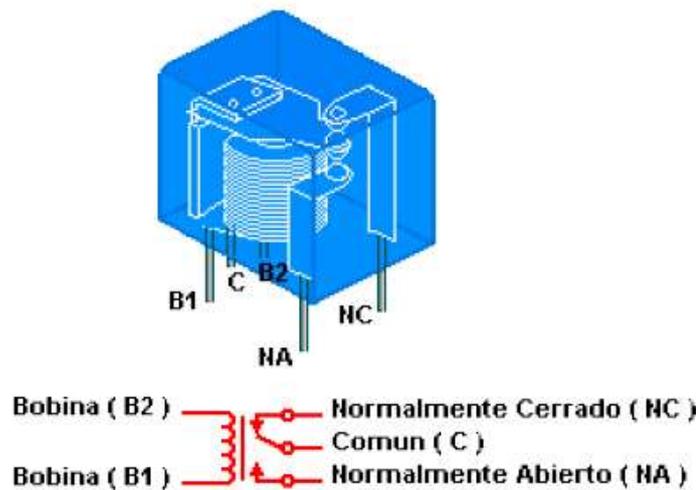


Figura 7-1: Relé y sus partes.

Fuente: <https://www.emaze.com/@AWOCWCRR/Untitled>.

Los Contactares accionan sus contactos cuando su bobina es excitada, dejando pasar o interrumpiendo el paso de la corriente eléctrica. Sus elementos son:

- Electroimán.
- Contactos principales.
- Contactos auxiliares.

Los bornes de conexión de los contactos principales se identifican con una sola cifra, del 1 al 16. Y de los contactos secundarios se identifican de la siguiente manera:

- Terminados en 1,2 son NC (Normalmente cerrados).
- Terminados en 3,4 son NA (Normalmente abiertos).
- Terminados en 5,6 son contactos de apertura temporizada.
- Terminados en 7,8 son contactos de cierre temporizado.

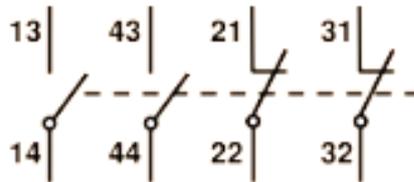


Figura 8-1: Numeración de los contactares NA y NC

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

1.6 Sistemas de control

La industria en su búsqueda por mejorar la producción, involucra tareas repetitivas a gran escala con el fin de que el operario realice una tarea específica, dando rienda a que se vaya perfeccionando, al introducir las maquinas como reemplazo al ser humano, trae consigo una problemática ya que todo el trabajo del ser humano debe ser realizado por la máquina, existen magnitudes que son medidas por los sensores, estos emulan los órganos de los sentidos de una persona. (Daneri, 2008)

Un sistema de control busca que las magnitudes que intervienen en la tarea, sean controladas con precisión, para que la tarea sea bien ejecutada, en cuanto a la automatización y control.

1.6.1 Sistema de control en lazo abierto

Un sistema en lazo abierto, funciona con una señal de control que previamente ha sido calibrada y no adquiere información de la salida, es decir no posee realimentación y su correcto funcionamiento depende de la calibración inicial, dejando al sistema de control a expensas de perturbaciones exteriores que alteran la salida del sistema.



Figura 9-1: Control en Lazo Abierto

Fuente: Basantes D, 2013, p.70

1.6.2 *Sistemas de control en lazo cerrado*

La variable control varía dependiendo directamente de la salida, para así corregir la señal en la salida afectada por las perturbaciones. El control en lazo cerrado se consigue haciendo una medición continua a la señal de salida con un sensor o también llamado transductor, este pasa la señal al controlador y este modifica la salida para mantener el valor de consigna o set point. Se lo conoce como: control en lazo cerrado, realimentado o en feedback.

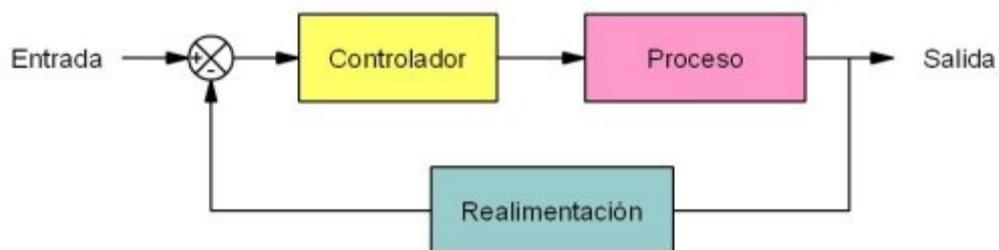


Figura 10-1: Control en Lazo cerrado.

Fuente: <https://sites.google.com/site/migueltecnologia/4o-eso-div/tema-6-sistemas-automticos>

1.6.3 *Sistema de control de dos estados on/off*

Este sistema varía en dos posiciones: encendido y apagado como un interruptor, no produce un valor exacto a la consigna, por lo que mantiene una señal de salida oscilante pero cercana al set point. Poseen un valor de histéresis, depende de la oscilación del sistema entre el estado de encendido y apagado, se usan generalmente en los controles de temperatura, además es posible implementarse un sistema PID, tomando en cuenta la histéresis que se produce durante el control.

1.7 **Controlador Lógico Programable (PLC)**

También conocido como PLC (Programmable Logic Controller, siglas en ingles). Es un dispositivo electrónico que sirve para realizar el control de procesos o una secuencia de acciones. (Borja Vega, y otros, 2013).

Aparecen en los años 1960, como una alternativa al control realizado por relés, contactares y temporizadores, que generalmente se basaban en lógica combi nacional. Debido al espacio que

ocupaban estos automatismos y a su dificultad de modificar en algo el proceso cuando ya está implementado el cableado, se tomó como alternativa implementar un CPU que realice el control lógico y que sea programable, versátil a la hora de realizar cualquier tipo de modificaciones y que tenga salidas de potencia debidamente protegidas.

El PLC cumple las operaciones de detección (sensores) y mando(control), hoy en día vienen con un número determinado de entradas y salidas. Las entradas dependen del sensor o dispositivo que se vaya a conectar, siendo analógicas y digitales, y las salidas dependen del actuador que se quiera conectar, por la velocidad de conmutación y potencia requerida las comúnmente usadas son: salidas por relé y por transistor.

1.7.1 Ventajas del PLC

- Fácil programación en comparación con los automatismos eléctricos
- Se puede realizar cambios interviniendo únicamente en la programación
- Más pequeño y barato
- Aumento de mayor productividad
- Mayor facilidad para el operador

1.7.2 Estructura general de un PLC

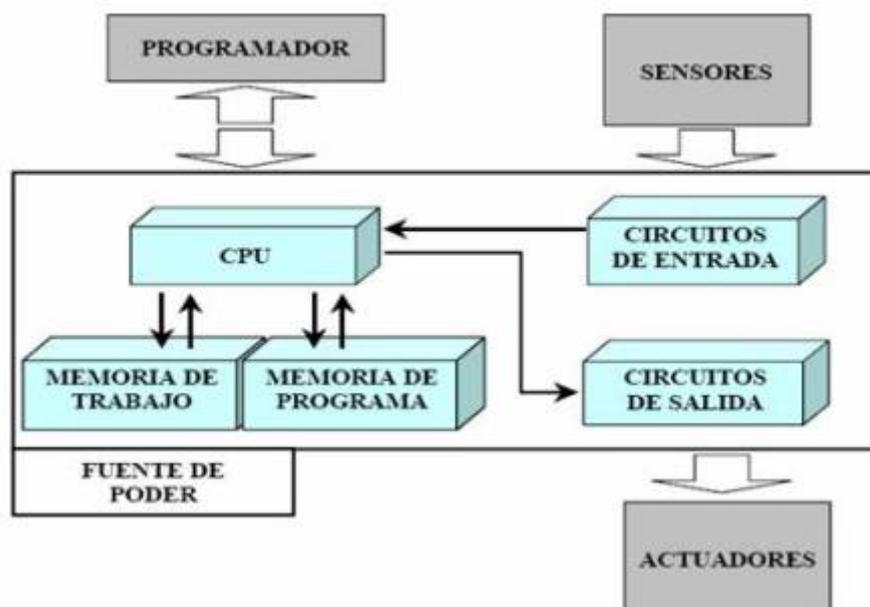


Figura 11-1: Estructura general de un PLC

Fuente: http://www.el.bqto.unexpo.edu.ve/lab_plc/paginas/estructura.html

Fuente de Alimentación:

Es el sistema que alimenta con CC a los circuitos electrónicos, tienen un sistema de conversión de energía de la red de 110 V AC a 24V CC.

CPU:

Es la unidad central de procesos o el cerebro que se encarga de procesar la información adquirida por los módulos de entrada salida y comunicación, y envía una respuesta en la salida como respuesta a la información adquirida.

Memoria del PLC:

Esta tarjeta permite almacenar la secuencia programada para ser ejecutada, además guarda los datos adquiridos por los módulos I/O. Posee una memoria RAM y ROM de capacidad de acuerdo al modelo del PLC.

Sistema de entradas y Salidas:

Este sistema tiene las entradas y salidas dependiendo del PLC, poseen desde un par de I/O hasta un gran número de I/O.

Las entradas reciben señales de los sensores para enviarlas al bloque de memoria o directamente al CPU. Los módulos permiten acondicionar los sensores para ser conectados de una fácil y versátil. Pueden leer sensores de 0 a 10V y de 4 a 20mA.

Las Salidas reciben las ordenes emitidas por el CPU, después de procesar las señales adquiridas por los sensores. Las salidas suelen ser de transistor o relé, en algunas tiene salida PWM.

Terminal de programación:

Permite a la persona que va a programar comunicarse con el sistema y poder modificar, verificar y observar el normal funcionamiento del PLC. (Barzallo Núñez, 2013)

Periféricos:

Permiten que la conexión realizada por el operario sea más fácil, sirven para intercambiar información y realizar la comunicación, como por ejemplo la comunicación RS 485, RS 232, IC2, Ethernet, etc.

1.7.3 Lenguaje de programación

Maneja las instrucciones para realizar internamente en el PLC las operaciones lógicas y de cálculo, existen varios tipos de lenguajes utilizados para programar PLCs.

GRAF CET

El lenguaje GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition por sus siglas en ingles). Es un lenguaje grafico que se basa en la representación gráfica del proceso, realiza por etapas que van avanzando por transiciones o procesos intermedios. Cada que una condición es verdadera, se produce una transición, y se realiza una acción, pasando a la siguiente etapa representada por un bloque. Es fácil de usar ya que es intuitivo para el programador.

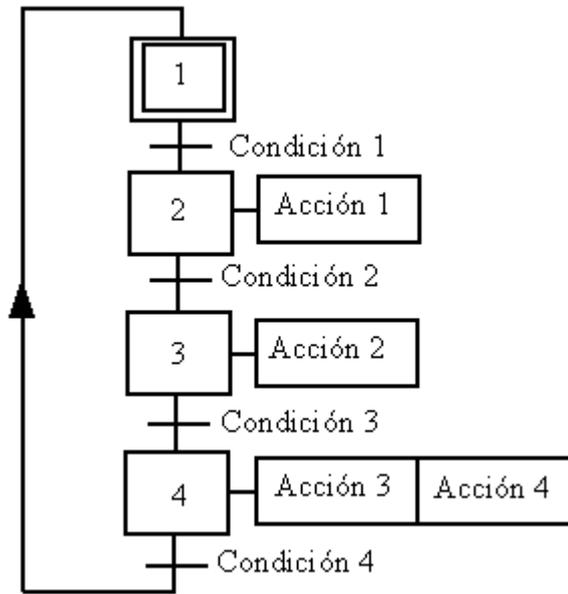


Figura 12-1: Etapas del GRAFCET

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/GRAFCET>

Lenguaje grafico de contactos (LD) (KOP):

Los símbolos son similares a los circuitos eléctricos, cada símbolo representa un operador con funciones específicas, se realiza de forma análoga a los automatismos eléctricos. (Borja Vega, y otros, 2013).

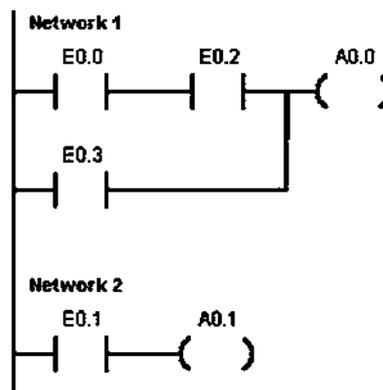


Figura 13-1: Lenguaje grafico de contactos.

Fuente: (Borja Vega, y otros, 2013 pág. 45)

Lenguaje grafico de funciones lógicas (FBD)(FUP):

Similar a la electrónica digital, de igual manera se va representando por bloques lógicos y uniendo de igual manera que se realiza en las simulaciones de sistemas digitales.

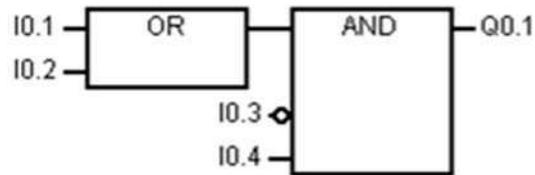


Figura 14-1: Esquema de funciones lógicas.

Fuente: http://138.100.80.137/wikifab/index.php/Tarea_1:_Puertas_l%C3%B3gicas_y_memoria

Lenguaje por lista de instrucciones:

Se va detallando cada acción línea por línea, basada en símbolos nemotécnicos similares al lenguaje de máquina.

Lenguaje estructurado (ST):

Este lenguaje se basa en los lenguajes Pascal y C, usan las estructuras de programación como: IF ELSE, FOR END, AND, OR, NOT, SWITCH CASE, etc.20

1.8 CONTROLLINO Arduino PLC

Es un nuevo dispositivo que funciona como PLC, basado en Arduino Open Source Software Tecnología. Tienen toda la funcionalidad de un Arduino común, por lo general tiene más entradas y salidas que un PLC normal, además algunas funcionalidades propias de Arduino, como el uso de todas sus librerías. (CONELCOM, 2017).

Controllino tiene una gama de 4 modelos distintos que se detallan a continuación:

1.8.1 Controllino MINI

Es el más pequeño de la gama. Tiene pocas entradas y salidas se lo utiliza en pequeñas aplicaciones. Sus características son:

- Microcontrolador: ATmega328
- Atmel Velocidad de reloj: 16 MHz
- RTC
- Interfaz en serie 1x

- Interfaz SPI 1x
- Interfaz I2C 1x
- Corriente de entrada máx. 8A
- 6x Relés Salidas - 230V / 6A
- 8x entradas digitales / analógicas
- Salidas digitales 8x - 2A @ 12V o 24V (CONELCOM, 2017)



Figura 15-1: Controllino MINI
 Fuente: <http://controllino.biz/controllino/mini/>

1.8.2 Controllino MAXI

Es conocido y usado por su flexibilidad en cuanto a I/O, sus características son:

- Microcontroladores: Atmega2560
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- RTC
- Conector Ethernet
- Interfaz en serie 2x
- Interfaz RS485 1x
- Interfaz I2C 1x
- Interfaz SPI 1x
- Corriente de entrada máx. 20A
- 10x relés de salida - 230V / 6A
- 12x Entradas digitales / analógicas
- Salidas digitales 12x - 2A @ 12V o 24V (CONELCOM, 2017)



Figura 16-1: Controllino MAXI

Fuente: <http://controllino.biz/controllino/maxi/>

1.8.3 Controllino MAXI AUTOMATION

A diferencia del Controllino MAXI este tiene más salidas a relé. Entre sus características están:

- Microcontroladores: Atmega2560
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- RTC
- Conector Ethernet
- Interfaz en serie 2x
- Interfaz I2C 1x
- Interfaz SPI 1x
- Corriente de entrada máx. 20A
- 12x Analógico / Digital entradas 0-24V
- **2x entradas analógicas 0-10V**
- 6x entradas digitales (2x Interrupción)
- 8x salidas digitales - 2A (PWM)
- **Las salidas analógicas - 2x 0-10 (0-20 mA)**
- 10x relés de salida - 230V / 6A (CONELCOM, 2017)



Figura 17-1: Controllino MAXI AUTOMATION

Fuente: <http://controllino.biz/controllino/maxi-automation/>

1.8.4 Controllino MEGA

Es el PLC más grande de la familia CONTROLLINO, usado para aplicaciones de gran tamaño y complejidad.

- Microcontroladores: Atmega2560
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- RTC
- Conector Ethernet
- Interfaz en serie 2x
- Interfaz RS485 1x
- Interfaz I2C 1x
- Interfaz SPI 1x
- Corriente de entrada máx. 30A
- 16x relés de salida - 230V / 6A
- 21x Entradas digitales / analógicas
- Salidas digitales 12x - alto interruptor lateral - 2A @ 12V o 24V
- 12x salidas digitales - Medio puente - 2A @ 12V o 24V (CONELCOM, 2017)



Figura 18-1: Controllino MEGA.

Fuente: <http://controllino.biz/controllino/mega/>

1.9 Plataforma Arduino

Es la plataforma para la electrónica Open Source (Codigo abierto), es sencillo de usar para proyectos simples hasta proyectos de alto nivel. Para programarlo el IDE de arduino funciona Como interprete, tiene un motor basado en un microcontrolador Atmel AVR. Gracias a su versatilidad para realizar proyectos puede tomar entradas analógicas y digitales además de comunicación I2C y Serial.

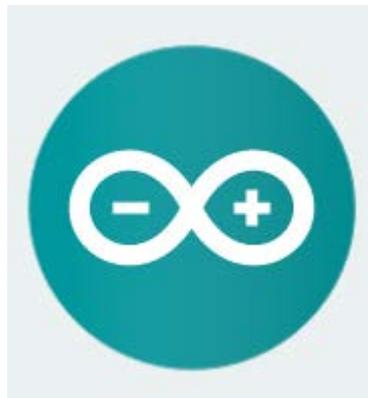


Figura 19-1: Plataforma Arduino.

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

1.9.1 *Arduino Hardware*

Es la placa compuesta por un chip o microcontrolador componentes electrónicos, puede ser adquirida o ensamblada ya que los planos electrónicos son de acceso abierto. Está compuesto por

el chip y por los pines de entrada y salida que son analógicos y digitales, en el caso de los analógicos de salida son PWM, trabajan a una tensión de 5 y 3.3V poseen un regulador interno. (Chancusig Chancusig, y otros, 2016 pág. 43)

Para la programación se conectan al puerto USB de la Pc y se puede realizar comunicación para programarlo y como comunicación entre la placa y el PC.

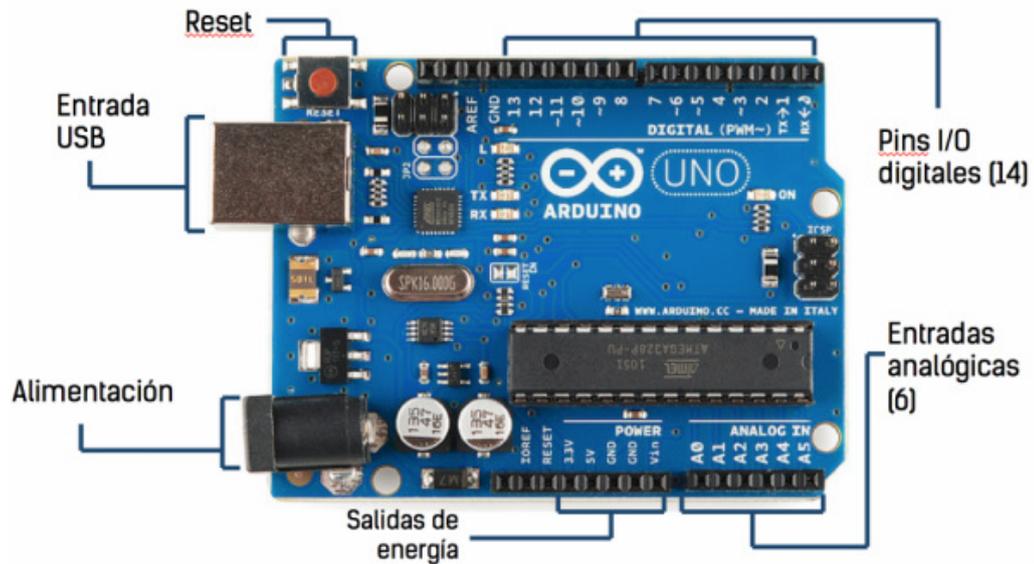


Figura 20-1: Partes del Arduino Uno.

Fuente: <http://www.nacionmaker.io/nacion/proyectos/empezando-a-trabajar-con-arduino/>

1.9.2 *Arduino Software*

El IDE de Arduino tienen varias funcionalidades previamente diseñadas para dar mayor facilidad al programador, está el lenguaje de programación processing, similar a C++, las bibliotecas de comunicación, las bibliotecas de Shield y módulos adicionales. No es el único editor para programar el Arduino, pero si es el más utilizado y que posee todas a las funcionalidades que por defecto vienen en cada Arduino.

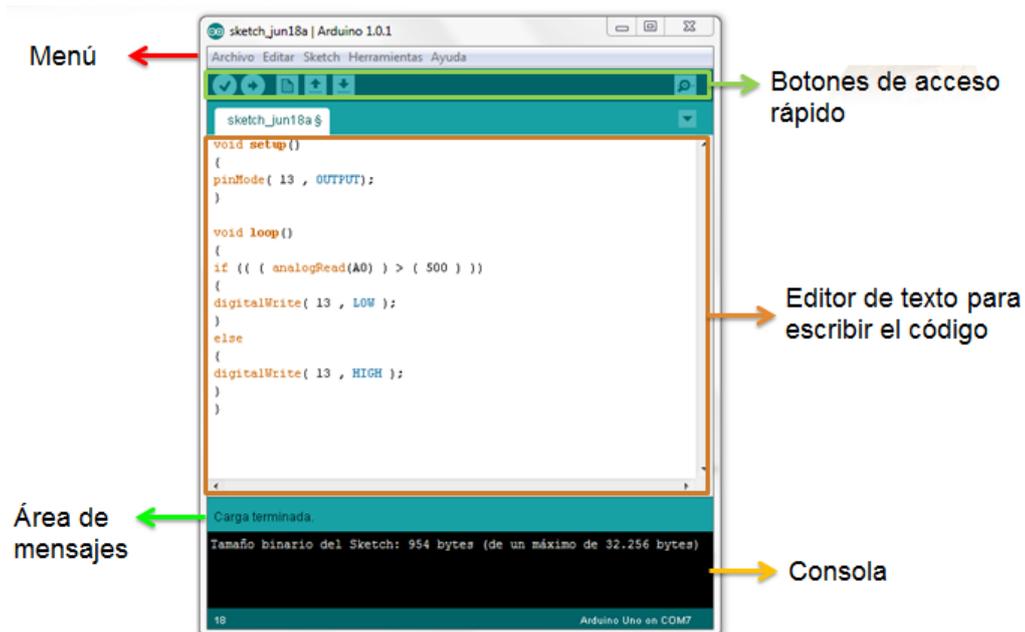


Figura 21-1: Software Arduino IDE

Fuente: <http://solorobotica.blogspot.com/2012/07/programacion-de-arduino-elide-de.html>

1.9.3 Comunicación.

La flexibilidad que brinda Arduino permite la adición de módulos que permiten agregar puertos que soportan varios tipos de comunicación además se puede implementar varias modalidades de comunicaciones inalámbricas.

Los tipos de comunicación más conocidos en Arduino son:

- UART (recepción-transmisión asíncrona universal)
- Ethernet TCP
- SPI (Serial Peripheral Interface)
- I2C Inter-Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados)
- RS232
- RS485
- Wifi
- Bluetooth

1.10 Sensores

1.10.1 Sensores de Caudal

Los sensores de caudal son instrumentos de medida volumétrica de un fluido que pasa por una determinada sección en un tiempo establecido, son dispositivos muy utilizados en la industria debido al alto control que se necesitan sus variables físicas implicadas.

Existen varios tipos de caudalímetros que utilizan diferentes principios para determinar el flujo de líquidos, entre los más conocidos tenemos:

- Tipo Venturi
- Caudalímetro electrónico de turbina
- Caudalímetro mecánico de molino
- Caudalímetro magnético
- CórteX



Figura 22-1: Caudalímetro electrónico de turbina.

Fuente: <http://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter>

1.10.2 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos indispensables en varias aplicaciones en la actualidad, consecuentemente existen varios tipos de sensores que infieren la temperatura por el cambio de alguna característica física en el interior del sensor.

Las principales clases de sensores de temperatura son:

- Termopares
- RTD
- Termistores
- Bimetálicos
- Por dilatación de fluido
- Por cambio de estado



Figura 23-1: Termopar tipo K.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-411839581-sonda-temperatura-termocupla-tipo-k-400-grados-arduino-_JM

1.10.3 Sensor de humedad de suelo

Para determinar el grado de humedad en diferentes tipos de terrenos se utilizan diferentes técnicas. Los métodos para medir la humedad en el suelo se clasifican como directos e indirectos. El método gravimétrico es el más exacto y mediante el cual se calibra los métodos indirectos. (Enciso, y otros, 2007).

Los sensores de humedad son dispositivos que determinan el contenido de agua en el suelo o en cierto material mediante el uso de diferentes características físicas que varían con la presencia de moléculas del agua. Los métodos indirectos de medida de humedad de suelos utilizan como variables la resistencia del material, la constante dieléctrica, la tensión o la succión de agua en el suelo y la presencia de hidrogeno, en consecuencia, la calibración y el uso de los diferentes tipos de sensores de humedad dependen considerablemente de la composición química del material.

Algunos sensores para determinar la humedad de suelo son:

- Sensores granulares de la matriz y bloques de yeso

- Sensores ECH_2O ®.
- EnviroSCAN®.
- Reflectómetro de dominio de tiempo (TDR)
- Tensiómetro
- Sondas de neutrones. (Enciso, y otros, 2007)

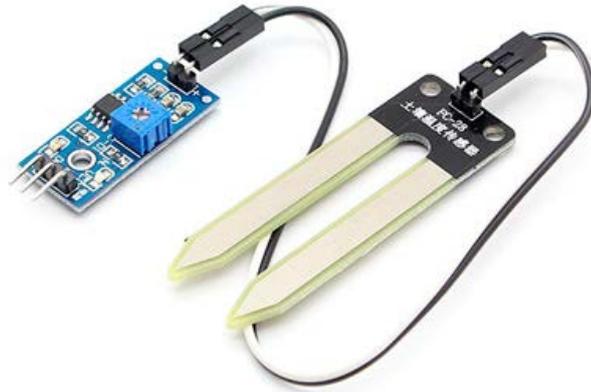


Figura 24-1: Sensor de humedad Suelo para Arduino.

Fuente: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/05/17/medir-la-humedad-del-suelo-con-arduino/>

1.11 Actuadores

1.11.1 Electroválvulas Hidráulicas.

La electroválvula hidráulica es un actuador electromecánico que permite el paso de un fluido en un circuito. Su simple construcción disminuye practicante el mantenimiento, y su carácter multifuncional la convierte en elementos imprescindibles en las redes hidráulicas para solventar problemas. (Course_default, 2007)

El principio de funcionamiento de la válvula se basa en la acción de un solenoide que mediante la magnetización permite convertir la energía eléctrica en energía mecánica, según el número de solenoides existen válvulas biestables y válvulas de acción con solo solenoide y se pueden clasificar como:

- Electroválvulas asistidas.
- Electroválvulas de tres vías.
- Electroválvulas sencillas.



Figura 25-1: Electroválvula.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-411707362-electrovalvulas-12-110-o-220-voltios-solenoides-de-bronce-_JM

1.11.2 Válvulas neumáticas

Las válvulas son elementos indispensables en un circuito neumático, tienen como función principal distribuir y regular el aire comprimido desde una fuente de alimentación neumática. En los sistemas de accionamiento neumático tenemos como los más usados:

- Válvulas distribuidoras
- Válvulas antirretornos o de bloqueo
- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas de flujo o velocidad (Creus Solé, 2007)

Los dispositivos de accionamientos neumático se pueden dirigir mediante diferentes métodos ya sean eléctricos, mecánicos, neumáticos o que funcionen de forma manual, las válvulas de distribución son las primordiales en un circuito neumático por ello existen válvulas de dos, tres, cuatro, cinco vías junto con dos o tres posiciones para adaptarse a los diferentes requerimientos de sistema a implementar.



Figura 26-1: Electroválvula 5/2.

Fuente: https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/17046_17087.htm

1.11.3 Cilindro neumático

Los dispositivos de acción principales en un circuito neumático son los capaces de producir un movimiento lineal. Este tipo de componentes son sencillos, de bajo costo y de fácil instalación (RENEDO, 2010), además toleran condiciones ambientales adversas como humedad y polvo.

La aplicación de los cilindros neumáticos generalmente son donde la fuerza y desplazamiento requieren en medida elevada, los diferentes tipos actuadores lineales son:

- Cilindro de simple efecto
- Cilindro de doble efecto
- Cilindro tándem
- Cilindro de multiposición
- Cilindro guiado
- Cilindro sin vástago
- Cilindro de impacto (Creus Solé, 2007).



Figura 27-1: Cilindro neumático.

Fuente: <http://fgmaquinarias.com.ar/repcilindros.php>

1.12 Mezcladores-Agitadores

Es una operación unitaria empleada principalmente para dispersar sólidos, líquidos o gases en líquidos, se emplea en muchas operaciones de transferencia de masa. Es de gran importancia en mucha fase del tratamiento de:

- Las aguas residuales
- Mezcla completa de aditivos químicos
- Mezcla de suspensiones líquidas
- Desinfección
- Floculación
- Homogeneización
- Transferencia de calor
- Proceso de digestión aerobia

1.12.1 Tipo de flujo en tanques agitados

Los tipos de flujo existen dentro de un tanque de agitación es determinado generalmente por el tipo de agitador, diseño del rodete, de las propiedades del fluido, del tamaño, proporciones geométricas del recipiente, de los deflectores y del agitador. (ProcesosBio, 2017)

Los tipos de flujo que se pueden presentar dentro de un tanque de agitación son:

- Flujo circular
- Flujo radial
- Flujo axial

El flujo circular es perjudicial para mezclar componentes por eso que este tipo de flujo se evitan en la industria, se reducen mediante el uso de deflectores. El flujo axial genera corrientes paralelas alrededor del reactor por eso son útiles cuando se necesita fuertes corrientes verticales y el flujo radial producen corrientes tangenciales, generan un movimiento axial entre el fondo y el techo

Los agitadores se pueden clasificar en dos grupos el primero se llama agitadores de flujo axial y el segundo agitadores de flujo radial. En la industria los tres tipos principales de agitadores son: de hélice, de paletas, y de turbina. Cada uno de estos comprende muchas variaciones y subtipos. (ProcesosBio, 2017)

Agitadores de hélice

- Son empleados en líquidos poco viscosos.
- Los agitadores más pequeños giran a 1.150-1.750 rpm y los más grandes giran a 400-800 rpm.
- Son de flujo axial y operan con velocidades elevadas.
- los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño, debido a la persistencia de las corrientes de flujo.

Agitadores de paletas

- Son agitadores formados por dos y 3 paletas.
- Giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, la velocidad está comprendida entre 20 y 150 rpm.
- Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores.
- Producen movimientos tangenciales y radiales

Agitadores de turbina

- Giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque.
- Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales.
- Son formados por múltiples paletas cotas.
- Producen un movimiento radial contra las paredes del tanque.

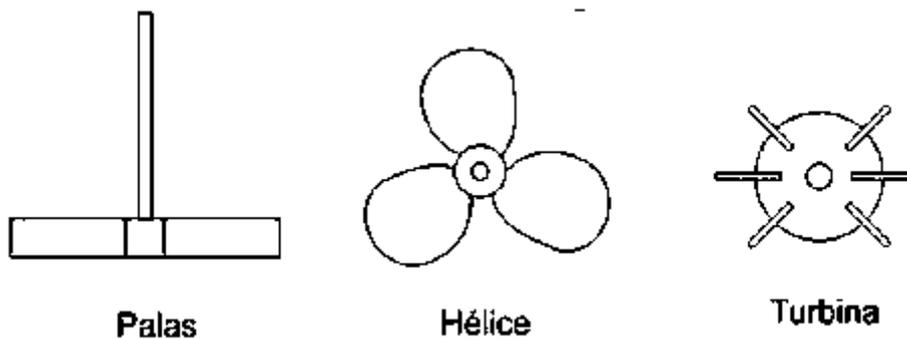


Figura 28-1: Tipos de Agitadores.

Fuente: (Colina, 2013)

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

En Latinoamérica la elaboración de pólvora es directamente artesanal, el proceso conlleva un riesgo inminente de ignición espontánea debido al método utilizado. En el Ecuador la falta de control de normativas vigentes ha desencadenado en accidentes graves, algunos con pérdidas humanas, este trabajo basándose en los objetivos del plan del buen vivir para transformar la matriz productiva, se pretende tecnificar el proceso de elaboración, con la implementación de un nuevo método automatizado, para mitigar los riesgos a los que los artesanos dedicados a la pirotecnia están expuestos durante la elaboración de pólvora negra.

Previo al diseño e implementación del sistema se realizó un análisis minucioso de los factores de riesgo y el procedimiento en el método utilizado, consiguiendo información detallada acerca de la producción, permitiendo así determinar garantías de seguridad requeridas de acuerdo a factores de riesgo estudiados. Se establecieron subprocesos de producción y las exigencias expuestas en cada uno de ellos para mantener la calidad y la seguridad del operador, para determinar las metodologías de elaboración necesarias para cumplir con los objetivos del proyecto.

A priori a la automatización del proceso de producción de pólvora por vía húmeda se procedió a la recopilación de información acerca del proceso de producción utilizada en taller artesanal de la pirotécnica Vizúete, con el objetivo de identificar los problemas de seguridad en la producción y las limitaciones del método implementado, además se acudió en visita de talleres pirotécnicos artesanales, donde mediante la observación y entrevista como técnicas de recopilación de datos se obtuvo información de diferentes técnicas de producción, sus ventajas y desventajas en cuanto a seguridad y calidad del producto, para así fundamentar el diagnóstico posterior realizado. Consecuente a la información recopilada se determinó la validez del método propuesto para su automatización y se procedió al diseño del sistema que garantice los requerimientos tanto del operario como del método, posteriormente se evalúa el sistema automático mediante la aplicación de un cuestionario entregado al operario del sistema.

Para las pruebas de patrones de cada sensor se utilizaron dispositivos de medida de volumen de agua, instrumentos de medida para temperatura como termocuplas y finalmente para evaluar la humedad final del producto obtenido se utilizó el método gravimétrico, el mismo que es un método directo de medida de humedad de suelos, así se pudo disminuir errores de calibración y funcionamiento, simultáneamente se procedió a evaluar los dispositivos del sistema en cuanto

tiempo de respuesta y la eficiencia de trabajo, para luego realizar el análisis global acorde a las necesidades del proyecto.

2.1 Proceso de fabricación de pólvora previo a la automatización.

Como antecedente un estudio previo y análisis de procesos de fabricación manuales, se pudo determinar el proceso de cada uno de los métodos de mayor uso en la pirotecnia artesanal, en los cuales el artesano interactúa en la gran mayoría de etapas de fabricación que generalmente se realiza con los componentes totalmente o parcialmente secos.

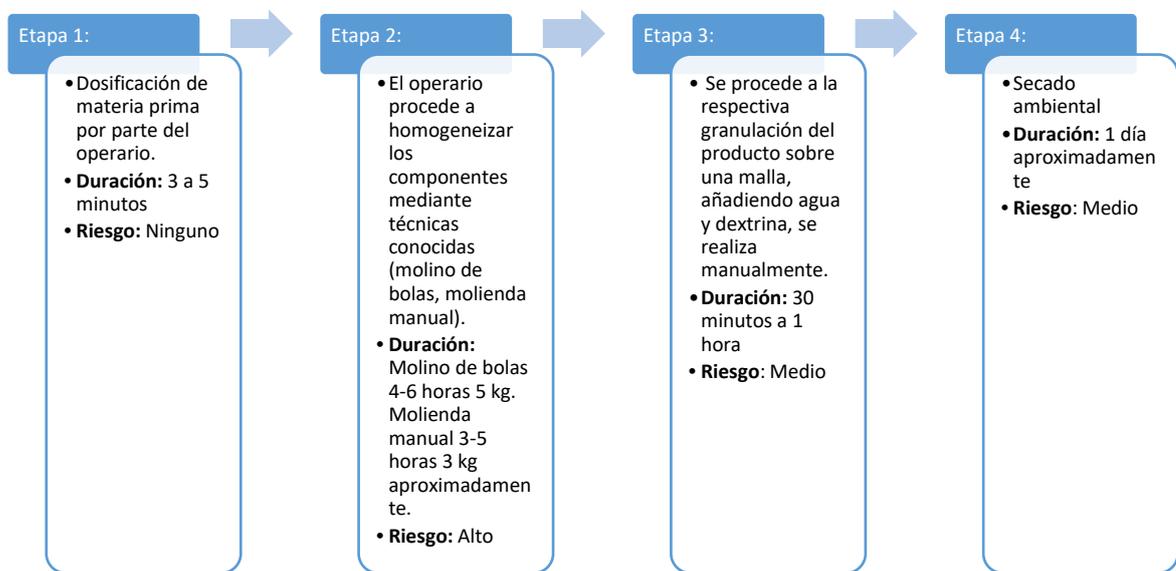


Figura 1-2: Etapas de fabricación artesanal de pólvora por vía seca.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

En la figura se puede observar la intervención del artesano en todas las etapas por lo tanto se convierte en un procedimiento de alto riesgo para el que interviene en la fabricación, además de complejo y con tiempo de producción alto. Algunas de las etapas expuestas anteriormente son dependientes de diferentes factores tales como: condición ambiental en el caso de la etapa 4, reglamentos estipulados en la manipulación de productos explosivos e inclusive el temor que existe al trabajar bajo condiciones inadecuadas.

La técnica de fabricación de pólvora por vía húmeda soluciona la mayor parte del problema de seguridad que encontramos en el método tradicional, la desventaja principal del método es la precisión y el conocimiento técnico que se necesita para su aplicación conjuntamente con el aumento en la dificultad y etapas de elaboración. En la Figura 2-2 expone la elaboración manual de pólvora por vía húmeda en la cual en algunas de sus etapas se añade pasos que optimizan su

resultado los cuales también se pueden obtener con procesos de acabado posteriores en donde el producto está totalmente seco por lo tanto el riesgo aumenta.

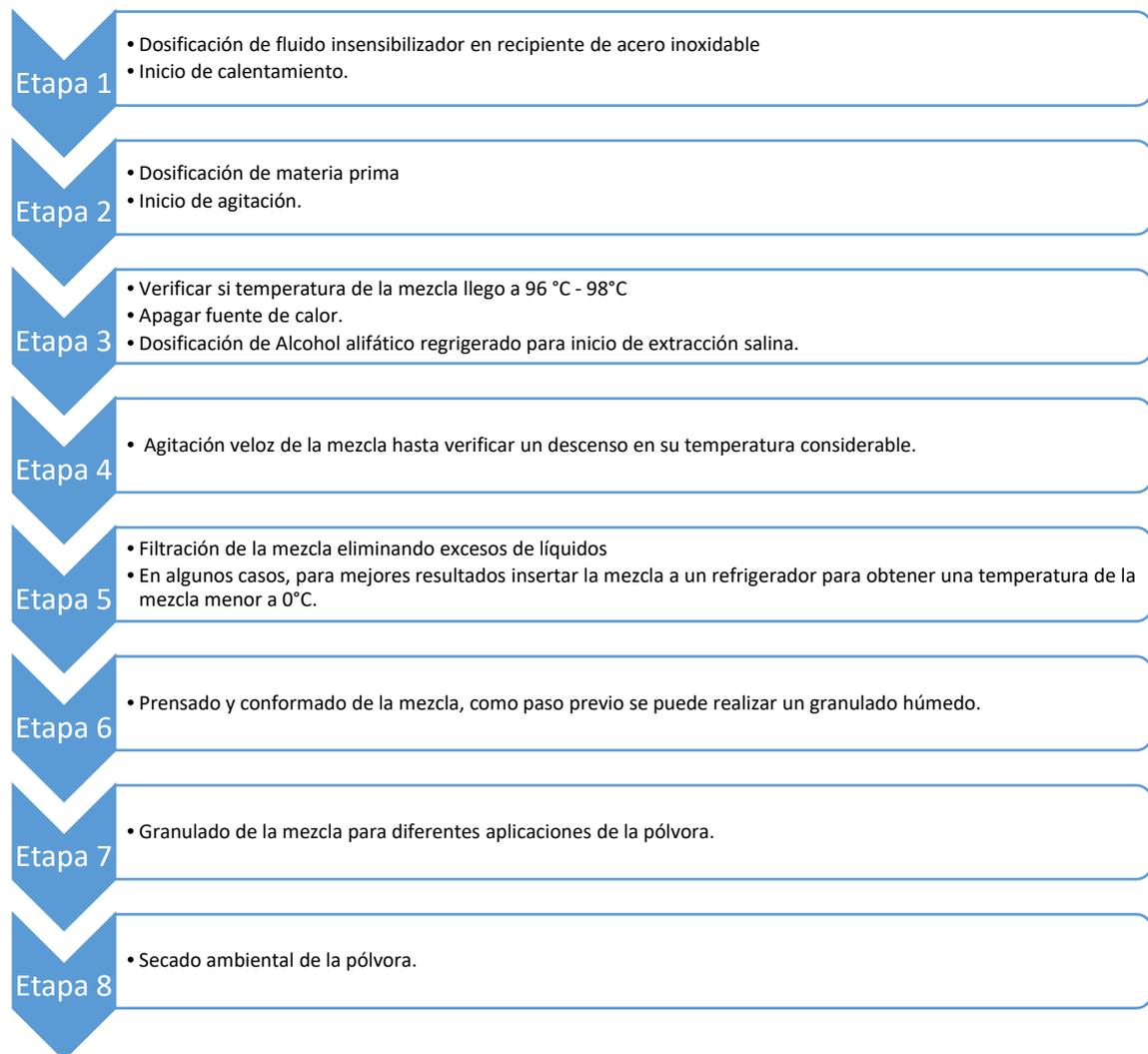


Figura 2-2: Etapas de fabricación de pólvora por vía húmeda.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.2 Proceso químico por vía húmeda, cálculo de dosis y variables a controlar

El proceso de elaboración busca unir estos tres elementos para formar enlaces entre estos. En el método seco se lo hace por conminución a fuerza, generando fricción en consecuencia aumenta la temperatura llegando a ser peligrosa, en el método húmedo se añade una cantidad de líquido para insensibilizar a las condiciones de ignición, este método es más complejo, si se lo hace de manera correcta dará como resultado una pólvora de mejor calidad.

La pólvora es una mezcla de tres elementos:

- El nitrato de potasio. - Esta sal cumple la función de oxidante y comburente.
- Coque. - Hace las veces de reductor y combustible, debido a su alto valor energético y alta porosidad, facilita la impregnación de las moléculas de nitrato sobre el grano de coque.
- Azufre. - Es el elemento que se usa como aditivo a la mezcla de nitrato y coque, tiene un efecto catalizador, baja la temperatura de ignición de la pólvora.

La ventaja de la vía húmeda está en que la sal deflagrante (KNO_3), al ser diluida en agua se convierte en grano ultra fino que supera por mucho al molido usado en la vía seca, en cuestión de cominución los sus elementos, esta pulpa humedecida busca precipitar el nitrato rápidamente para formar la pólvora negra que es incapaz de inflamarse.

Dentro del procedimiento por vía húmeda existen etapas definidas, las cuales se hacen referencia para el desarrollo del proceso.



Figura 3-2: Gráfico del proceso por vía húmeda.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015).

Para el desarrollo es necesario tener clara las etapas del proceso de fabricación, las variables a controlar para mantener la calidad final de la pólvora. El procedimiento por vía húmeda describe tres fases: Preparación, Incorporación y Acabado, Se hace un énfasis en la incorporación por ser la parte más compleja y peligrosa al obtener una pólvora de calidad.

2.2.1 Preparación.

Esta etapa se puntualiza en la obtención de los tres elementos: Nitrato potásico, coque y azufre, su tratamiento, a fin que lleguen de la mejor calidad a la etapa de Incorporación.

Preincorporación.

Es una fase dentro de la etapa de preparación, se lo ha considerado importante para garantizar la calidad del producto final a elaborarse.

Busca conminuir los polvos en mezclas binarias que no son de fácil ignición, se pueden realizar en un molino de bolas, comúnmente usados en la pirotecnia artesanal. Hay dos mezclas binarias (Nitrato-Coque) y (Azufre-coque), se busca que los granos de Nitrato potásico se inserten sobre la porosidad del coque, de la misma manera que el grano de azufre.

Esta etapa no es peligrosa al tener solo dos elementos de los tres necesarios, será el punto de partida, pero no se incluye en la automatización debido a que las condiciones son totalmente seguras para el manejo y los costos de automatizar esta etapa elevarían innecesariamente, siendo poco práctico, únicamente se mencionara el proceso, proporciones y manejo recomendado para realizar estas mezclas binarias.

Cálculo de incorporación binaria

Las proporciones para la mezcla binaria tomado de la ecuación vectorial de (Crespo Prieto, 2015 pág. 110) y desarrollada para cualquier receta. Las mezclas binarias (N-C) y (S-C) denominada mezcla 1 y 2 respectivamente a proporción 95% para la 1 y 5% para la dos, estos porcentajes sacados de la masa total de pólvora negra que se va a elaborar.

$$\begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.05 \\ 0 \end{pmatrix} a + \begin{pmatrix} 0 \\ x \\ y \end{pmatrix} b = \begin{pmatrix} Pn \\ Pc \\ Ps \end{pmatrix}$$

Ecuación 1-2: Ecuación vectorial molienda binaria.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015).

Donde: a: % mezcla binaria 1

b: % mezcla binaria 2

x: % coque Mezcla 2

y: % azufre mezcla 2

Pn: % nitrato total

Pc: % coque total

Ps: % azufre total

Desarrollando la ecuación vectorial en un sistema de ecuaciones por el método de sustitución.

$$a = \frac{Pn}{0.95} x 100\%$$

$$b = (1 - a) x 100\%$$

$$y = \frac{Ps}{b} x 100\%$$

$$x = (1 - y)x100\%$$

Procedimiento para realizar el cálculo de las mezclas binarias.

1. Establecer la receta a realizar, ejemplo (75% KNO₃, 15% Coque, 10% S) para 1Kg, corresponden los valores de Pn, Pc, Ps respectivamente.

$$\begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.05 \\ 0 \end{pmatrix} a + \begin{pmatrix} 0 \\ x \\ y \end{pmatrix} b = \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.15 \\ 0.10 \end{pmatrix}$$

2. Con los datos de proporción de la receta, más los valores recomendados de 95% y 5% (Crespo Prieto, 2015) para la mezcla 1, realizar el cálculo de a, b, x, y de acuerdo a las ecuaciones respectivas para 1000g de pólvora (1Kg).

$$a = 79\% \quad b = 21\%$$

$$x = 52\% \quad y = 48\%$$

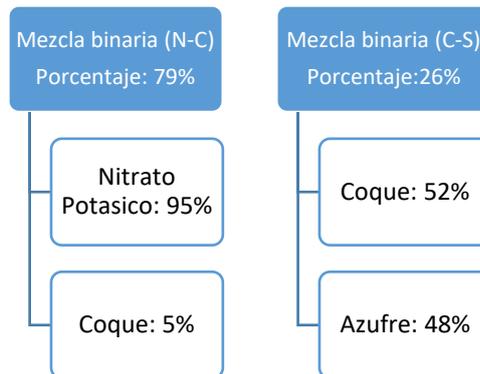


Figura 4-2: Diagrama para dosificación de los elementos en las mezclas binarias.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 1-2: Proporciones para la mezcla.

CANTIDAD=1Kg en proporción 75-15-10		
Nitrato potásico	75%	0.75g
Coque	15%	0.15 g
Azufre	10%	0.1 g

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015).

Tabla 2-2: Tabla de calculo de masa para las mezclas binarias.

Elemento	MEZCLA BINARIA 1		MEZCLA BINARIA 2	
	Porcentaje (%)	Masa (Kg)	Porcentaje (%)	Masa (Kg)
Nitrato Potásico	95%	0.75Kg	--	--
Coque	5%	0.04Kg	52%	0.11Kg
Azufre	--	--	48%	0.10Kg
TOTAL	79%	0.79Kg	21%	0.21Kg

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.2.2 Incorporación

Hay tres procedimientos fundamentales en esta etapa para hallar las dosis de cada elemento, siempre que la calidad no se vea afectada.

- 1- Incorporación Acuosa
- 2- Extracción Salina
- 3- Filtrado
- 4- Granulado
- 5- Secado

Incorporación Acuosa

Sobre un reactor se agrega las mezclas binarias ya conminuidas, a estas mezclas es conveniente agregar la mínima cantidad de agua, el volumen depende de la masa del material en el reactor, la mezcla se calienta para que el agua disuelva por completo al nitrato y se produzca la conminución de los tres elementos, una vez que la temperatura llega al punto máximo de disolución del agua, se retira la fuente de calor terminando esta fase y pasando a la extracción salina.

Dosificación de Agua

El cálculo se lo realiza de acuerdo a la cantidad de nitrato potásico KNO_3 , el agua es el solvente para esta sal, la dosis va de acuerdo a la solubilidad del nitrato en agua. La temperatura hace que la solubilidad del agua suba notablemente, por este motivo es necesario calentar el reactor para que el agua alcance su mayor nivel de solubilidad, este punto máximo es el punto de ebullición, a partir de este, la temperatura no sube considerablemente y el agua empieza evaporarse. La cantidad de agua depende de la masa de nitrato en el reactor, se ha tomado de (Crespo Prieto, 2015 pág. 115), la función interpolada de segundo grado con coeficiente de correlación $R^2 > 0.993$.

$$S = 0.0171T^2 + 0.5253T + 14.839$$

Ecuación 2-2: Interpolación de segundo orden para incorporación acuosa.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

dónde:

T=temperatura del reactor [°C]

S=Solubilidad del nitrato en Agua [g/100ml]

De esta ecuación se halla la cantidad de agua después de desarrollar la ecuación se tiene la cantidad de agua en ml.

$$V_{H_2O} = \frac{100 \times \%KNO_3}{S} [ml]$$

dónde:

V_{H_2O} : Volumen de agua en [ml]

S: Solubilidad a temperatura de ebullición del agua. [g/100ml]

%KNO₃: es el porcentaje de Nitrato potásico de la mezcla.

Temperatura

La temperatura objetivo es la temperatura de ebullición del agua, a esta temperatura el agua alcanza su máximo poder de disolver el nitrato. El procedimiento por vía húmeda sugiere que se use la mínima cantidad posible de agua, la manera de hacerlo es alcanzando la temperatura máxima del agua antes que se evapore. (Valenzuela, 2008)

La Temperatura a alcanzar es la ebullición del agua, en la ciudad de Riobamba parroquia Cubijies está a una altura de 2501 m.s.n.m según (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Cubijies, 2003), agua necesaria el punto de ebullición a aproximadamente 2500m.s.n.m es: 91.8 [°C], es el punto al que se debe llegar. A esta temperatura se le debe adicionar la temperatura por la presencia del azufre y coque, aproximadamente de 3[°C] teóricos, lo que llegara a una temperatura de 94.8[°C].

La solubilidad del agua a temperatura de ebullición $\approx 95[°C]$ da una solubilidad de 219 [g/100ml], sustituyendo este valor numérico en la ecuación de V_{H_2O} para una proporción (75 15 10) es de 34.23 % de la masa de nitrato.

Tabla 3-2: Punto de ebullición del agua y presión según la altitud. NOAA-NASA.

Altitud [m]	Presión atmosférica [Pa]	Presión atmosférica [hPa]	Presión atmosférica [mmHg]	Temperatura para igualar la presión de vapor a la atmosférica [°C]	Temperatura (agua) [°C]	Presión de vapor (agua) [mmHg]
0	101.325	1.013,25	760,00	100	100	760,65
100	100.120	1.001,20	750,96	99,8	98	707,925
200	98.945	989,45	742,15	99,5	96	658,2825
300	97.772	977,72	733,35	99,2	94	611,5575
400	96.611	966,11	724,64	98,8	92	567,63
500	95.461	954,61	716,02	98,5	90	526,365
600	94.322	943,22	707,47	98,2	88	487,6275
700	93.194	931,94	699,01	97,8	86	451,2975
800	92.077	920,77	690,63	97,5	84	417,2625
900	90.971	909,71	682,34	97,2	82	385,4025
1.000	89.876	898,76	674,13	96,8	80	355,605
1.500	84.559	845,59	634,24	95,2	70	234,0075
2.000	79.501	795,01	596,31	93,5	60	149,595
2.500	74.691	746,91	560,23	91,8	50	92,64
3.000	70.106	701,06	525,84	90,2	40	55,38675
3.500	65.764	657,64	493,27	88,5	30	31,8525
4.000	61.640	616,40	462,34	86,8	20	17,54475

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

A esta cantidad de agua necesaria para disolver el nitrato potásico, se le va a adicionar el volumen de agua que se va a perder por evaporación experimentalmente (Crespo Prieto, 2015) sugiere que la perdida es de 20ml a 50ml de acuerdo a las condiciones del reactor, presión atmosférica y nucleación. Esta cantidad de agua evaporada se puede calcular como $\varphi = 33\%$ para temperaturas cercanas al punto de ebullición.

Para hacer mención al volumen que se evapora en todo el reactor se usa la ecuación extrapolada de la tasa de evaporación del agua en un reactor esférico descrita por (Crespo Prieto, 2015).

$$R_{ev} = t \cdot A \cdot (3.945990323 \times 10^{-8} T^2 - 2.630660214 \times 10^{-7} T^2 - 0.00001315330108 T - 0.000003945990323)$$

Ecuación 3-2 Tasa de evaporación del agua en un reactor esférico.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

Donde:

R_{ev} : Tasa de evaporación $[\frac{ml}{min \times cm^2}]$

t: tiempo de calentamiento [min]

A: Área de la base del reactor $[cm^2]$

de la ecuación hallamos la tasa de evaporación de agua dado un tiempo de 50 [min] con una temperatura de 94.8 [°C] y el área de la base de 415.47 [cm^2].

De la ecuación obtenemos la pérdida de volumen de 623.28 ml.

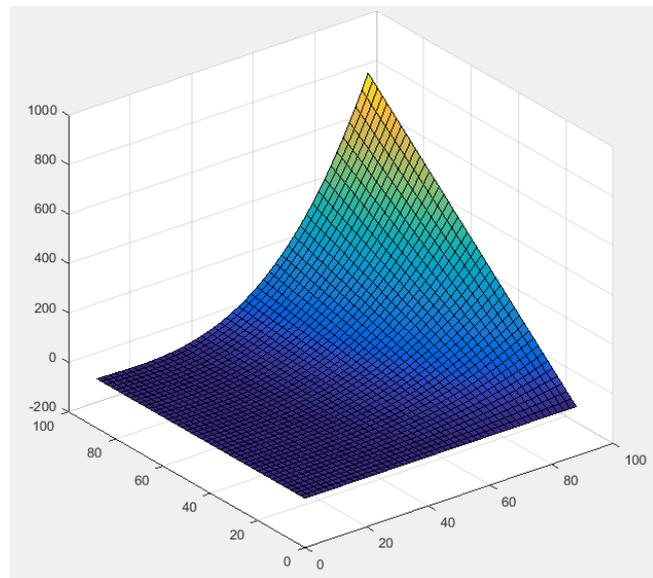


Gráfico 1-2: Tasa de evaporación de la marmita de diámetro de 23 cm.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.2.3 *Extracción Salina*

Se realiza al expulsar el solvato, con alcohol alifático (Metanol), es el escogido para este proceso por sus características idóneas para el arrastre de las sales impidiendo que los cristales crezcan dañando la calidad de la pólvora.

Al llegar al punto máximo de solvatación en la incorporación acuosa, la pulpa está a temperatura de ebullición, el alcohol debe estar a punto de congelación del agua 0°C, al enfriar baja la temperatura aproximadamente a la del ambiente, es decir 20°C, del gráfico vamos a trabajar con la curva correspondiente a la temperatura ambiente (roja) para dosificar el alcohol alifático (Metanol), y evitar el recalentamiento de la masa evitando la recristalización que afecta a la calidad.

La cantidad de metanol para el arrastre va de acuerdo a la temperatura en la que se encuentre.

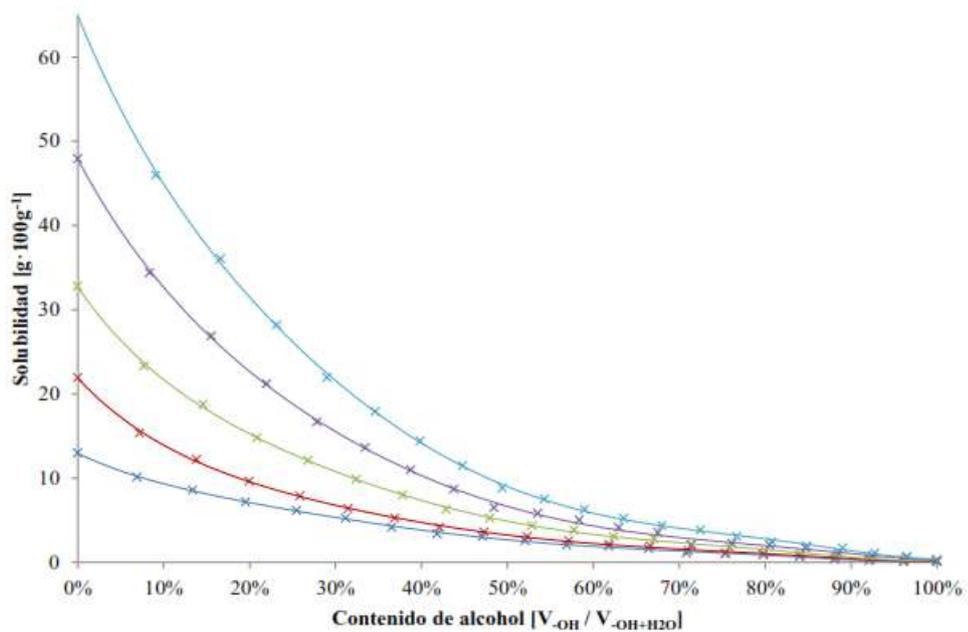


Gráfico 2-2: Diagrama KNO₃-H₂O-CH₃OH politérmico (0-10-20-30-40 °C) de saturación.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015 pág. 134)

De acuerdo a la curva enmarcada con color rojo, tomamos la ecuación interpolada por el autor, para tener la dosis de alcohol.

$$T(20^{\circ}\text{C}) = 470.4x^6 - 1521.3x^5 + 1926.5x^4 - 1247.9x^3 + 487.77x^2 - 147.94x + 32.696$$

con $R^2 = 0.9996$

Ecuación 4-2 Ecuación de curva interpoladas para obtener volumen de licor extractor.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

De la curva tomamos un valor donde la solubilidad es baja y resulta aceptable para generar el arrastre, sugiere que sea mayor al 35%.

De la relación para hallar el porcentaje se puede hallar fácilmente el volumen de alcohol a añadir en la mezcla:

$$\frac{V_{alcohol}}{V_{alcohol} + V_{agua}} = \%Alcohol$$

$$V_{alcohol} = \frac{V_{agua}}{(1 - \%Alcohol)}$$

Con el 60% de alcohol, $V_{alcohol} = 2,5V_{agua}$, correspondiente al volumen final al alcanzar el punto de ebullición, es decir 623.28 ml de pérdidas por evaporación, y 342.3 ml necesarios de agua en

una composición 75 15 10, resulta un volumen total de 965.48 ml de agua, después de la incorporación acuosa baja a los 342.3ml y es el valor teórico final de agua en la masa.

$$Valcohol = \frac{342.3 \text{ ml}}{(1 - 0.6)}$$

$$Valcohol = 855.75 \text{ ml}$$

2.3 Proceso de fabricación de pólvora por vía húmeda posterior a la automatización.

En busca de garantías de seguridad en la elaboración de pólvora se opta por la automatización de las etapas que generan mayor peligro, para lo cual basados en la investigación previa el método de fabricación por vía húmeda, nos brinda los requerimientos de seguridad estipulados.

Debido a la ley impuesta en el Estado Ecuatoriano sobre manipulación de productos explosivos y normas de seguridad en fabricación de pirotecnia artesanal, resulta complicado la automatización del proceso de fabricación del producto, en donde los componentes homogenizados de la pólvora se encuentren en estado absolutamente seco, debido a que son métodos impredecibles en condiciones inadecuadas, al mismo tiempo que el costo para viabilizar su automatización es muy elevado.

El método húmedo es técnicamente complejo en comparación a otros procedimientos por esta razón goza de precisión además de varias etapas para su optimización, algunas de sus etapas no implican un riesgo mayor de seguridad en la fabricación y tampoco influyen excesivamente en la calidad de método por consiguiente se justifica su elaboración manual y puede ser excluido para un proceso de automatización reduciendo así costos de producción. La etapa de incorporación es fundamental para obtener resultados deseados en la pólvora, por este motivo el sistema automático efectúa el proceso que garantice la fidelidad de la misma y entregue un producto con características necesarias para posteriores etapas como la granulación y etapas de acabado, que generalmente se realizan con el producto definitivamente seco.

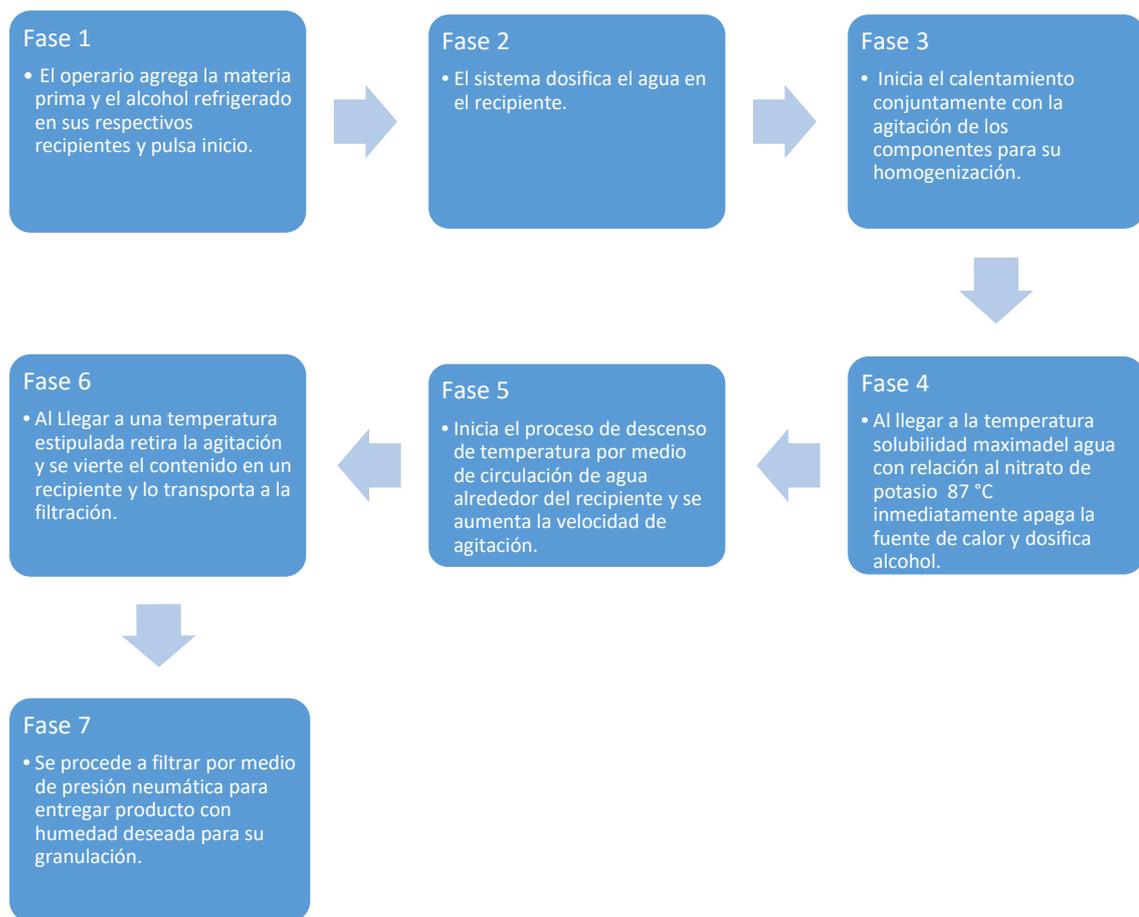


Figura 5-2: Etapas del sistema automático para producción de pólvora por vía húmeda.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.3.1 *Diseño del sistema de automatización*

En la automatización del proceso se ha acoplado las etapas del proceso de vía húmeda a otras que resulten convenientes en la automatización, a continuación, realizamos una relación entre las etapas descritas por el proceso químico y las etapas que se ha visto más conveniente para la automatización.

Tabla 4-2: Desarrollo de las etapas de automatización relacionada con etapas del proceso químico.

	ETAPAS DEL PROCESO QUIMICO		ETAPAS DE AUTOMATIZACION
1	Preparación		Adición de mezclas Binarias
2	Incorporación	Incorporación Acuosa	Dosificación de Alcohol Mezclado con calentador
		Extracción Salina	Dosificación Alcohol Mezclado con enfriador
		Filtrado	Volteo
			Transporte
		Conformado	Prensado
		Granulado	Granulado
		Secado	Secado
3	Acabado		Acabado

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

Las etapas para el proceso automatizado son numerosas, algunas no necesitan ser automatizadas, en consecuencia, se va a automatizar la etapa de la incorporación debido a su dificultad ya que exige precisión en el control de sus variables de temperatura, agitado, dosificación y tiempo, genera un impacto sobre la calidad final de la pólvora negra. En la tabla anterior se ha evaluado estos aspectos. Se dispone realizar las siguientes etapas para la automatización.

Tabla 5-2: Proceso para la automatización por vía húmeda.

	ETAPAS DE AUTOMATIZACION	Accionamiento	Causa
1	Adición de mezclas Binarias	Manual	<ul style="list-style-type: none"> No es peligroso. Trabajo fácil de realizarlo.
2	Dosificación de Alcohol	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> Requiere un volumen exacto
3	Mezclado con calentador	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> Necesita un control del agitado y temperatura
4	Dosificación Alcohol	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> Requiere un volumen exacto
5	Mezclado con enfriador	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> Necesita un control del agitado y temperatura
6	Volteo	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> Sencillez de implementación

7	Transporte	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> • Sencillez de implementación
8	Prensado	Automatizado	<ul style="list-style-type: none"> • Sencillez de implementación
9	Granulado	Manual	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad del proceso
10	Secado	Manual	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad del proceso
11	Acabado	Manual	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad del proceso

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Fuente: (Crespo Prieto, 2015)

Después del análisis se enfoca en 7 etapas, que se las denomino etapas de automatización del proceso de elaboración de pólvora por vía húmeda.

2.3.2 Etapas de automatización del proceso de elaboración de pólvora por vía húmeda

Las etapas escogidas después de la evaluación de todo el proceso son las siguiente:

1. Adición mezclas Binarias
2. Dosificación de Alcohol
3. Mezclado con calentador
4. Dosificación Alcohol
5. Mezclado con enfriador
6. Volteo
7. Transporte
8. Prensado

La primera etapa de adición de mezclas binarias, no será automatizada, pero servirá como punto de partida del proceso de automatización, las etapas de volteo y transporte por su sencillez se fusionan en una sola para simplificar el proceso, teniendo así 7 etapas.



Figura 6-2: Etapas de proceso óptimo del sistema de automatización.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.4 Diseño del sistema mecánico.

El análisis del proceso de fabricación de pólvora por vía húmeda nos brindó un enfoque particular sobre las necesidades del proceso sin obviar las cuestiones de seguridad necesarias para la automatización del sistema. Adoptando como base el diseño de marmitas altamente utilizadas en el campo industrial alimenticio y químico, debido a sus características de flexibilidad en la adición de componentes para cumplir determinada labor, se realizó el diseño mecánico utilizando el software que nos proporcionó las herramientas para el análisis y visualización 3D del sistema gracias a su potente entorno para desarrollo del producto, facilitando así la detección de errores previa a la implementación, ayudando a la producción del sistema de manera óptima y en el menor tiempo posible.

2.4.1 Diseño del recipiente de agitación.

Para el dimensionamiento del recipiente se tomó en cuenta el volumen necesario para contener 1 kg del producto conjuntamente con el contenido de agua, la cantidad de producto a realizarse fue valorado según las necesidades de consumo de la pirotécnica artesanal y respetando las condiciones de seguridad demandadas. El método propuesto es seguro por características propias, pero existe un riesgo discreto por someter la mezcla a calentamiento, justificado por la agitación

donde prevalece el riesgo de salpicaduras a los alrededores externos de reactor, que podrían adherirse cerca de la fuente de calor, sin embargo se considera limitado el riesgo de combustión por ser cuerpos de muy pocos milímetros, para ello se ha aumentado la altura del contenedor siendo superior a su diámetro para que el producto ocupe la mitad del volumen total.

Al mismo tiempo se ha añadido una camisa o chaqueta, así citado comúnmente en las marmitas, que permite la circulación de agua en los alrededores del reactor de tal forma que descienda la temperatura de la masa contenida, su diseño estima una diferencia total entre diámetros de 48 mm.

Todo esto se realizó en acero inoxidable por la alta corrosividad de la solución salina, además de ser un material muy utilizado en la industria y de fácil adquisición, aunque su costo es elevado que depende mucho de las características del material, la serie 304 se ha utilizado en el proyecto propuesto por su versatilidad y economía, no obstante, se recomienda ASTM 316 para garantizar una durabilidad mayor del reactor.

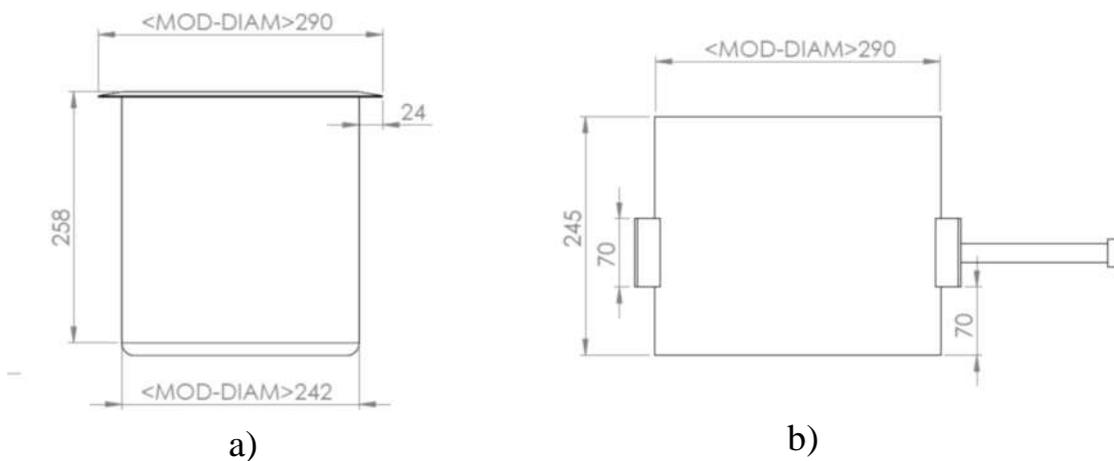


Figura 7-2: Diseño del recipiente para la agitación a) Vista lateral b) Vista superior.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.4.2 Diseño de la estructura móvil para el agitador.

El actuador escogido para la agitación es un taladro convencional, su amplia gama y fácil uso hacen de esta una herramienta ideal para mezcla y agitación de diferentes productos, además de poseer varios tipos de accesorios convirtiéndolo en un dispositivo muy versátil. Dada a la precisión del método utilizado, es necesario la rápida acción entre sus diferentes fases, hecho por el cual el agitador posee una estructura que le permita retirarse de forma inmediata una vez terminado su labor y permitir el vaciado del recipiente principal para posteriores trabajos. El sistema que posee el agitador consta de una base donde se suspende el taladro, rodeada de cuatro

ruedas que sirven como guía y reduce el rozamiento existente con la estructura principal, beneficiando al cilindro neumático que realizará el desplazamiento vertical del sistema.

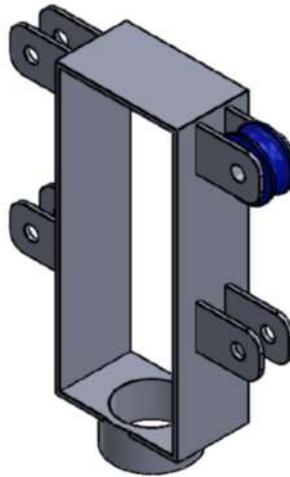


Figura 8-2: Diseño de la base móvil del actuador de agitación.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.4.3 Diseño de estructura principal

Todos los componentes se adjuntan dentro de una estructura metálica principal, que permite la suspensión de cada actuador utilizado en el proceso, está compuesto de una base donde se asienta la marmita y permite un vaciado rápido de la misma, el volteo es realizado por un cilindro neumático ubicado a un lado de la estructura. En la parte inferior se encuentra un tipo de rieles, que guían a una bandeja que es impulsada por un cilindro, su función es transportar la sustancia proveniente del recipiente de agitación hacia la etapa de filtración, por otra parte, la estructura que acopla el sistema móvil del agitador se encuentra en la parte de arriba, en el cual se ubica el cilindro de desplazamiento, además de tener los acoples necesarios para el posterior ensamble del sistema de flujo de alcohol y agua.

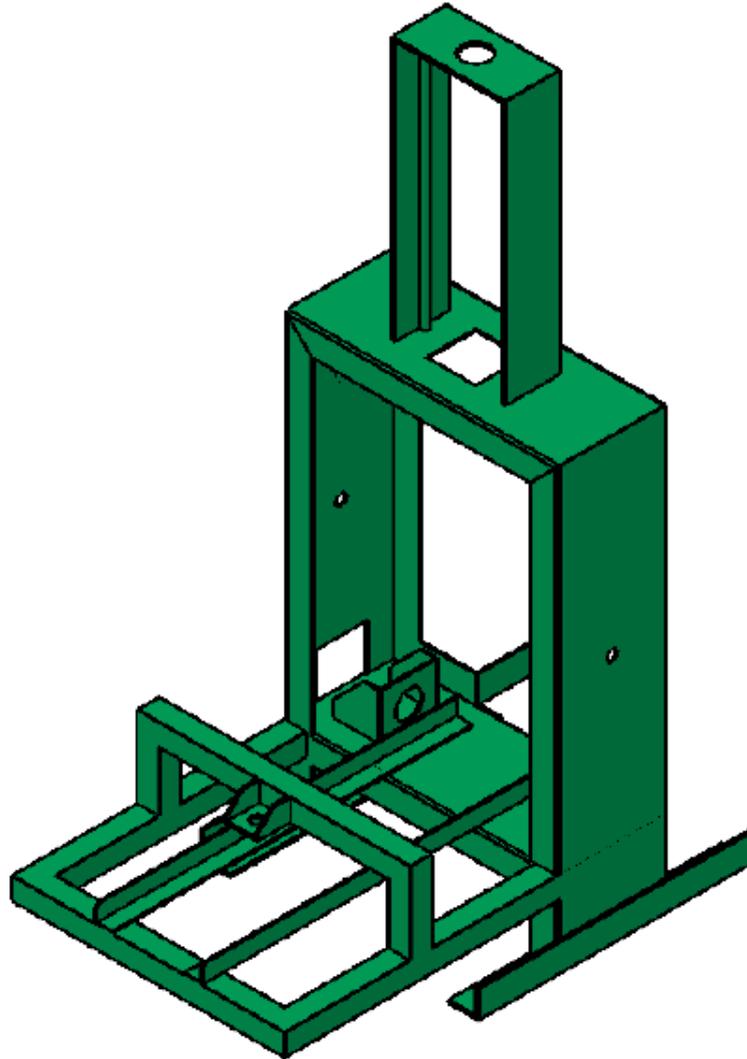


Figura 9-2: Diseño de la estructura principal.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

La estructura principal como aditivo tiene un soporte, que sobresale a un lado con 40 cm de separación para uso exclusivo del tablero de control, donde se encuentra todos los dispositivos electrónicos utilizados en el proyecto.

2.4.4 Ensámblame total del sistema.

Posterior al diseño y diagnóstico de cada parte que conforma el sistema, se necesitó el ensamble total para una visión global y enfoque que sea similar a la realidad, para descartar errores en el mecanismo, la maquina cuenta con cada etapa necesaria para completar la incorporación del método húmedo de fabricación de pólvora, la cual se encuentra compactada de la manera más óptima en cuanto a espacio y recursos sin desestimar la eficacia del proceso. Procesos posteriores a la incorporación fueron excluidos del sistema automatizado, debido a garantías de seguridad,

requeridas sin embargo el producto obtenido tras el proceso brinda las características adecuadas para pasos siguientes. Los estudios previos realizados garantizan la funcionalidad del diseño, convirtiéndolo en una máquina compacta, versátil y al mismo tiempo robusta.

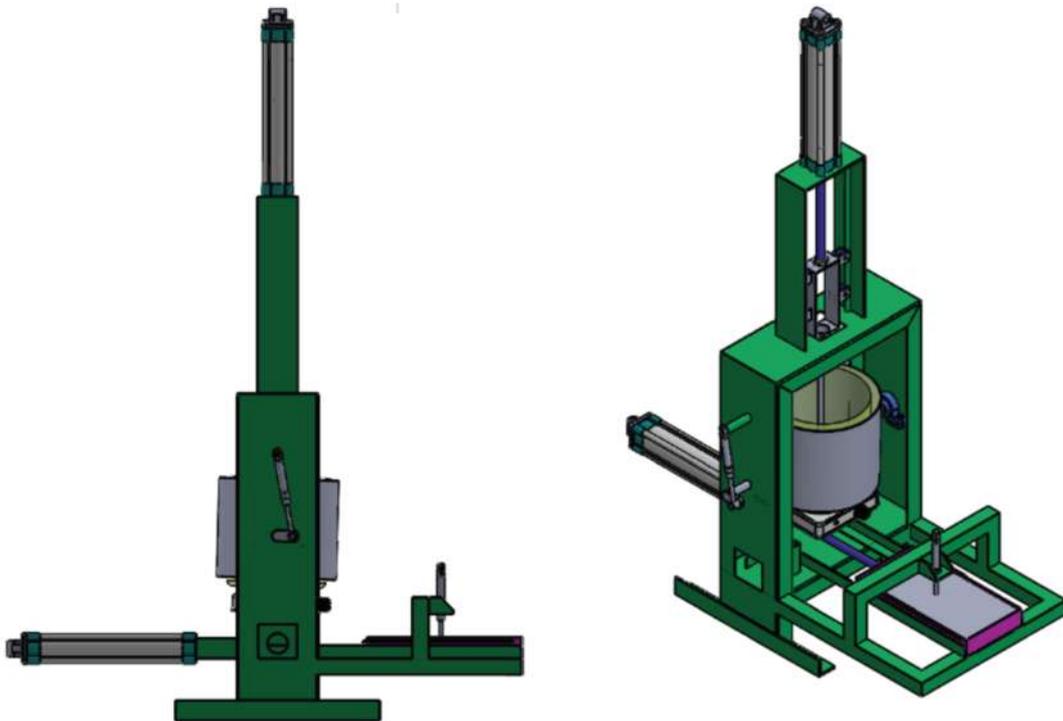


Figura 10-2: Ensamble total de la estructura.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.5 Diseño del sistema neumático

La implementación de sistemas neumáticos se debe a las grandes ventajas que aportan frente a sistemas eléctricos o hidráulicos, adicionalmente es uno de los sistemas más seguros existentes, cumpliendo así con requerimientos del proyecto.

Las principales ventajas que se apreciaron para la implementación de un sistema neumático en el presente proyecto son:

- Resistente a variaciones de temperatura.
- Su fuente de alimentación es abundante y de fácil acceso.
- La velocidad de funcionamiento es alta y de sencilla regulación.
- Fácil uso en distancias considerables.
- Es seguro y no existe riesgo de explosión.
- Control de mando simple.

2.5.1 Sistema Neumático móvil de agitador y bandeja.

La rápida acción de retiro del agitador es realizada por un cilindro neumático, el mismo que soporta la carga del sistema móvil conjuntamente con el talado de agitación, el mismo que fue diseñado para minimizar toda la carga posible. El recorrido realizado por actuador neumático es de 350 mm, los mismo que son necesarios para que el agitador tenga una distancia apta para permitir el volteo del recipiente que contiene el producto. Las características que posee el cilindro neumático son las siguientes:

Tabla 6-2: Datos técnicos del cilindro neumático de Transporte de agitador y bandeja.

Marca	QSPC.
Tipo	Doble Efecto.
Diámetro del cilindro	32mm.
Carrera	350mm.
Presión máxima de trabajo	12 bar/175psi

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

En la parte inferior de la máquina se utiliza un cilindro de las mismas características que muestra la Tabla 6-2, el mismo que tiene la función de transportar la bandeja, que recibe el producto del recipiente hacia el área de filtrado. Los dos cilindros poseen racores reguladores de caudal a su salida, para que la acción no sea violenta y no se produzca daños en la parte mecánica del dispositivo, al mismo tiempo se utilizó electroválvulas 5/2 para el control de cada cilindro.

Para una mejor comprensión de desempeño y conexión de los dispositivos neumático se realizó la simulación del sistema neumático anteriormente descrito, para lo cual se utilizó el software FluidSIM versión 3.6h/1.003 Neumática, que posee características de creación, simulación, instrucción y estudio de circuitos electroneumáticos, electrohidráulicos, digitales y electrónicos, su interfaz es amigable con el usuario, convirtiéndolo así en un software simple y efectivo. El diagrama posee todos los elementos necesarios para el funcionamiento eficaz del sistema neumático, en el incluyen la fuente de alimentación, la unidad de mantenimiento, electroválvulas 5/2 y sus correspondientes actuadores neumáticos.

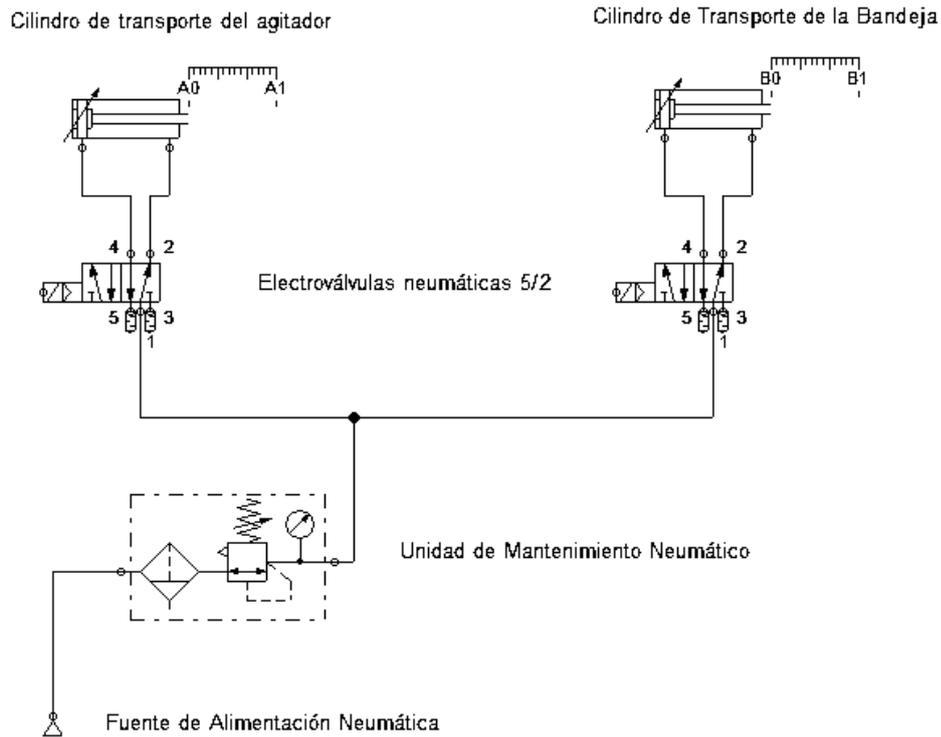


Figura 11-2: Diagrama del sistema neumático móvil de agitador y bandeja.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.5.2 Sistema neumático de Volteo y Filtración.

El volteo del recipiente se realizó con la adición de un sistema tipo pivote con guiado rígido como se muestra en la Figura 12-2, la facilidad de control y economía frente a actuadores eléctricos fundamentan el uso de neumática para este tipo de vaciado del recipiente.

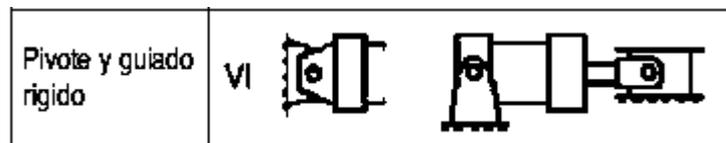


Figura 12-2: Sistema de pivote y guiado rígido.

Fuente: (Creus Solé, 2007).

El cilindro utilizado para el volteo es de doble efecto por esta razón se usa una electroválvula 5/2 así también se necesitó racores regulables para evitar problemas de vaciado por ejecuciones rápidas, a continuación, se presenta las características del cilindro:

Tabla 7-2: Datos técnicos del cilindro neumático de Volteo.

Marca	QSPC.
Tipo	Doble Efecto.
Diámetro del cilindro	32mm.
Carrera	80mm
Presión máxima de trabajo	12 bar/175 psi

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

La parte que complementa el sistema es la etapa de filtración donde se utilizó un cilindro neumático de características menores al anterior, ya que no se necesita grandes presiones en la etapa, únicamente de una exhaustiva acción sobre la masa para llegar a la humedad deseada. En la siguiente tabla se presentan las características del cilindro.

Tabla 8-2: Datos técnicos del cilindro neumático de Filtración.

Marca	QSPC.
Tipo	Doble Efecto.
Diámetro del cilindro	20mm.
Carrera	50mm
Presión máxima de trabajo	9 bar.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El cilindro de filtración está sujeto por una base que se encuentra sobre las guías de la bandeja donde realizará una acción lineal para proceder con la filtración, hecho por el cual el factor de pandeo de este cilindro es muy bajo, un sensor detectará la llegada de la bandeja para permitir el inicio de la acción respectiva.

El diagrama con la conexión neumática de la etapa de volteo y filtración se realizó en FluidSIM, brindando herramientas de fácil uso para simulación y análisis del sistema neumático, previa a su implementación para evitar errores posteriores. Los dispositivos de alimentación y unidad de mantenimiento son compartidos en las dos etapas que conforma el sistema neumático.

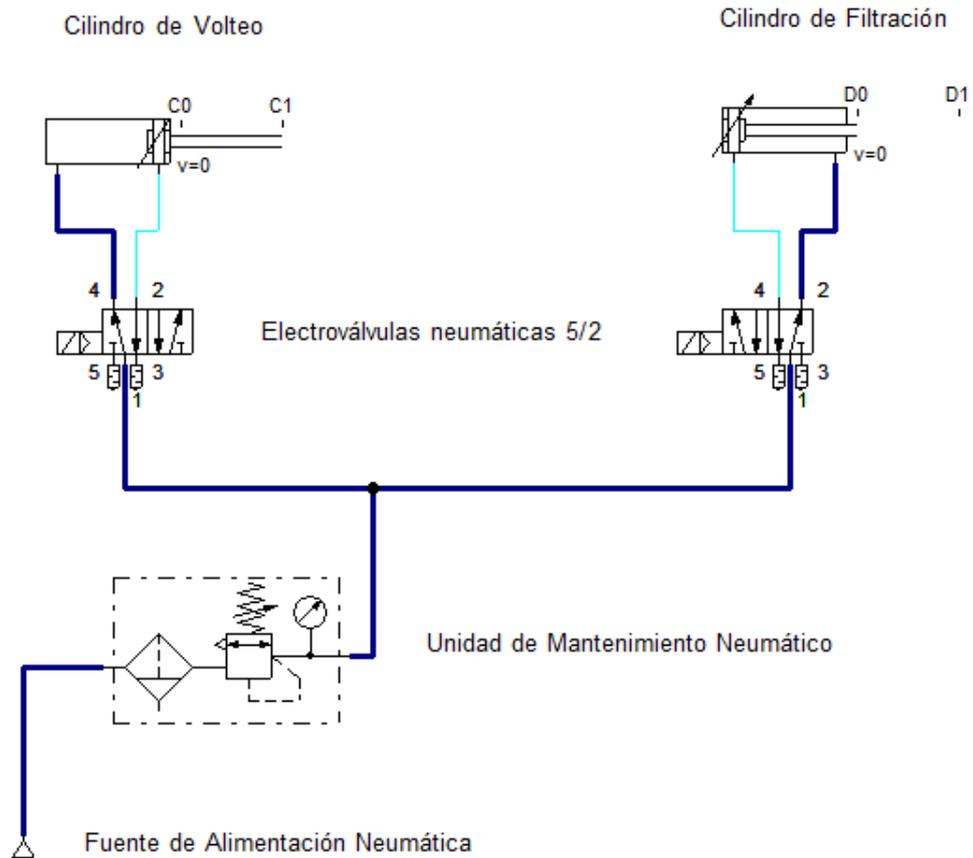


Figura 13-2: Diagrama del sistema neumático de volteo y filtración.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.5.3 Consumo de aire del sistema.

Para obtener el consumo de aire se necesita la ayuda de algunas fórmulas donde intervienen la relación de compresión, el área del pistón y de la carrera del cilindro.

La fórmula para determinar la relación de compresión es:

$$RC = \frac{P_{Atmosférica} - P_{Trabajo}}{P_{Atmosférica}}$$

Ecuación 5-2 Relación de compresión.

En un cilindro de doble efecto en condiciones normales de temperatura la fórmula de consumo de aire está dada por:

$$Q = \left(\frac{\pi \times D^2 \times L}{4} + \frac{[\pi \times (D^2 - d^2)] \times L}{4} \right) \times RC \times n$$

Ecuación 6-2: Caudal volumétrico para cilindros de doble efecto.

Siendo:

Q = Caudal Volumétrico total en $[m^3/s]$.

D = Diámetro del cilindro en $[m]$.

d = Diámetro de vástago en $[m]$.

RC = Relación de Compresión.

n = Numero de ciclos de trabajo por segundo.

L = Carrera $[m]$.

Caudal Volumétrico de Cilindros de transporte de agitador y bandeja

El método no exige mayor esfuerzo por parte de los actuadores neumáticos, por esta razón se ha considerado el trabajo realizado a 1 ciclo /h que convirtiendo a segundos es 2.78×10^{-4} ciclos/seg.

Así mismo para determinar la relación de compresión se ha establecido la presión atmosférica de 0.728 Bar en la región Sierra de nuestro país, de igual manera se trabaja con una presión normalizada de 6 bar equivalente a 87 psi.

$$RC = \frac{0.728 + 6}{0.728} = 9.24$$

Caudal volumétrico de un cilindro de transporte.

$$Q_T = \left(\frac{\pi \times 0.032^2 \times 0.35}{4} + \frac{[\pi \times (0.032^2 - 0.01^2)] \times 0.35}{4} \right) \times (2.78 \times 10^{-4}) \times 9.24$$

$$Q_T = 1.38 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Sabiendo que existen dos cilindros del mismo tipo se obtiene el caudal total.

$$Q_{Ttotal} = 2 \times (1.38 \times 10^{-6}) \left[\frac{m^3}{s} \right] = 2.73 \times 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Caudal volumétrico de Cilindros de volteo y filtración.

Calculo para obtener caudal volumétrico del cilindro de volteo:

$$Q_V = \left(\frac{\pi \times 0.032^2 \times 0.08}{4} + \frac{[\pi \times (0.032^2 - 0.008^2)] \times 0.08}{4} \right) \times (2.78 \times 10^{-4}) \times 9.24$$
$$Q_V = 3.20 \times 10^{-7} \frac{m^3}{s}$$

Para completar el proceso se realiza el cálculo para el cilindro de filtración. En este caso el ciclo de trabajo aumenta a 10 ciclos/ h, lo que transformando a segundos se obtiene 2.78×10^{-3} ciclos/seg.

Calculo para obtener caudal volumétrico del cilindro de filtración:

$$Q_F = \left(\frac{\pi \times 0.02^2 \times 0.05}{4} + \frac{[\pi \times (0.02^2 - 0.005^2)] \times 0.05}{4} \right) \times (2.78 \times 10^{-3}) \times 9.24$$
$$Q_F = 7.82 \times 10^{-7} \frac{m^3}{s}$$

Definiendo el caudal total de los elementos tenemos:

$$Q_{total} = Q_{Ttotal} + Q_V + Q_F$$
$$Q_{total} = 2.73 \times 10^{-6} + 3.20 \times 10^{-7} + 7.82 \times 10^{-7}$$
$$Q_{total} = 3.83 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Estimando el 5% de pérdidas podemos obtener el consumo de aire del sistema:

$$Q_{Consumo} = 3.83 \times 10^{-6} + (0.05 \times 3.83 \times 10^{-6})$$
$$Q_{Consumo} = 4.02 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

2.5.4 Compresor de aire

Para una correcta selección de compresor de aire se necesitó la consideración de varias características técnicas así mismo como su economía, versatilidad y facilidad de uso. Los criterios básicos de selección de un compresor se presentan a continuación:

- Determinar el valor total de consumo de aire de los elementos neumáticos utilizados.
- Revisar los ciclos de trabajo y factores de carga de los elementos.
- Tomar en cuenta consideraciones medio ambiente del entorno, altitud, temperatura, etc.
- Estimar fugas típicas en el sistema para su mantenimiento.
- Establecer la presión más alta que requieran los elementos.

En el caso del sistema presente se determinó un consumo de aire total de sus elementos de $4.02 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$ convirtiendo a cfm unidad utilizada en descripciones técnicas de compresores tenemos $8.52 \times 10^{-3} cfm \left[\frac{ft^3}{min} \right]$.

También se debe tomar en cuenta en la selección del compresor si es de tipo portátil, lo cual minimiza gastos de instalación, tubería y costos de inversión por su maniobrabilidad, dado a que el sistema neumático no consume mayor cantidad, es una opción factible este tipo de compresores.

Fundamentándonos en los criterios expuestos anteriormente se seleccionó el compresor de las características técnicas que satisfaga el correcto funcionamiento del sistema, considerando su economía y flexibilidad de uso.

Tabla 9-2: Datos técnicos del compresor de aire.

Voltaje	120V/60Hz
Tanque	24L.
Presión	8 bar.
Potencia	2 HP/1.8 KW.
Desplazamiento	230 L/min.
Presión	8 bar

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.5.5 *Electroválvulas Neumáticas*

Para facilitar el control de cada cilindro neumático se usó electroválvulas de 5 vías 2 posiciones monoestables con solenoide a 24V, las válvulas con mando eléctrico son altamente utilizadas, dado sus tiempos de respuesta y flexibilidad de uso a grandes distancias, las características técnicas de las válvulas son presentadas en las siguientes tablas:

Tabla 10-2: Electroválvulas neumáticas marca CHELIC.

Modelo	SV 8102-K
Rango de Presión <i>(Kgf/cm² Kpa)</i>	1.5 ~ 7 (150 ~ 700)
Rango de temperatura ambiente de operación °C	0 ~ 60
Método operativo	Piloto de aire
Numero de vías y posiciones	5 vías 2 posiciones
Función de la válvula	Normalmente Cerrado
Botón manual	Push and lock
Puerto de conexión	Rc 1/4 ~ Rc 1/8
Lubricación	Tipo libre de lubricación

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 11-2: Electroválvulas neumáticas marca CHANTO.

Modelo	VEC 2120D24
Máxima Presión (Mpa)	0.75
Rango de temperatura ambiente de operación °C	0 ~ 60
Método operativo	Piloto de aire
Numero de vías y posiciones	5 vías 2 posiciones
Función de la válvula	Normalmente Cerrado
Botón manual	Push and lock
Puerto de conexión	Rc 1/8

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Para su correcto funcionamiento se implementó los accesorios adecuados en cada electroválvula como racores y silenciadores los mismos que fueron seleccionados para un uso con manguera de 6mm, se puede apreciar la electroválvula y sus conexiones en el siguiente gráfico.

2.6 Sistema Electrónico y de Control.

2.6.1 Sistema de control en lazo abierto.

Las características de elaboración de pólvora por vía húmeda apuntan a la implementación de un sistema de control en lazo abierto, el sistema requiere rapidez y eficacia en cada una de sus etapas mientras la precisión del sistema está garantizada por la calibración de sus componentes. El sistema no requiere de retroalimentación para obtener un producto final adecuado, necesitando así la evaluación previa de cada etapa y de sus variables para una correcta calibración de los componentes y dosificación exacta durante el proceso que va de acuerdo con las condiciones ambientales del medio.

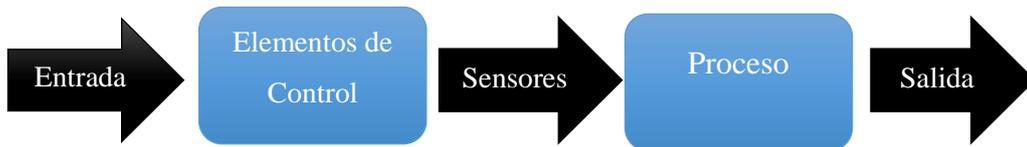


Figura 14-2: Sistema de control en lazo abierto propuesto.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

En la ejecución física del sistema tenemos el controlador lógico programable, que es el encargado de dar las ordenes y las condiciones de control necesarias, para que se cumpla cada etapa de forma correcta, se utiliza sensores de caudal para poner en marcha la dosificación de agua y alcohol necesarios en el proceso, además de sensores de temperatura para verificar las condiciones idóneas del producto para el cambio de etapa. El sistema de control conjuntamente con los actuadores, garantiza un producto final adecuado para posteriores etapas y avalan el método de fabricación usado en el proyecto.

2.6.2 Componentes del sistema electrónico.

Sensor de temperatura DS18B20

En la producción de pólvora por vía húmeda se requiere el momento exacto donde el compuesto sometido a calentamiento sea apto para realizar la extracción salina, de tal forma que requiere el uso de un sensor de temperatura en contacto con el compuesto para evaluar su estado.

Para garantizar la fiabilidad de los datos de temperatura se optó por un dispositivo digital DS18B20, el cual utiliza el protocolo de comunicación 1-Wire desarrollado por la empresa Dallas

Semiconductor, entre sus principales ventajas se encuentra el uso de una sola línea de datos para diversos sensores, mejorando la implementación física del proyecto.

Tabla 12-2: Características del sensor DS18B20.

Parámetro	Características
Voltaje de alimentación	+3.0 a +5.5 V
Voltaje de alimentación Pullup	+3.0 a +5.5 V
Error del termómetro	-10°C a +85°C +0.5°C -55°C a +125°C +2°C
Entrada Lógica-Baja	-0.3 a +0.8 V
Entrada Lógica-Alta	Mínima +2.2 +3.0 Máximo de 5.5 o VDD +3.0
Corriente Activa	1 a 1.5 mA
Corriente de Entrada DQ	5uA
Desviación	+0.2°C
Rango de temperatura de Operación	-55°C a +125°C
Resolución Programable	9 bits a 12 bits

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Las características presentadas en la Tabla 12-2, estipulan el uso del sensor en el proyecto, debido a la importancia de conocer la temperatura de la mezcla en el proceso, se estableció el uso de dos sensores en el reactor con el objetivo de obtener precisión en la lectura, evitar errores en el método de producción y aumentar la seguridad durante el proceso de elaboración.

Sensor de Flujo de agua YF-S201

Un parámetro importante en el método de producción por vía húmeda, es la dosificación exacta de cantidad de agua y de licor extractor, para ello se utilizó un sensor de flujo que cumple con los requerimientos planteados, las características que presenta el sensor YF-S201 son expuestas en la tabla siguiente:

Tabla 13-2: Características del sensor YF-S201.

Parámetro	Características
Modelo	YF-S201
Tipo de sensor	Efecto Hall
Voltaje Nominal	+5 a +18 V DC
Corriente máxima de operación	15mA a 5 V
Velocidad de Flujo	1 a 30 L/MIN
Durabilidad	Mínimo 300,000 ciclos
Rango de Temperatura	-25 a +80 °C
Rango de Humedad	35% a 80% RH
Precisión: ±10%	±10%
Máxima Presión de Agua	2.0 MPa
Pulsos por Litro	450 pulsos

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Fuente: <http://chips.mecatronium.com/tutorial-sensor-de-flujo-yf-s201/>

El sensor se basa en el uso de un dispositivo en el interior que detecta el campo magnético generado por los imanes que están ubicados en las aspas del rotor, mediante el conteo de pulsos generados se puede calcular la cantidad de agua y gracias a una correcta calibración del sensor se puede gozar de la precisión requerida por el proyecto.

Sensor de Humedad de suelo FC-28

El sensor FC-28 es un higrómetro de características sencillas que permite determinar parámetros relacionados con la presencia de líquidos en el suelo, utiliza el principio de la conductividad entre sus dos terminales que varía según las características químicas que posee cada tipo de suelo. El objetivo principal para el uso del FC-28 es determinar la humedad del compuesto obtenido al final del proceso, verificando la disminución del riesgo que se presenta en la manipulación del producto.

Tabla 14-2: Características del sensor FC-28.

Parámetro	Características
Modelo	FC-28
Voltaje de entrada	3.3 -5 V DC
Voltaje de salida	0 ~ 4.2 V DC
Corriente de operación	35mA
Superficie del electrodo	Estaño
Tamaño	60x20x5 mm

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017

Fuente: <https://www.taloselectronics.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo/>

Varios métodos indirectos para determinar la presencia de agua en el suelo, utilizan el mismo principio del FC-28, la necesidad de calibración del este tipo de sensores permite que se adapten según el tipo de suelo a medir. A razón de la presencia de sales en la pólvora es necesario una calibración correcta del sensor para obtener medidas reales de humedad. La calibración del sensor se la ejecuta por medio del método gravimétrico, considerado un método directo para medir la presencia de agua en el suelo.

Relé de estado sólido

Los relés de estado sólido presentan grandes ventajas de uso frente a relés electromecánicos convencionales, tales como la disminución del ruido, aumento de tipo de vida útil, soportan choques, vibraciones e interferencias electromagnéticas, alta velocidad de conmutación y manejan corrientes de entrada reducidas para aplicaciones con microcontroladores.

Tabla 15-2: Características del relé de estado sólido.

Parámetro	Características
Modelo	KS1-40DA
Modo de Control	DC-AC Cruce por cero
Voltaje de Control de entrada	+3 a +32 V DC
Salida tensión de Carga	24-480 V AC

Corriente de Salida	40 A
Condiciones Ambientales	-20 ~ 85 °C
Tiempo de Respuesta	< 10ms
Tiempo de Servicio	> 1 millón
Tamaño externo	57x44x32 mm
Peso neto	100 g

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017

Fuente: <https://es.aliexpress.com/popular/solid-state-relay-40a.html>

La necesidad de controlar la velocidad del agitador durante el proceso conlleva al uso de este tipo de dispositivos, que, mediante el control del ancho de pulsos enviados a la entrada, se pudo regular la velocidad destinada al agitador, permitiendo cumplir con las exigencias expuestas por el método de fabricación de pólvora.

Contactor electromagnético

Los contactores son dispositivos altamente utilizados en la automatización debido a su sencillez de construcción, robustez, bajo consumo, poco mantenimiento y precio reducido, razón por la cual se optó en implementar un contactor con las características necesarias presentadas en la Tabla 16-2, para manejar la corriente requerida por el dispositivo que provee calor al recipiente, aislando completamente el controlador del circuito de potencia.

Tabla 16-2: Características del Contactor electromagnético.

Parámetro	Características
Modelo	LC1 D1210
Corriente de trabajo nominal	AC3 12 A AC4 5 A
Contacto auxiliar	1 NA
Capacidad de cargada Fase 3	220V/230V 4KW 380V/400V 7.5KW
Corriente Nominal	18 A
Frecuencia	50 - 60 Hz

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/AC-Contactor-AC220V-Coil-18A-3-Phase-1NO-50-60Hz-Motor-Start-Relay-LC1-D1810-/292007659640>

Electroválvulas de agua

En el control de volumen de agua y para la activación del sistema de enfriamiento se utilizó electroválvulas con un solenoide que responde a 120 V para su excitación, el sistema de agua va conectado directamente a la red de agua convencional por medio de mangueras de ½ pulgada, hecho por el cual dicha válvula provee de las entradas necesarias para el circuito. Las características de las válvulas son presentadas en la Tabla 17-2, las cuales fueron estimadas para la selección de los dichos dispositivos, de este modo se estableció como la mejor opción para su implementación en el sistema.

Tabla 17-2: Características de electroválvulas de agua.

Parámetro	Características
Modelo	Universal
Rosca	3/4"
Salida	Ø 11 mm
Voltaje de Bobina	110V
Tipo de Anclaje	Vertical
Frecuencia	50 - 60 Hz

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017

Fuente: http://www.electrodomesticoscholo.com/electrov%C3%A1lvula-universal-lavadora-1-via-vertical_pr24330

Electroválvula de alcohol

En el circuito diseñado para la inserción de alcohol al recipiente, se estableció un flujo del líquido por medio de la gravedad, por esta razón el recipiente que lo contiene está ubicado en la parte superior de la máquina y regulado por una electroválvula, que no necesita de una gran presión para su apertura total, estimando todo esto, se seleccionó la electroválvula adecuada para el sistema de dosificación de alcohol y sus características son presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 18-2: Características de electroválvula de alcohol.

Parámetro	Características
Modelo	Universal
Rosca	1/2"
Presión de funcionamiento	mínimo 0kg/cm ² ~ máximo 10kg/cm ²
Temperatura de funcionamiento	-5°C ~ +80°C
Voltaje	110 V AC
Potencia	24 W
Tipo	Normalmente cerrada (NC)

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017

Fuente: <https://www.hazlo2mismo.com/electroválvula-riego-110v-ac-3-8-nc-2-vias-agua-aire-200300.html>

2.6.3 Selección del Controlador Lógico Programable.

Para la selección del PLC hemos tomado en cuenta lo siguiente:

Entradas y Salidas disponibles.

De acuerdo a las entradas y salidas descritas en la tabla a continuación seleccionar el PLC.

Tabla 19-2: Tabla de entradas y salidas Controllino MAXI AUTOMATION.

ENTRADAS	SALIDAS
12 Entradas analógicas 0-24V	8 Salidas digitales – 2ª (PWM)
2 Entradas analógicas 0-10 V	2 Las salidas analógicas 0-10 V o 0-20 mA
6 Entradas digitales (2x Interrupción)	10 relés de salida – 230V / 6ª

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El CONTROLLINO MAXI AUTOMATION, es el más adecuado de acuerdo a sus características físicas y funcionales, se elige por la cantidad de salidas a relé ya que se espera usar 6 salidas relé y como entradas se necesita dos entradas analógicas de 4 a 20mA.

Módulos de Comunicación disponibles en la placa.

El controllino MAXI AUTOMATION, posee comunicación Ethernet, Serial, Interfaz I2C y una SPI, para conectar sensores o dispositivos que necesiten estar en comunicación continua.

Grado de protección

Posee un grado de protección aceptable:

Protección: ESD HBM Class 0

Costo

El costo es uno de los aspectos importantes cuando se elige la placa Arduino, debido a que los PLC que normalmente se hallan en la industria, sobrepasan el precio del CONTROLLINO, tienen menos entradas y salidas, y menor flexibilidad a los tipos de entrada, por lo que necesitan módulos adicionales, resultando mucho más caro a diferencia de CONTROLLINO.

Flexibilidad para trabajar con varios tipos de accesorios electrónicos.

CONTROLLINO, basado en la placa Arduino, tiene la opción de cargar las librerías de arduino para sensores, tarjetas, shields etc. Evitando adquirir módulos extras que implica mayor costo.

Compatibilidad y flexibilidad.

Arduino, tienen una gran cantidad de dispositivos compatibles, además su programación es sencilla en el Software Arduino IDE compatible con Windows MacOS Y Linux. Existe otros softwares de programación como Vsduino, logi.CAD 3 y Programino que igual son compatibles con la mayoría de Sistemas Operativos.

Asistencia técnica y de programación disponible.

Existe una gran variedad de información, con respecto a las placas Arduino, además tutoriales, foros en línea, etc. Disponibles en la red para poder manejar el CONTROLLINO de manera análoga a ARDUINO.

2.6.4 Dimensionamiento de Conductores

Los conductores serán de tipo TW por su aislamiento dieléctrico y protección para humedad o evitar desgastes del aislamiento del cable, al ser sometido a humedad durante la operación del sistema. La norma para el color de aislante utilizada es IEC-60446 (Norma Europea). Para su dimensionamiento se toma en cuenta la caída de tensión en un circuito monofásico, de acuerdo a la siguiente formula.

$$\Delta V = 2IReL$$

Ecuación 7-2: Ecuación para dimensionamiento de conductores.

Donde:

L: Longitud del cable desde la carga a la fuente. [Km]

Re=Resistencia específica del conductor [Ω /Km]

I=Corriente [A]

Para obtener los datos de dimensionamiento de conductores se utilizo la tabla que se adjunta en el Anexo G.

Tabla 20-2: Calculo de dimensionamiento de conductores.

Dispositivo	Tensión V (V)	Corriente I (A)	Longitud L (Km)	Calibre (AWG)	Re (Ω /Km)	$\Delta V = 2IreL$	$\Delta V = \frac{100x\Delta V}{V}$
Fuente	24V DC	15	0.001	12	5.21	0.1563	0.65%
Controllino (PLC)	24V DC	20	0.001	12	5.21	0.2084	0.86%
Contacto	110V AC	0.2	0.0005	18	21	0.0042	0.004%
Relé de estado solido	24V DC	0.05	0.0005	18	21	0.0011	0.004%
Resistencia	110V DC	10	0.0027	14	8.29	0.44	0.41%
Motor AC (taladro)	110V AC	5.9	0.0021	18	21	0.52	0.47%

Electroválvulas neumáticas x 4	24V DC	0.1	0.001	18	21	0.0042	0.02%
Electroválvula de agua sin presión x 1	110V AC	0.1	0.0015	18	21	0.23	0.21%
Electroválvulas de agua bajo presión x2	110V AC	0.05	0.003	18	21	0.0063	0.006%
Modem	9V DC	0.6	0.001	18	21	0.025	0.3%
Flujometro x2	5V DC	0.015	0.003	18	21	0.002	0.04%
Sensor de Temperatura	5V DC	0.0015	0.0032	18	21	0.0002	0.004%
Sensor de Humedad	5V DC	0.2	0.0031	18	21	0.026	0.52%

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Se ha tomado los valores nominales de corriente para dimensionar los conductores. Los valores de corriente que no constan en la hoja de datos se han tomado lecturas con un Tester.

Los valores porcentuales de La caída de tensión ΔV son menores al 5% de tolerancia admitida, el cable #18 es el cable mínimo encontrado en el mercado por lo que se tomara este para dimensionar los cables de las cargas pequeñas.

2.6.5 Esquema de conexión Electrónica

Con los componentes electrónicos seleccionados de forma correcta se procedió a diseño del esquema electrónico, el Figura 15-2 muestra como todos los componentes interactúan entre sí, para el adecuado funcionamiento del sistema automático, como dispositivo principal de control se encuentra el CONTROLLINO MAXI AUTOMATION, que gracias a su gran cantidad de entradas y salidas disponibles abarca todos los componentes utilizados en el sistema.

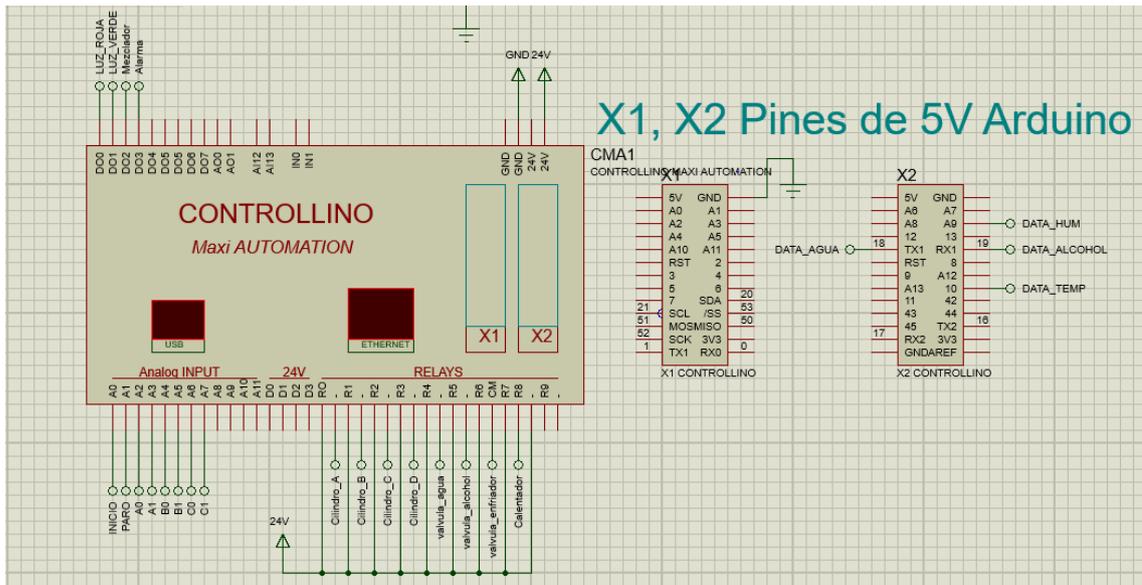


Figura 15-2: Diagrama general electrónico.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Para la alimentación de todos los sensores, se utilizó un módulo regulador de voltaje lo que permite reducir errores de funcionamiento en cada sensor.

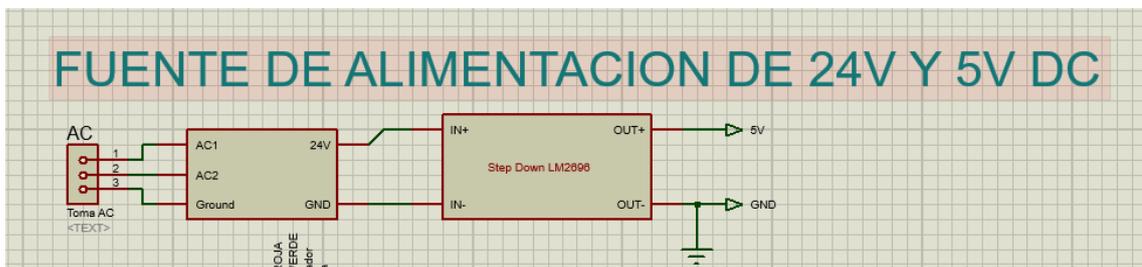


Figura 16-2: Diagrama de la fuente alimentación de los sensores.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Los sensores se comunican con el PLC por medio del interfaz X1, en donde cada entrada y salida funcionan como un Arduino convencional, facilitando el uso de la alta gama de sensores destinados para esta plataforma. Para los dispositivos electrónicos que utilizan 24 V se destinó la interfaz, que cuenta con las protecciones necesarias para el manejo de dicho voltaje, garantizando así el correcto funcionamiento de cada componente implementado en el sistema.

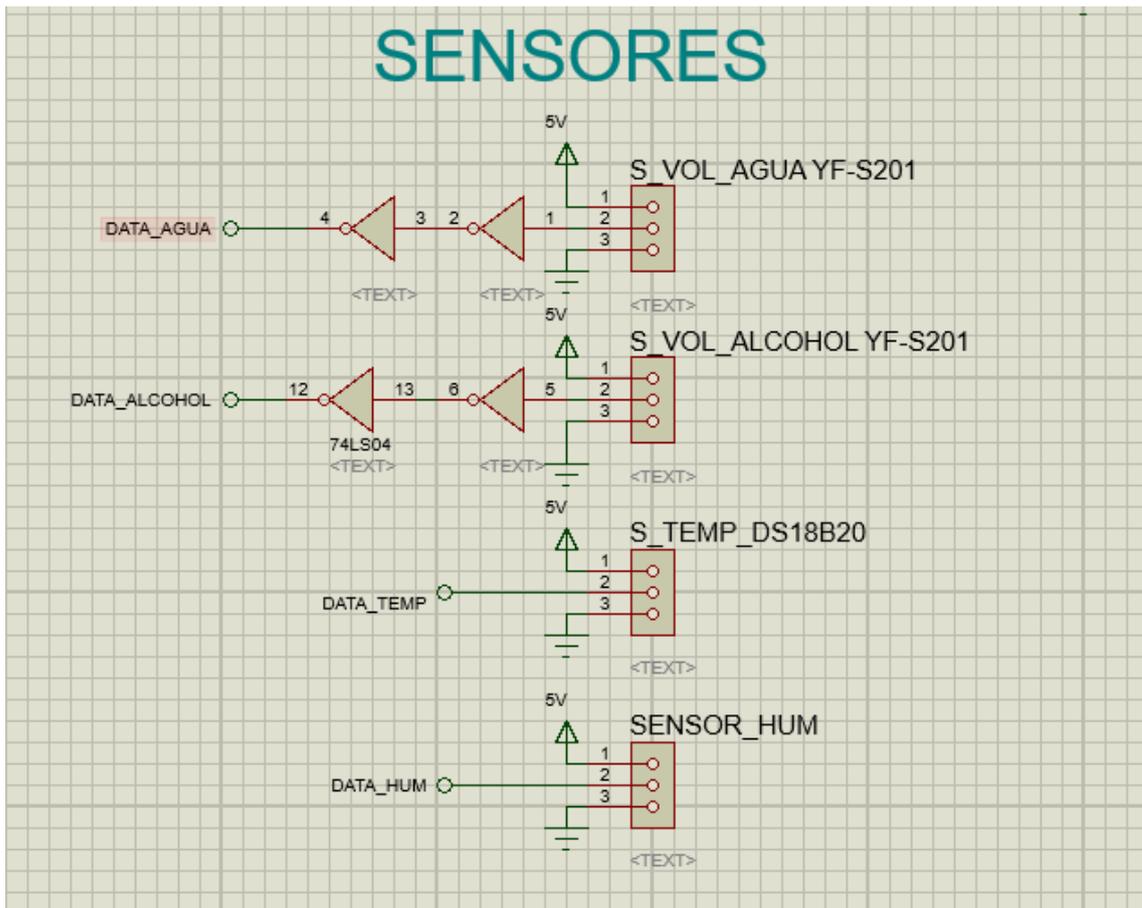


Figura 17-2: Diagrama de conexión de los sensores.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

La interfaz Ethernet que posee el PLC implementado, permitió el desarrollo de una interfaz hombre máquina, que mediante un enrutador inalámbrico se direccionó el controlador hacia un computador, lo que permitió visualizar las variables físicas implicadas en el proceso, así como la etapa que transcurre en la elaboración de pólvora, aumentando la seguridad en la elaboración al evitar la presencia directa del artesano en la producción.

2.6.6 Esquema de conexión Eléctrica

El sistema requiere la intervención de dispositivos que utilizan la red eléctrica convencional, establecida a 120V, por esta razón mediante dispositivos de mando se evitó la conexión directa con el dispositivo de control, para evitar daños. En el Figura 18-2 se muestra el circuito de alta tensión utilizada para la introducción del mezclador que es un taladro convencional y la fuente de

calentamiento del recipiente, por causa de que dichos dispositivos necesitan la circulación de altas corrientes para brindar un eficiente funcionamiento.

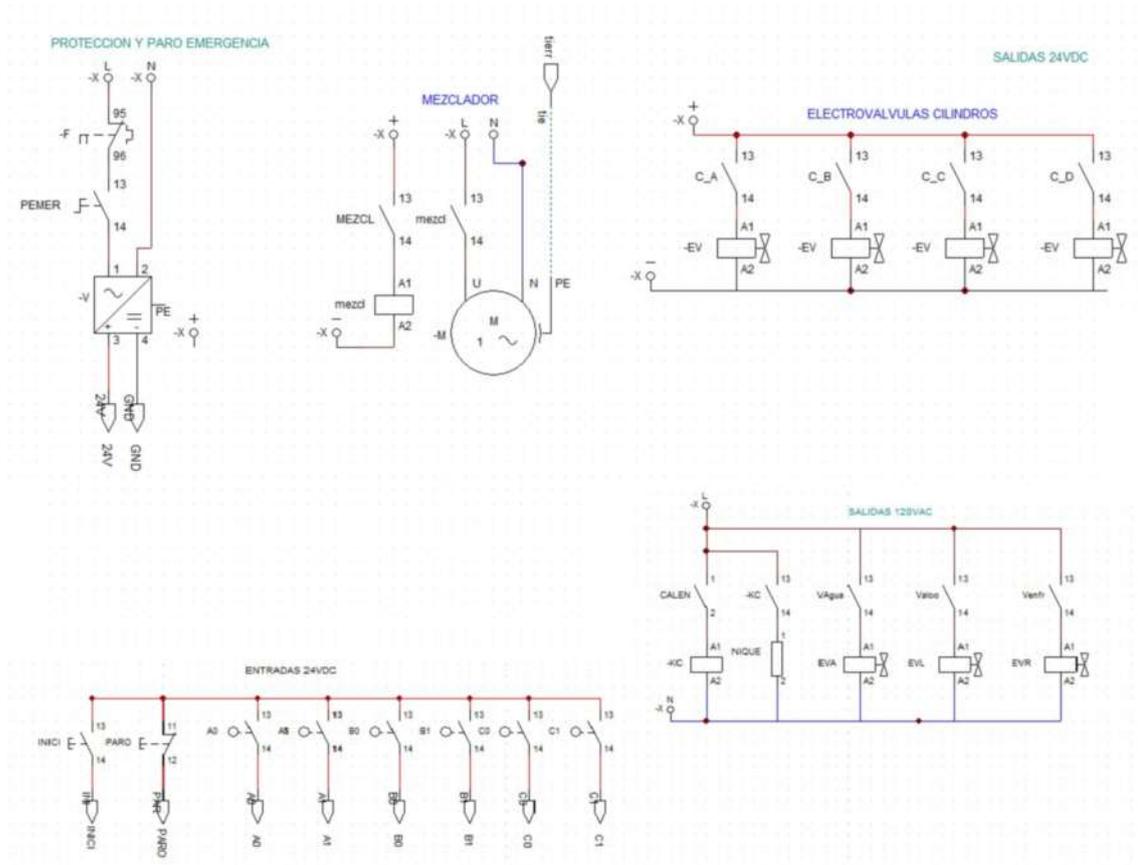


Figura 18-2: Diagrama generala eléctrica.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

En el Figura 19-2 se muestra la conexión de entradas y salidas de 24v y 120 V correspondiente a cada terminal del controlador lógico programable, las entradas y salidas de 24V están totalmente aisladas de la lógica de control de 5V mediante circuitos internos propios del CONTROLLINO MAXI AUTOMATION.

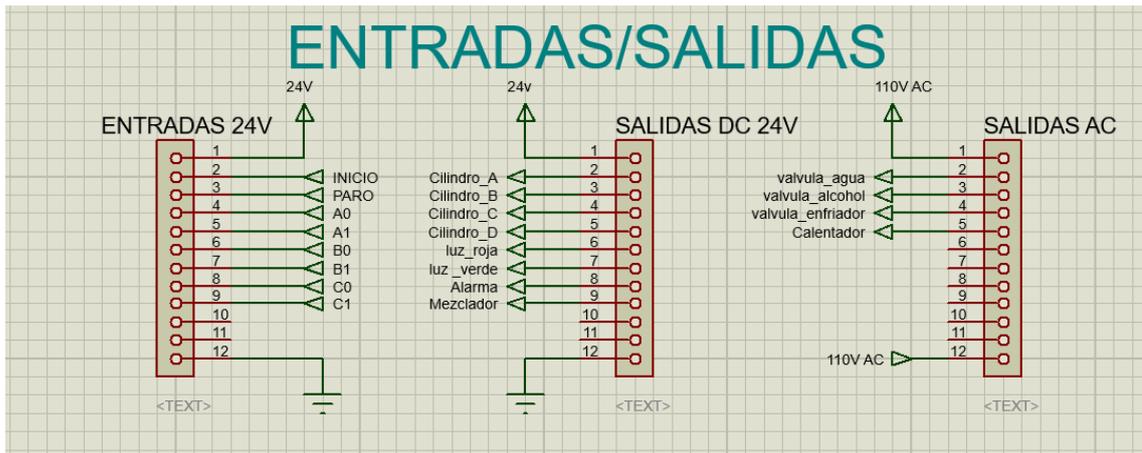


Figura 19-2: Diagrama de entradas y salidas de actuadores.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.7 Diseño del software del sistema automático

Para el desarrollo del software del sistema automático se tomó en cuenta las etapas descritas al principio de este capítulo y el hardware implementado en la máquina, el intérprete de programación es Arduino Software (IDE) que permite simplicidad de escritura de códigos, posee soporte para diversas plataformas como los son Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y basado en Processing y otro software de código abierto. (Arduino, 2017)

Para la correcta programación de CONTROLLINO MAXI AUTOMATION, es necesario la integración de librerías que interpretan el sistema implementado en el PLC, para luego seleccionar la plataforma adecuada, según su modelo e inicializar la comunicación con la PC.

2.7.1 Diagrama de flujo del sistema automático.

Para determinar el diagrama de flujo óptimo para el sistema se siguió el siguiente pseudocódigo:

1. Añadir las mezclas binarias en el reactor
2. Bajar el cilindro A, agregar agua hasta que llegue al volumen requerido
3. Calentar el reactor y agitar hasta que la temperatura llegue al punto de ebullición.
4. Agregar alcohol hasta que llegue al volumen requerido.
5. Apagar el calentador, abrir la válvula de agua para el enfriador y agitar hasta llegar a temperatura ambiente.
6. Mover el cilindro B para que realice el volteo, realiza varias veces para verter el contenido en la bandeja, mover el cilindro C, para transportar la bandeja hasta el sitio de prensado.

7. Bajar el cilindro D por un tiempo y subirlo, repetir el proceso cuantas veces se crea necesario.

En el Figura 20-2 se presenta el diagrama de flujo utilizado en la implementación del sistema.

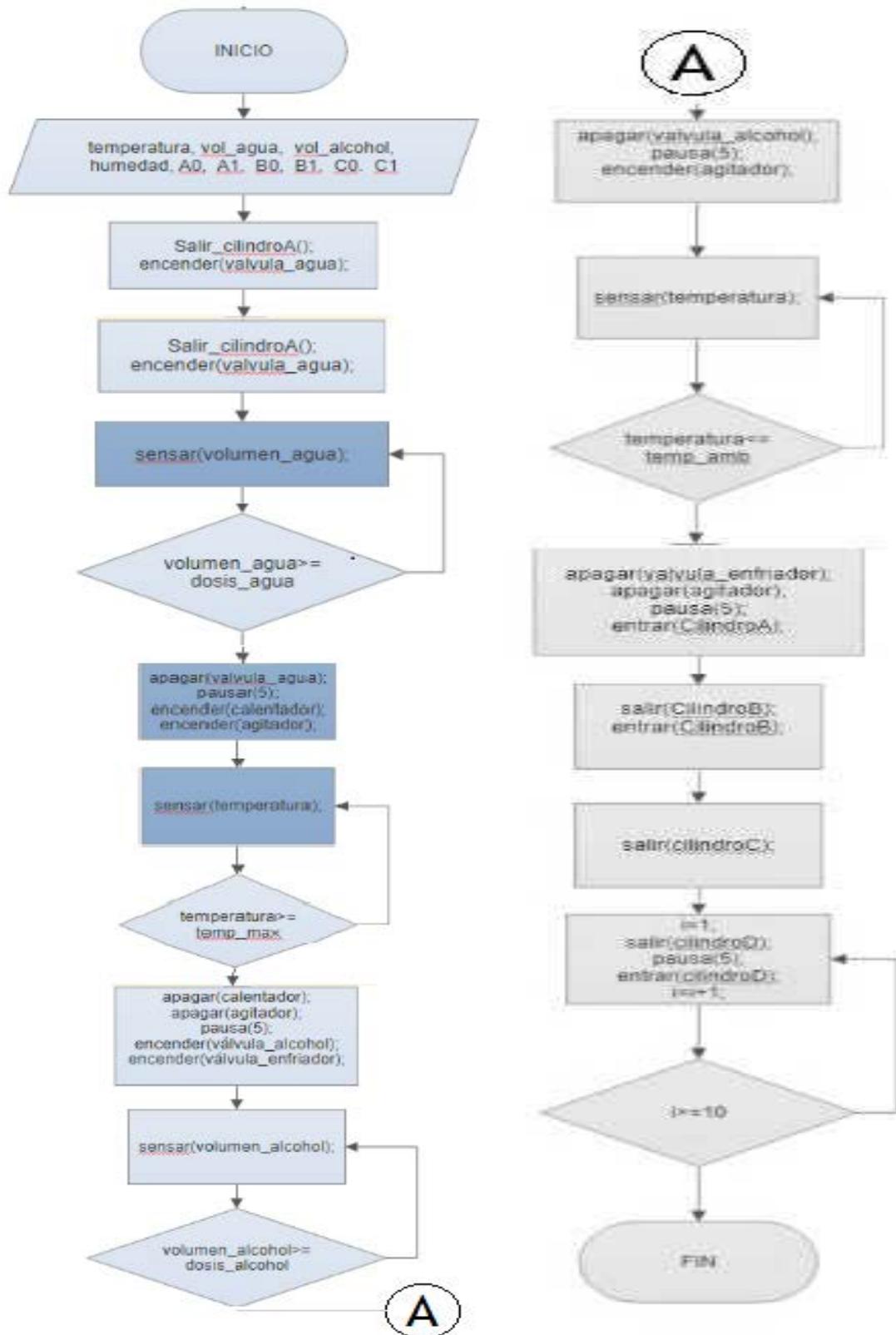


Figura 20-2: Diagrama de flujo del sistema automático.
 Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.8 Comunicación e Interfaz Hombre-Maquina

Con el fin de reducir el tiempo de exposición del artesano, se implementó una interfaz que permita al operador visualizar las variables que intervienen en el proceso, y poder intervenir sin riesgo alguno en la fabricación del explosivo. La HMI proporciona la información necesaria del proceso establecido y permitió la calibración correcta de cada dispositivo que interviene en el sistema automático.

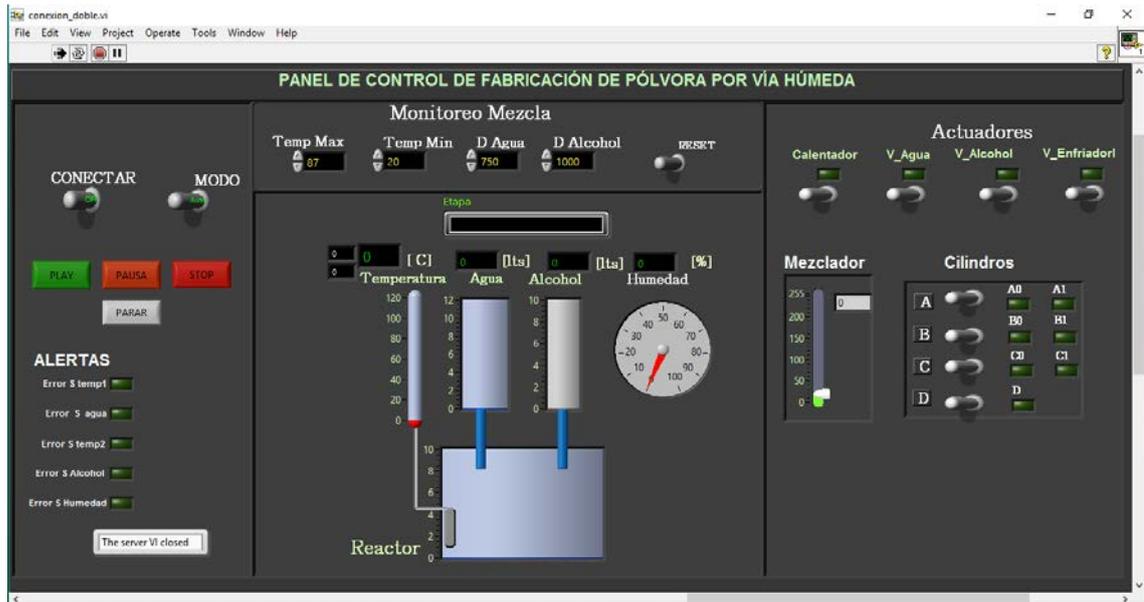


Figura 21-2: Interfaz de control Hombre-Maquina.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Para la implementación de la HMI se utilizó LabVIEW, una plataforma de alto nivel para el desarrollo de software de control y diseño que brinda un lenguaje de programación visual gráfico potente y de uso sencillo. La compatibilidad del software con varios protocolos de comunicación, beneficio la implementación de la interfaz por medio del protocolo TCP y el uso del puerto Ethernet que posee el controlador lógico programable.

2.8.1 Configuración del Controlador lógico programable

Para el envío y recepción de datos se utilizó el protocolo de comunicación Ethernet TCP, la plataforma Arduino por su versatilidad goza de compatibilidad con este tipo de estándar de comunicación, gracias a la inclusión de librerías facilita el uso de varios parámetros para establecer una comunicación correcta entre el PLC y la interfaz (HMI). Para el diseño se realizó de acuerdo a la norma ISA101.

Para definir la comunicación Ethernet en el CONTROLLINO MAXI AUTOMATION fue necesario:

- Dirección MAC
- Dirección IP
- Dirección IP del servidor DNS
- Dirección IP de la puerta de enlace
- Máscara de red

Después de definir los parámetros de comunicación es necesario iniciar la conexión en modo servidor, razón por la cual el controlador está a la espera de peticiones enviadas por el usuario a través de la HMI.



```
1 #include <controllino.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <Ethernet.h>
5 #include <OneWire.h>
6 #include <DallasTemperature.h>
7 #include <Servo.h>
8
9
10 OneWire ourWire(10); //Se establece el pin declarado como bus para la comunicación OneWire
11 DallasTemperature sensor_ds18b20(ourWire);
12 DeviceAddress dir_senaoor_temp1 = {0x28, 0xE3, 0x26, 0x28, 0x0, 0x0, 0x80, 0xEA}; //dirección del sensor 1
13 DeviceAddress dir_senaoor_temp2 = {0x28, 0x8, 0x1D, 0x28, 0x0, 0x0, 0x80, 0xCF}; //dirección del sensor 2
14
15
16 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
17 byte ip[]={192, 168, 0, 120};
18 EthernetServer ArduinoTCP(80);
19 EthernetClient cliente;
20 int bandera=0;
21
22
23 int temperatura1=0;
24 int temperatura2=0;
25 int temp_ambiente=0;
26 int temperatura=0;
27
28
```

Figura 22-2: Programación de la comunicación Ethernet.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

2.8.2 Programación y configuración de la interfaz Hombre-Maquina

El entorno LabVIEW brinda una programación gráfica mediante bloques y la unión de varios nodos generalmente denominados Vis, que sigue un modelo de flujo para ejecutar el programa. En el panel frontal tenemos todos los elementos necesarios para el desarrollo de una interfaz gráfica para manipulación del usuario, posee todo tipos de controles e indicadores para el desarrollo de una interfaz amigable y sencilla para el operador, en la figura se presenta la interfaz gráfica desarrollada para el control del sistema automático.

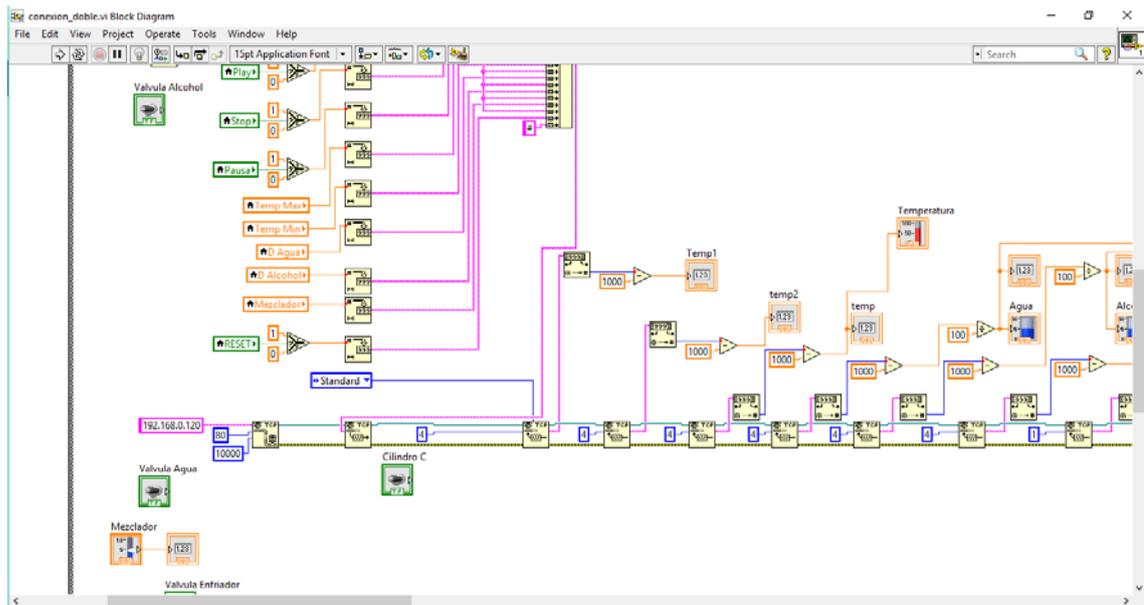


Figura 23-2: Programación de la HMI.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

La interfaz permite seleccionar dos modos de operación de la máquina, el modo manual permite al usuario manipular los actuadores de forma individual, para verificar su correcto funcionamiento en el sistema y visualizar los datos enviados por cada sensor para validar una calibración correcta del dispositivo. El modo automático permite al operador iniciar el proceso de fabricación de pólvora de forma remota, visualizar los datos enviados por los sensores durante el proceso e indicar la etapa en desarrollo.

En el Figura 23-2 se muestra el diagrama de bloques utilizado para la programación y envío de datos al controlador, para la correcta visualización y manipulación de parámetros del proceso y del sistema automático que permiten la elaboración de pólvora por vía húmeda.

CAPITULO III

3 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1 Introducción

En el presente capítulo se evidencia los resultados en pruebas realizadas en los dispositivos electrónicos, mecánicos y neumáticos que componen el sistema implementado, así como el análisis de su interacción dentro del sistema para el correcto funcionamiento del proceso automatizado. Se verifica funcionamiento de cada etapa del sistema para garantizar la eficacia del método de elaboración de pólvora utilizado, así mismo se analiza los alcances y limitaciones del sistema automático, tanto en su hardware y software. Además, se examina las ventajas y desventajas del método de producción por vía húmeda en comparación con los métodos previos a la automatización.

Finalmente se contrasta los resultados de sistema automático, con las técnicas artesanales utilizadas tanto cuantitativamente como cualitativamente. Adicionalmente se agrega un estudio económico del costo del sistema automático.

3.2 Comprobación de variables de dispositivos electrónicos de medida.

La garantía del método de producción de pólvora por vía húmeda se debe a la precisión y control de las variables que intervienen en el proceso, por ello se necesita una estricta calibración y funcionamiento de los sensores utilizados. Para verificar el funcionamiento correcto de cada uno se ha sometido a pruebas de medición utilizando diferentes tipos de equipos de medición de acuerdo con la variable puesta a prueba.

3.2.1 Prueba de medición de sensores de Temperatura.

El objetivo de la prueba es, verificar si el dispositivo de medición de temperatura mide valores reales, para ello se tomaron datos con el sistema de calentamiento, implementado con una carga en el reactor de 3 litros de agua. Con una temperatura inicial de 20 °C, se tomó valores cada

minuto y se comparó con el equipo patrón, el mismo que es un Multímetro Digital Marca Próskit MT- 1233C, que presenta una resolución de 1°C y un rango de -40~150 °C, con un error de 1.0%+3d. Igualmente el sensor utilizado presenta características en un rango de -10 a 85 °C un error de +0.5 a -0.5 °C, con una resolución de 0.1°C, se finaliza la prueba al alcanzar 20 datos. Los resultados de la prueba presentan resultados favorables con lo cual se verifica que el sensor mide valores reales de temperatura, en la tabla siguiente se puede apreciar los datos de la experimentación.

Tabla 1-3: Mediciones de temperatura.

<i>Tiempo</i>	<i>MT- 1233C</i> (°C)	<i>Sensor DS18B20</i> (°C)	<i>Error Absoluto (°C)</i>
0	20	20.2	-0.2
1	21	20.5	0.5
2	22	21.8	0.2
3	24	24.3	-0.3
4	28	27.2	0.8
5	30	29.9	0.1
6	34	32.9	1.1
7	36	36	0
8	41	38.7	2.3
9	42	41.6	0.4
10	46	44.3	1.7
11	48	47	1
12	50	49.7	0.3
13	53	52.5	0.5
14	55	55.2	-0.2
15	58	57.7	0.3
16	60	60.3	-0.3
17	63	62.6	0.4
18	66	64.8	1.2
19	67	67.3	-0.3
20	69	69.2	-0.2

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.2.2 Prueba de medición del sensor de Caudal de Alcohol.

El objetivo de esta prueba de medición es determinar la exactitud que brinda el sensor de Flujo YF-S201, por consiguiente, se analizaron 10 lecturas para determinar el nivel de error existente en el sistema de medición. Se utilizó para esta prueba un volumen de ½ litro de agua que se ubicó en recipiente de alcohol y se consideró las pérdidas en las tuberías de agua y en el mismo

contenedor, para ello se tomó el volumen de agua al final del circuito y se procedió a comprobar su masa, asumiendo que la densidad del agua es 1000 g/lit a temperatura ambiente, se pudo determinar la cantidad de agua final en volumen. Los datos recolectados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2-3: Mediciones de volumen en el sensor de caudal de Alcohol.

<i>N.º</i>	<i>Cantidad Inicial (ml)</i>	<i>Sensor YF-S201 (ml)</i>	<i>Pérdidas de agua en el circuito. (ml)</i>	<i>Error Absoluto (ml)</i>
1	500	400	12	88
2	500	380	12	108
3	500	390	13	97
4	500	380	12	108
5	500	380	26	94
6	500	390	13	97
7	500	380	11	109
8	500	380	14	106
9	500	390	16	94
10	500	390	13	97

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Para un análisis estadístico descriptivo, se procesaron los datos en una hoja de cálculo de Excel, como se muestra en la Tabla 3-3. Considerando la media muestral de los datos se puede concluir que existe un error alto en el cálculo del sensor, en consecuencia, necesita calibración.

Tabla 3-3: Estadística descriptiva del error absoluto en el sensor de caudal de alcohol.

<i>Error Absoluto</i>	
Media	99.8
Error típico	2.327612033
Mediana	97
Moda	97
Desviación estándar	7.360555535
Varianza de la muestra	54.17777778
Curtosis	-1.400750447
Coefficiente de asimetría	0.007188618
Rango	21
Mínimo	88
Máximo	109
Suma	998
Cuenta	10

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Calibración del Sensor YF-S201

Para la calibración del sensor de flujo de alcohol, se obtuvieron nuevos datos, esta vez se manejó la cantidad de volumen final con respecto al conjunto de pulsos entregado por el sensor como se muestra en la Tabla 4-3. EL objetivo de este análisis es mejorar la precisión de las mediciones entregadas por el sensor, mediante el uso del monitor serial, se obtuvo los pulsos entregados en cada prueba y con el volumen de agua se obtuvo mediante el peso de masa final de agua.

Tabla 4-3: Medidas del sensor YF-S201 según el número de pulsos.

<i>N.º</i>	<i>Volumen de Agua Inicial (lt)</i>	<i>Numero de pulsos</i>
1	0.54	214
2	0.55	220
3	0.5	202
4	0.55	220
5	0.55	219
6	0.55	220
7	0.55	219
8	0.54	217
9	0.54	216
Promedio	0.54	216.3

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Con el promedio de cada uno de los datos se estableció 216 pulsos para un total de 0.54 lt. de agua, los mismos que se usan en la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\text{Numero de pulsos}}{\text{Volumen}}$$

Ecuación 1-3 Ecuación de Calibración del sensor YF-S201.

Donde:

K: Factor de calibración [Pulso/lt.]

Numero de pulsos: Promedio total de pulsos obtenidos.

Volumen: Cantidad de agua en volumen. [lt].

$$k = \frac{216}{0.54}$$

$$k = 400 \frac{\text{Pulsos}}{\text{lt}}$$

3.2.3 Prueba de medición del Sensor de Caudal de Agua.

La prueba determina el grado de error expuesto en el sistema de dosificación de agua, se tomó varias muestras de dosificación verificadas con un recipiente graduado y se recogió los datos manifestados en el sensor, para muestras menores de un litro, se calculó el peso de la masa final obtenida para luego obtener el volumen, fundamentada en el hecho que la densidad del agua es 1000 g/lt a temperatura ambiente.

Tabla 5-3: Mediciones de volumen en el sensor de caudal de Agua.

<i>N.º</i>	<i>Cantidad dosificada (lt)</i>	<i>Sensor YF-S201 (lt)</i>	<i>Error Absoluto (lt)</i>
1	0.388	0.39	-0.002
2	0.398	0.39	0.008
3	0.405	0.41	-0.005
4	1	1.11	-0.11
5	1	1.12	-0.12
6	1	1.08	-0.08
7	2	2.05	-0.05
8	2	1.98	0.02
9	2	1.96	0.04
10	2	1.98	0.02

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Como resultado del análisis de datos expuestos anteriormente, se puede concluir que el sensor incluido en el sistema satisface los requerimientos deseados, todo esto se realizó con la ayuda de Microsoft Excel.

Tabla 6-3: Estadística descriptiva del error absoluto en el sensor de caudal de Agua.

<i>Error Absoluto</i>	
Media	-0.0279
Error típico	0.018290526
Mediana	-0.0035
Moda	0.02
Desviación estándar	0.057839721
Varianza de la muestra	0.003345433
Curtosis	-1.23547348
Coficiente de asimetría	-0.630443966
Rango	0.16
Mínimo	-0.12
Máximo	0.04
Suma	-0.279
Cuenta	10

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.2.4 Pruebas de medición del Sensor de Humedad.

Para establecer la humedad de la pólvora al final de proceso, se estableció implementar un sensor que este en contacto con el compuesto, con el objetivo de comprobar si el producto tiene las condiciones de humedad necesaria para garantizar la seguridad del operador al manipularla. Generalmente las técnicas de medición indirectas de humedad de suelo son calibradas por el método directo (Enciso, y otros, 2007), a consecuencia se dispuso parámetros para determinar el comportamiento del sensor frente a una muestra de 100 g de pólvora con diferente contenido de agua medido según su peso, comprobado por el método gravimétrico.

Tabla 7-3: Comportamiento del sensor de humedad.

<i>N.º</i>	<i>Peso de pólvora Seca (g)</i>	<i>Peso de Agua (g)</i>	<i>Peso de pólvora húmeda (g)</i>	<i>Sensor de Humedad (%)</i>	<i>Contenido gravimétrico del agua (%)</i>
1	100	0	100	0	0
2	100	4	104.2	15	4.2
3	100	8	108.1	40	8.1
4	100	12	111.8	64	11.8
5	100	16	116.3	66	16.3
6	100	20	120.1	77	20.1
7	100	30	130	78	30
8	100	40	141.1	80	41.1
9	100	50	149.7	80	49.7
10	100	75	175.6	80	75.6
11	100	100	200.5	80	100.5

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Como se observa en la tabla anterior el sensor de humedad crece de manera vertiginosa en relación con el método gravimétrico, debido a que el sensor usa como método de medida la conductividad del material, la precisión del sensor se ve opacada por la composición del suelo en medición. Para corregir los resultados obtenidos en la Tabla 7-3, se realizó el Grafico 1-3, en donde se observa mejor manera el comportamiento del sensor de humedad y se estipulo los cambios necesarios para obtener medidas que nos brinde los requerimientos necesarios, para determinar dimensiones humedad aceptables para asegurar la integridad del operador.

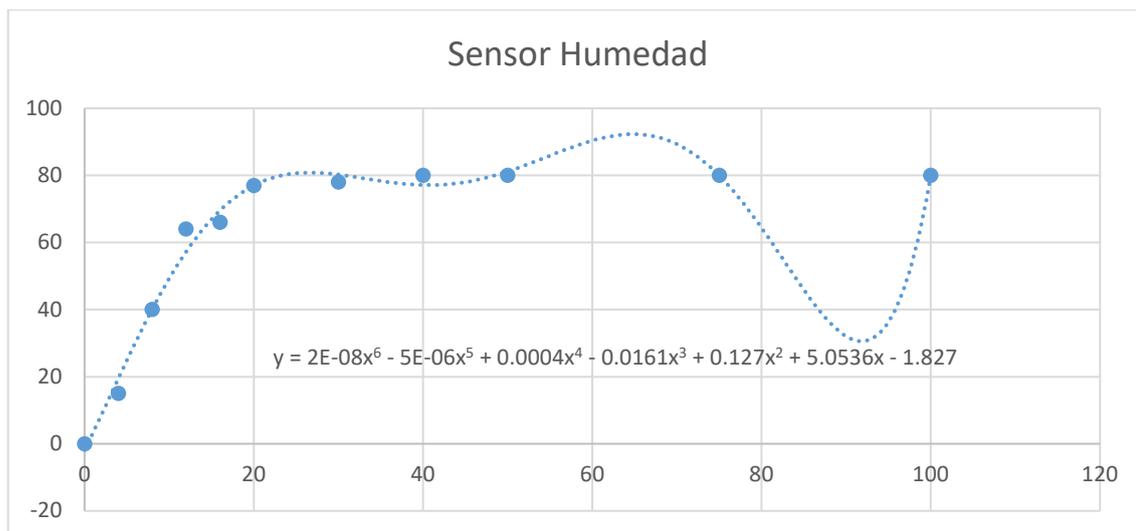


Gráfico 1-3: Contenido de agua en el material frente a medidas entregadas por el sensor.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.3 Análisis de repetibilidad.

La prueba de repetibilidad de datos nos permite conocer la capacidad de cada instrumento de medición de variables físicas, para dar el mismo resultado, en las mismas condiciones. El sensor de temperatura se sometió a calcular la temperatura del agua en condiciones ambientales, así mismo se estableció parámetros de medida para el sensor de flujo de alcohol de 500ml y para el sensor de flujo de agua de 1000 ml debido a los requerimientos estipulados en el sistema. Para el sensor de humedad se estipulo el 100% de humedad al estar totalmente sumergido en el agua con cierta cantidad de nitrato potásico, debido al aumento de conductividad ante la presencia de sales, los resultados son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 8-3: Pruebas de repetibilidad de los sensores.

<i>N.º</i>	<i>Sensor de temperatura (22°C)</i>	<i>Sensor de Caudal Agua (1L)</i>	<i>Sensor de Caudal de alcohol (0.5l)</i>	<i>Sensor de Humedad (100%)</i>
1	22.1	1.11	0.53	99
2	22.0	1.12	0.55	100
3	22.0	1.08	0.53	100
4	22.0	1.05	0.55	100
5	22.0	1.11	0.52	99
6	22.0	0.97	0.52	99
7	22.0	0.98	0.53	100
8	22.0	1.11	0.52	100
9	22.0	1.1	0.53	100

10	22.0	1.09	0.52	100
11	22.0	0.99	0.52	100
Media	22.01	1.06	0.53	99.73
Desviación estándar	0.03	0.06	0.01	0.47
Coefficiente de variación	0.001	0.054	0.021	0.005

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Los resultados son positivos para los requerimientos deseados del sistema, los sensores presentan estabilidad en sus medidas, a consecuencia de su coeficiente de variabilidad que es muy reducido por lo que indica que las muestras se encuentran muy cerca de sus medias. (Universidad de Málaga, 2010)

3.4 Comprobación de etapas del proceso.

El sistema de automatización requiere que cada una de las etapas estén en óptimo funcionamiento, el proceso una vez iniciado no puede pararse, la mezcla baja su calidad con el pasar del tiempo. Se hará la comprobación de funcionamiento en cada etapa descrita en el Capítulo II.

Para las pruebas se realizó un sistema de activación y monitoreo desde LABVIEW 2015 en comunicación directa TCP/IP de lectura/escritura con el CONTROLLINO. Esta HMI permite visualizar el comportamiento de los sensores y actuadores, mediante visualización de la magnitud medida por los sensores y activación de los actuadores.

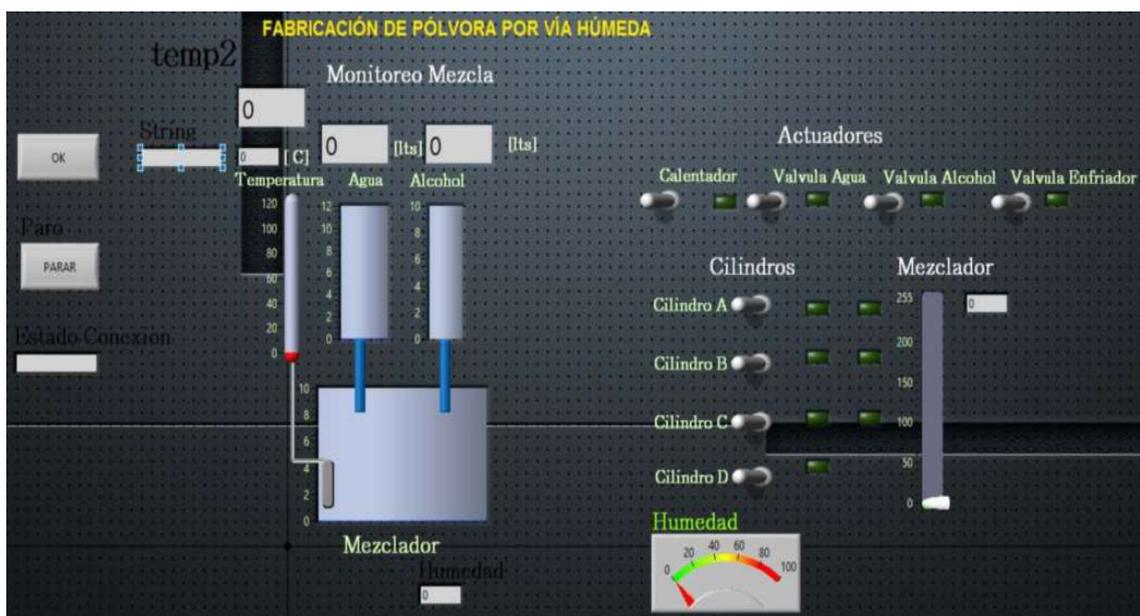


Figura 1-3: Panel de control.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

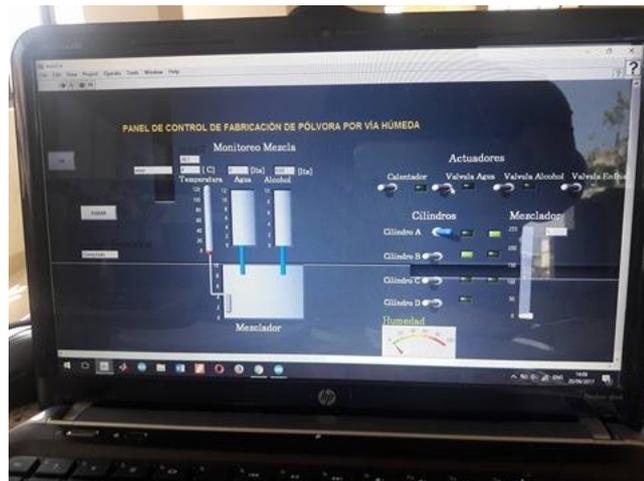


Figura 2-3: Ejecución de las pruebas con la ayuda de la HMI.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.4.1 Adición mezclas Binarias

Esta etapa no tiene relación con el sistema de automatización, pero es necesario mencionarlo para garantizar la calidad del producto terminado por ser una etapa determinante, conjuntamente es el punto de partida para iniciar el proceso de fabricación.

3.4.2 Dosificación de Agua

Para realizar la dosificación de agua en la mezcla, el cilindro A baja para que las tuberías no se mantengan estranguladas, junto con el cilindro se encuentra el agitador.

En el panel se activa el mando correspondiente para bajar y subir el cilindro A, de la misma manera la electroválvula de agua, se comprueba que en realidad el flujómetro está en funcionamiento, realizamos el proceso varias veces y observamos el comportamiento.

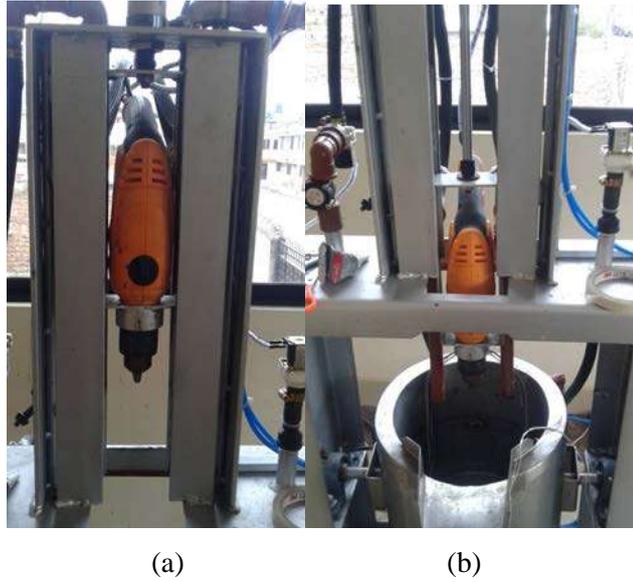


Figura 3-3: (a) Cilindro extendido, (b) Cilindro retraído.
 Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El movimiento del cilindro es excesivamente rápido, por lo que se requiere poner un racor regulador de caudal para bajar la velocidad de bajada. Al momento de conectar el sistema de agua potable a las cañerías de agua de la maquina la presión ejercida sobre las mangueras las tiende a deformar.

Se cambió circuito de tuberías hechas de manguera por un circuito con tubos y accesorios PVC de ½ Pulgada resistentes al calor.



Figura 4-3: Circuito de agua antes y después.
 Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.



Figura 5-3: Apertura de la electroválvula.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.4.3 Agitación y sistema de calentamiento.

Se activa desde el panel HMI el relé de la Resistencia con una cantidad prudente de agua para monitorear el calentamiento, en este caso se realiza una prueba de calentamiento con 3 litros de agua el equivalente a la mezcla que se va a usar. Las pruebas de calentamiento hacen notar que el punto de ebullición del agua es menor al calculado teóricamente, establecido en 88 °C, la temperatura ambiente en un lugar fresco y seco fluctúa entre los 16°C y 22°C, dependiente de la hora del día en la que se mida.

El Agitador produce un remolino bastante grande dentro del reactor, aumenta el tiempo de calentamiento en 12 min.

Los sensores de temperatura Ds18b20, se han colocado 2 para tener un mejor control, el cable hay que recubrirlo con silicón que soporta temperaturas altas para su protección, mientras que la sonda queda expuesta en el reactor.



Figura 6-3: Calentamiento y agitación en el reactor.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.4.4 Dosificación Alcohol

Para la dosificación de alcohol se activa el relé de control de apertura de la electroválvula visualizando en el HMI el volumen del mismo.



Figura 7-3: Prueba de dosificación de alcohol.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.4.5 Agitación y sistema de enfriamiento

En esta etapa es necesaria abrir la electroválvula de agua para llevar el doble fondo del reactor y así reducir la temperatura, monitorear el tiempo desde que la temperatura baja de punto de

ebullición a temperatura ambiente. Las pruebas se realizan con el llenado del doble fondo para circular agua fría y la otra únicamente quitando la fuente de calor y agitándola fuertemente.



Figura 8-3: Prueba de enfriamiento del reactor.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.4.6 *Volteo y Transporte*

El volteo del reactor se realiza para vaciar el contenido en una bandeja, para que en la etapa siguiente sea filtrado y prensado. Para el volteo se optó en primera estancia con un motor DC con caja de engranajes, siendo poco efectivo en el trabajo por su dificultad de control de velocidad y su torque insuficiente para mover el reactor a una velocidad prudente.

El sistema mecánico tuvo que ser sustituido por otro accionado por un cilindro (Cilindro B), hubo la necesidad de poner racores regulables para bajar la velocidad tanto de salida como de entrada, para un volteo totalmente controlado.



Figura 9-3: Sistema de volteo con motor DC y con cilindro de doble efecto.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El transporte del cilindro es realizado con un pistón (Cilindro C) que empuja la bandeja llena con el material y lo posiciona para el prensado. Este sistema tuvo que ser modificado por motivo de pérdida del materia al realizar el volteo, la bandeja no era suficientemente grande para abarcar todo el material.

Para modificar este proceso, se modificó la dirección del transporte de la bandeja, desde el lado derecho hacia la parte delantera como se muestra en la Figura 3-10.



Figura 10-3: Modificación del sistema de transporte y posicionamiento de la bandeja.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.



Figura 11-3: Sistema de transporte y posición de la bandeja.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.4.7 *Prensado*

Una vez posicionada la bandeja, el pistón baja fuertemente para realizar el prensado de la pulpa, este procedimiento es realizado consecutivamente, se determinó que el número de prensados es de 15 a 20 repeticiones.

El cilindro al no tener el pistón fijo, hace que no coincida la plancha de prensado con la bandeja, siendo necesario la ubicación de guías para que coincida con la bandeja.



Figura 12-3: Sistema de prensado sin guías.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.



Figura 13-3: Sistema de prensado con guías alrededor del pistón.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5 Sistema automatizado, comprobación y ajuste de la receta.

Con el sistema automatizado puesto a punto, se va a realizar la prueba con la receta calculada en el Capítulo II, para así evaluar todas las etapas del proceso.

Tabla 9-3: Receta en proporción 75,15,10 para 1 Kg.

Elemento	Masa (g)
Nitrato Potásico KNO₃	750
Coque	150
Azufre	100

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 10-3: Receta para las Mezclas Binarias.

	MEZCLA BINARIA 1	MEZCLA BINARIA 2
Elemento	Masa (Kg)	Masa (Kg)
Nitrato Potásico	0.75Kg	--
Coque	0.04Kg	0.11Kg
Azufre	--	0.10Kg
TOTAL	0.79Kg	0.21Kg

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 11-3: Valores de dosificación y valores de temperatura máxima y mínima.

Magnitud	Valor parcial		Valor Total
Agua (ml)	Agua	342.3	965.48
	Adición por evaporación	623.28	
Alcohol (ml)			855.75
Temperatura Máxima (°C)			94.8
Temperatura Mínima(°C)			20

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.1 Adición mezclas Binarias

Existen varias proporciones para la elaboración de pólvora, que se ajustan al uso que se va a cumplir, la receta 75-15-10 es la comúnmente usada para la elaboración de pólvora en la pirotécnica Vizúete. Tomaremos las porciones descritas para un kilogramo y se añade al reactor.



Figura 14-3: Medida de peso cada elemento.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.



Figura 15-3: Obtención de mezclas binarias N-C y C-S por conminución.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.



Figura 16-3: Adición de mezclas binarias en el reactor.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.2 Dosificación de agua

Agregar la cantidad de agua de la receta para iniciar el agitado. La temperatura de ebullición tomada experimentalmente es de 88°C, reduciendo así la cantidad de agua total a agregar en el reactor.

El nuevo valor de la tasa de evaporación es de: 492.17, reduciendo 131,11 ml. La dosis de agua es de 834.47 ml. Se añade esta cantidad de agua para realizar la siguiente etapa.

3.5.3 *Mezclado con calentador*

Se va a iniciar el calentamiento de la mezcla y al mismo tiempo el agitado, se determinó que para un agitado fuerte y no demasiado violento se trabaja con el 45% del PWM del motor.



Figura 17-3: Agitado y calentamiento de la mezcla.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.4 *Dosificación Alcohol*

El volumen de alcohol a agregarse no difiere ya que teóricamente al terminar el calentamiento y agitado, el agua volverá al volumen sin agregar la tasa de evaporación, el volumen de alcohol será el mismo 855.75ml agregados al inicio del proceso a temperatura de 0°C.



Figura 18-3: Introducción de alcohol en el depósito temporal.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.5 *Mezclado con enfriador*

Se realiza el agitado, al mismo tiempo el doble fondo del reactor, se hace fluir agua fría para bajar la temperatura rápidamente. Este proceso tarda aproximadamente 18min.



Figura 19-3: Agitación y enfriamiento de la mezcla.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.6 *Volteo y Transporte*

Una vez que la mezcla baja a temperatura ambiente se vierte la pulpa en la bandeja, esta debe tener un filtro textil para quitar el alcohol y agua sobrante.



Figura 20-3: Volteo del reactor.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.7 *Prensado*

Para el prensado se realiza 20 repeticiones en intervalos de 5 segundos abajo y 1 arriba, dando buenos resultados.

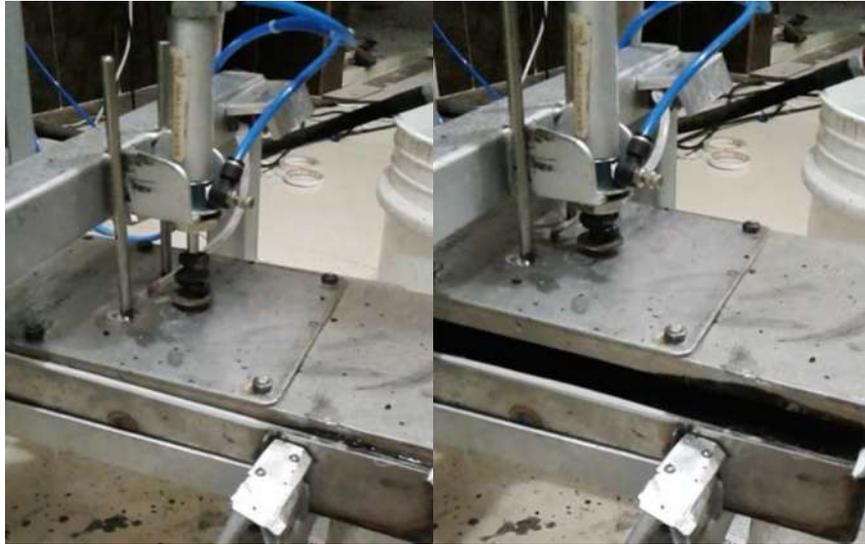


Figura 21-3: Etapa de prensado.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.5.8 *Finalización y etapas posteriores*

Desde esta etapa se termina la automatización y el acabado será manual.



Figura 22-3: Extracción manual de la bandeja.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

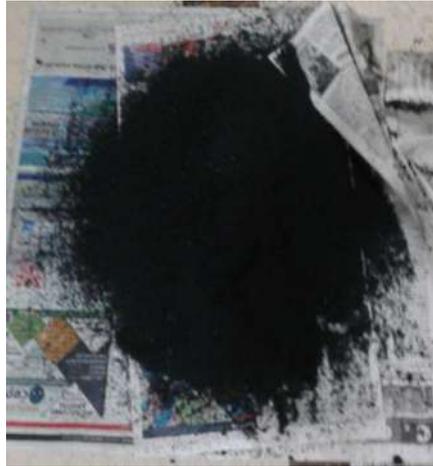


Figura 23-3: Granulado con 50 g de dextrina en una malla.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El producto terminado es sometido a la etapa de SECADO, para este proceso se lo realizara a temperatura ambiente por dos días con mediciones repetitivas de humedad.

La humedad del producto terminado es de 25%, calculada de acuerdo a la formulación gravimétrica.

3.6 Consumo de energía.

3.6.1 *Calculo de consumo de energía*

Para hallar el consumo de energía eléctrica, se mide las corrientes consumidas por cada componente, no necesariamente puede ser la corriente nominal, esta depende de cada componente. Las mediciones se los realiza con una pinza amperimétrica, obteniendo los resultados descritos en la tabla a continuación.

Tabla 12-3: Tabla de consumo DC.

N.º	Dispositivo (DC)	Tensión V (V)	Corriente I (mA)	Corriente Total(mA)	Potencia (W)
1	Fuente	24V DC	1700	1700	40.8
1	Controllino (PLC)	24V DC	750	750	18
1	Relé de estado solido	24V DC	36	36	0.86

4	Electroválvulas neumáticas x 4	24V DC	100	400	9.6
1	Modem	9V DC	600	600	5.4
2	Flujometro x2	5V DC	15	30	0.15
2	Sensor de Temperatura	5V DC	1.5	3	0.015
1	Sensor de Humedad	5V DC	200	200	1
2	Luces Piloto	24	20	40	0.96
1	Alarma	24	20	20	0.48
Potencia en DC total consumida					77.27W

Realizar por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 13-3: Tabla de consumo AC.

N.º	Dispositivo (AC)	Tensión V (V)	Corriente I (A)	Corriente Total(A)	Potencia (W)
1	Contactador	110V AC	0.1	0.1	11
1	Electroválvula de agua sin presión	110V AC	0.11	0.11	12.1
2	Electroválvulas de agua bajo presión	110V AC	0.07	0.14	15.4
1	Resistencia	110V DC	10	10	1100
1	Motor AC (taladro)	110V AC	5.9	5.9	650
Potencia en AC total consumida					1788.5W

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

La potencia total $P_t = P_{AC} + P_{DC}$, realizando la operación se tiene: $P_t = 1865.77W$, La energía consumida $E = P_t(W) \times T(h)$, el tiempo de operación de la máquina de acuerdo a las pruebas es de 1h 30min, para un 1Kg de pólvora: La energía consumida en este lapso de tiempo es de $E = 2798.2 W \times h$, convirtiendo a KWh, se tiene 2.798 KWh.

3.6.2 Consumo mensual

Según el ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, el consumo está dado por:

$$\text{Consumo Mensual} = \frac{P(W) \times \text{horas de uso al día} \times \text{días de uso mensual}}{1000}$$

Ecuación 2-3: Ecuación consumo mensual.

Fuente:(<http://www.centrosur.gob.ec/calcular-consumo>)

Las horas de consumo diario depende de la cantidad de pólvora que se requiera, siendo 1Kg la producción de la máquina en 1.5 Horas, según la empresa Artesana Pirotécnica Vizuite, se usará dos veces por día para 2 Kg en 3 hora por día. La producción se realizará 5 días a la semana (Días laborables), es decir 20 días al mes. El consumo es:

$$\text{Consumo Mensual} = \frac{1865.77 \times 3 \times 20}{1000}$$

$$\text{Consumo Mensual} = 111.895 \text{ KWh}$$

3.6.3 Costo mensual de energía

El pliego eléctrico tarifario del país, señala que los consumidores de poca energía, para vivienda, comercios pequeños se considera como consumidor residencial. En las provincias de la Sierra el consumo de energía de hasta 110KWh, paga la tarifa dignidad de ≈ 4 ctvs con un valor de comercialización de 70 centavos, en este caso supera el valor de consumo para aplicar la tarifa dignidad, por lo que pasa a formar parte de la tarifa residencial en el rango de 101 a 150 KWh.

Según los precios estipulados por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. presentadas en el Anexo F se estableció la carga tarifaria.

3.6.4 Calculo del costo de energía mensual.

La energía mensual consumida es de aproximadamente 111.895 KWh, para lo cual se va a aplicar las tarifas y hallar el costo de la energía mensual.

Tabla 14-3: Costo de consumo mensual.

	RANGO CONSUMO	Precio USD/ KWh	Consumo KWh	Costo USD
Consumo mensual	0-50	0.091	50	4.55
	51-100	0.093	50	4.65
	101-150	0.095	11.895	1.13
Comercialización USD/consumidor				1.414
TOTAL A PAGAR				11.74 USD

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El valor a pagar mensual por el consumo de energía Eléctrica de la maquina es de 11.74 USD.

3.7 Resultados previos a la automatización.

3.7.1 Tiempo de producción previo a la automatización.

Mediante los métodos de recolección de información antes mencionados se procedió al respectivo reconocimiento de resultados entorno a las técnicas de elaboración de pólvora negra. La molienda mediante el uso de piedras en forma similar a un mortero es el método utilizado en la empresa artesanal para la cual se desarrolló el proyecto, el proceso de fabricación es arduo y excesivamente peligroso debido a la presencia del artesano en todas las fases de la producción.

El tiempo empleado para realizar todo el proceso de compactación de los elementos está establecido según el tipo de pólvora a producirse, el compuesto de menor velocidad de combustión requiere un trabajo aproximadamente de tres horas para una producción alrededor de un kilogramo bajo condiciones ambientales normales. (Vizúete, 2017)

La pólvora que requiere mayor velocidad de ignición tiene un tiempo estimado de elaboración que se sobrepasa las cuatro horas de trabajo en condiciones ambientales aptas para asegurar la integridad del artesano y conseguir la calidad estipulada, consiguiendo así un total cerca de 1 kilogramo de pólvora negra. (Vizúete, 2017)

Para disminuir el riesgo durante la molienda se añade agua en proporciones pequeñas, por esta razón demanda un secado posterior a la elaboración que no es considerado, para determinar el tiempo de producción.

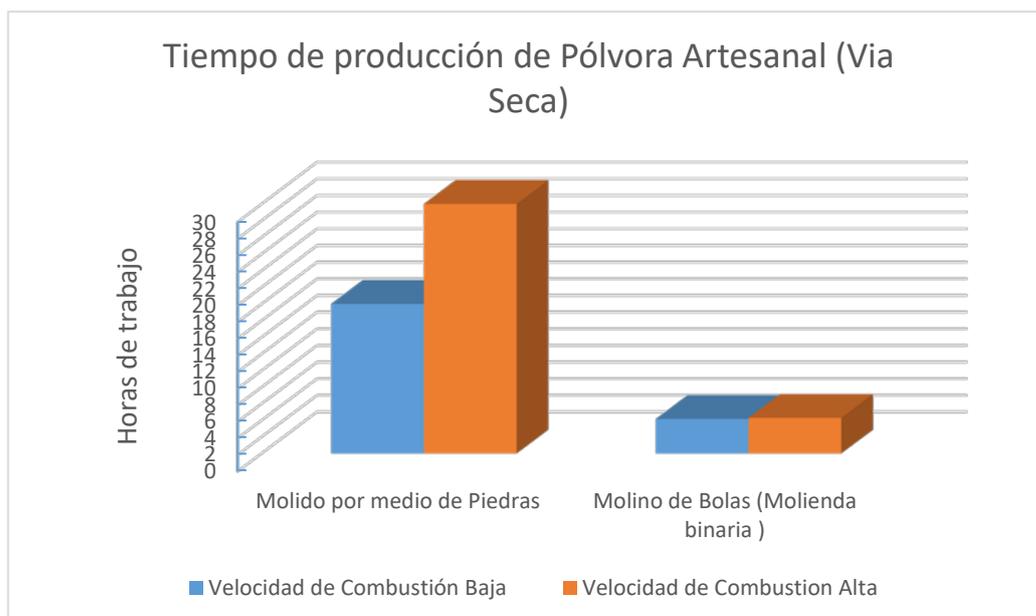


Grafico 2-3: Tiempos de producción de pólvora en métodos preliminares a la automatización.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Un método moderno y el más utilizado en la mayor parte de pirotecnias artesanales es el molino de bolas, la técnica no precisa la presencia del operador durante todo el proceso, sin embargo, requiere una exhaustiva verificación del sistema para evitar riesgos en la producción, a causa de que su implementación es con dispositivos electromecánicos que pueden generar condiciones inadecuadas. La molienda se realiza con mezclas binarias para reducir el peligro en la elaboración, donde el carbón y el azufre son pulverizados durante aproximadamente cuatro horas para luego agregar el tercer elemento y continuar con la molienda por diez minutos para pólvoras de baja velocidad de combustión y aproximadamente 20 minutos para pólvoras con mejores rendimientos. (Manobanda, 2017)

La ventaja de este método se contempla en la cantidad de producto obtenido, en un tambor de tamaño medio utilizado en un taller artesanal ubicado en la Ciudad de Pillaro, provincia de Tungurahua se pudo obtener como dato que su producción está bordeando los 6 kg de pólvora como resultado final. En el Grafico 3-2 se puede apreciar los tiempos de producción de la pólvora para los métodos investigados, la cantidad de producción esta específica en 6 kg para luego ser relacionada con el tiempo de trabajo.

3.7.2 Seguridad en la producción de pólvora previo a la automatización.

La seguridad que existe en métodos de fabricación artesanales es muy baja y en algunos casos totalmente impredecibles, el método más rústico donde se utilizan piedras como elementos de molienda es el más peligroso y casi imposible de controlar las variables que provocan la ignición de la pólvora, el método mejora con la adición de agua durante la trituración, sin embargo, en el taller artesanal se ha sufrido varios accidentes donde comprometen la extremidades superiores con quemaduras menores en las manos, a esto se adiciona un accidente de gran magnitud provocada por la molienda ternaria realizada en un molino de bolas, donde no se pudo determinar la causa exacta de la explosión del tambor. (Vizuete, 2017) Otro riesgo que sufre el artesano es la inhalación de los polvos que componen la pólvora lo cual es perjudicial para su salud, conjuntamente se puede añadir el temor que concibe la persona en el momento de la fabricación lo que puede provocar una incorrecta manipulación del componente.

El molino de bolas produce un rendimiento mayor al método anterior en cuanto calidad y seguridad, el riesgo disminuye en el momento donde la persona encargada de la fabricación se aleja de la zona de molienda actuando el sistema de manera autónoma, se puede agregar a todo esto el uso de una molienda binaria que aumenta la seguridad. El uso de este método con molienda ternarias convierte a la técnica en altamente peligrosa e inclusive de mayor grado que la técnica antes mencionada, a consecuencia que el producto se encuentra en total confinamiento, lo que puede producir una explosión de gran dimensión, dependiendo de la cantidad de producto en elaboración.

Los datos recogidos no mencionan mayores daños en el uso del método debido al estricto uso de mezcla binaria y control de las variables, que pueden provocar un accidente como los son el tiempo, temperatura, velocidad de rotación y un cabal cuidado al retirar el producto del tambor. (Manobanda, 2017)

Para determinar los riesgos existentes en cada uno de los métodos en estudio, se realizó un análisis de riesgos en las técnicas para obtener un producto final deseado. Uno de las técnicas más utilizadas en el ámbito de la seguridad es el Método de Mosler que tiene como objetivo identificar analizar y evaluar los factores que puedan influir en las manifestaciones de los riesgos. (González Fuentes, 2015)

Tabla 15-3: Análisis de Riesgos del Método utilizado por la Empresa Artesanal.

Tipo de Riesgo	Análisis del Riesgo						Evaluación del Riesgo					RIESGO
	F	S	P	E	A	V	I	D	C	PR	ER	
<i>Chispa por fricción</i>	4	5	5	1	5	5	20	5	25	25	625	Alto
<i>Aumento de temperatura</i>	4	5	4	1	4	5	20	4	24	20	480	Medio
<i>Chispa por Estática</i>	4	5	3	1	3	5	20	3	23	15	345	Medio
<i>Manipulación Errónea</i>	5	5	3	1	2	5	25	3	28	10	280	Medio
<i>Inhalación de Polvo</i>	1	4	1	1	3	2	4	1	5	6	30	Bajo
<ul style="list-style-type: none"> • Criterio de Función (F) • Criterio de Sustitución (S) • Criterio de Profundidad o Perturbación (P) • Criterio de Extensión (E) • Criterio de Agresión (A) • Criterio de Vulnerabilidad (V) 						<ul style="list-style-type: none"> • Importancia del Suceso (I) $I = F \times S$ • Daños Ocasionados (D) $D = P \times E$ • Probabilidad (PR) $P = A \times V$ • Riesgo Considerado (ER) $ER = C \times PR$ 						

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 16-3: Análisis de riesgos del Método por Molino de bolas.

Tipo de Riesgo	Análisis del Riesgo						Evaluación del Riesgo					RIESGO
	F	S	P	E	A	V	I	D	C	PR	ER	
<i>Chispa por E. Estática</i>	3	3	4	2	3	4	9	8	17	12	204	Medio
<i>Aumento de temperatura</i>	3	3	4	2	5	5	9	8	17	25	425	Medio
<i>Descarga del Material</i>	5	5	5	2	3	5	25	10	35	15	525	Medio
<i>Problemas eléctricos</i>	3	3	4	2	4	4	9	8	17	16	272	Medio
<i>Manipulación Errónea</i>	5	5	5	2	2	5	25	10	35	10	350	Medio
<i>Inhalación de Polvo.</i>	1	4	1	1	1	2	4	1	5	2	10	Bajo
<ul style="list-style-type: none"> • Criterio de Función (F) • Criterio de Sustitución (S) • Criterio de Profundidad o Perturbación (P) • Criterio de Extensión (E) • Criterio de Agresión (A) • Criterio de Vulnerabilidad (V) 						<ul style="list-style-type: none"> • Importancia del Suceso (I) $I = F \times S$ • Daños Ocasionados (D) $D = P \times E$ • Probabilidad (PR) $P = A \times V$ • Riesgo Considerado (ER) $ER = C \times PR$ 						

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

En el Anexo H se presentan las tablas con los valores cualitativos considerados para cada criterio usado en el método Mosler y la evaluación final para determinar el grado en que se encuentra cada tipo de riesgo analizado.

3.7.3 Calidad del producto final previo a la automatización.

La calidad del producto necesario para la pirotecnia artesanal, no difiere en mayor proporción en métodos secos, determinar una escala exacta con la cual se pueda evaluar la calidad de la pólvora artesanal es totalmente dificultoso, por el hecho que cada productor aprecia de manera diferente la velocidad de combustión y otras características de la pólvora según sus necesidades.

Una técnica utilizada para establecer la eficacia de la pólvora, es observar los residuos proporcionados al final de quema del producto, indicadores como retos de color blanco o rastros de carbón, permiten conocer la efectividad de la molienda. (Vizuete, 2017) Mediante el uso de una escala que tiene como máximo una valoración de 10, se pudo establecer un criterio de evaluación en base a la apreciación del artesano en cuestión, que debido a su experiencia en el campo puede diversificar la calidad de pólvora en los métodos analizados.

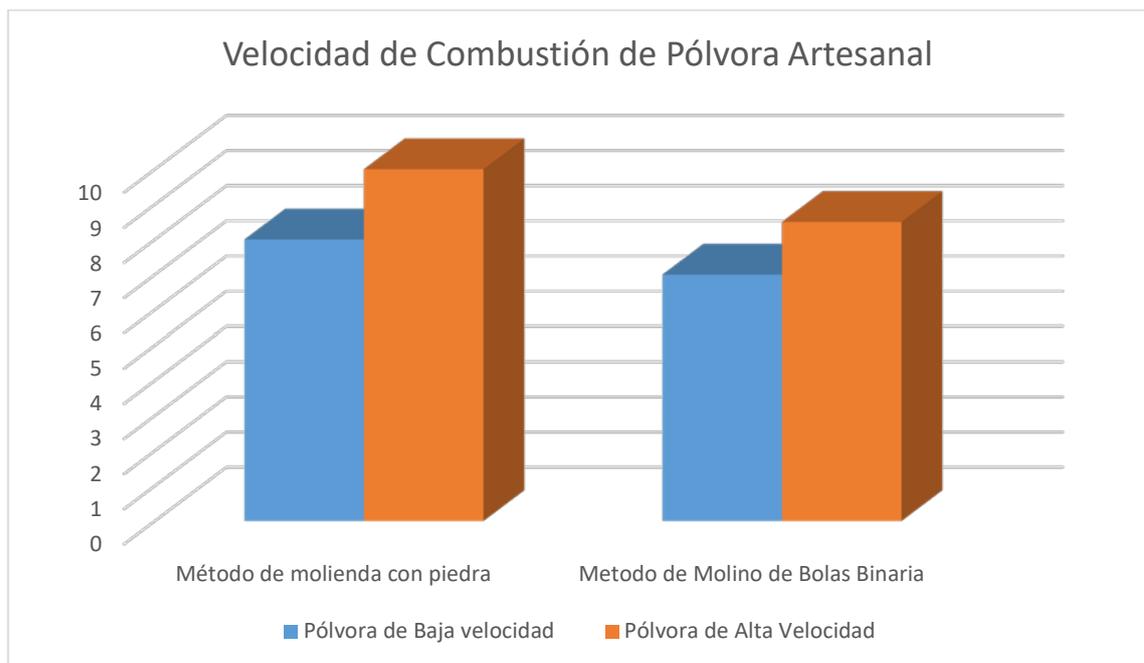


Gráfico 3-3: Velocidades de Combustión de Polvora Artesanal.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

3.7.4 Optimización de recursos previo a la automatización.

Los recursos utilizados en métodos por vía seca no van más allá de la materia prima que compone la pólvora, además de la introducción de agua que se puede depreciar por ser utilizado en proporciones reducidas. Según los datos recogidos mediante la entrevista la pérdida de material es casi nulo. El método que se asemeja a un mortero es el que menor pérdida provoca de material a razón que el artesano está presente durante toda su ejecución, se puede apreciar un pequeño aumento de pérdidas de material en el método de molino de bolas, donde la mayor parte de pérdida se da en las paredes del tambor. Esta estimulado un aproximado de 1 a 2 gramos de pérdida con el primer método y de 5 a 10 gramos en el método de molino de bolas dependiendo mucho del diseño del tambor y los elementos dentro del mismo.

3.8 Resultados posteriores a la automatización.

3.8.1 Tiempo de producción posterior a la automatización.

El tiempo de producción del sistema automatizado disminuye considerablemente en comparación con los métodos utilizados la empresa artesanal, métodos como el molino de bolas posee una ligera ventaja en tiempos de producción, pero resulta extremadamente peligroso inclusive realizando una molienda binaria debido que de igual manera se necesita al final del proceso moler todos los elementos conjuntamente.

Analizando los datos obtenidos con las pruebas realizadas para obtener una pólvora de alta velocidad se pudo concluir que el sistema se toma un tiempo promedio de 1 hora con 45 minutos terminar el proceso para su posterior granulación, la duración del proceso varía según las condiciones ambientales que se presenten, permitiendo reducir o aumentar el tiempo de calentamiento y descenso de temperatura.

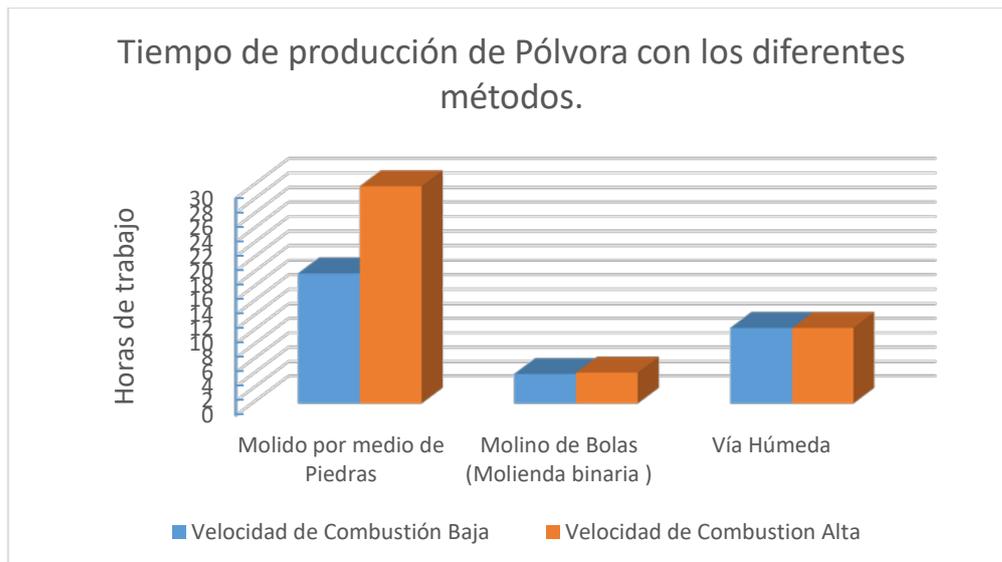


Grafico 4-3: Tiempo de producción los diferentes métodos de fabricación de pólvora.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

EL proceso realizado por el método de producción por vía húmeda requiere del mismo tiempo para obtener pólvoras de diferentes calidades, dependiendo totalmente de las fórmulas utilizadas para las diferentes velocidades que posee la pólvora. Al comparar los tiempos de producción de los diferentes métodos se redujo en 65 % del tiempo total empleado en la empresa.

3.8.2 Seguridad en la producción de pólvora posterior a la automatización.

Para el análisis de riesgos y seguridad del sistema se usó el método de Mosler, identificando los siguientes factores de riesgos presentes en el sistema automatizado.

- Chispa por fricción

De producirse una chispa por fricción del agitador con los componentes o el reactor, es probable que se produzca una chispa iniciadora, de producirse será totalmente mitigado por la humedad que lleva el material, siendo dificultoso que haya una iniciación de la pólvora en estado húmedo.

- Aumento de temperatura

El método por vía húmeda para la fabricación de pólvora tiene en una de sus etapas el calentamiento de los elementos (Nitrato-Coque-Azufre), siendo inminente el riesgo de calentamiento excesivo, al llegar al punto de ignición 115°C. este riesgo se produce al no existir un control adecuado de temperatura, donde el sistema reciba datos erróneos. Para mitigar este riesgo se colocaron dos sensores, el sistema será capaz de detectar un fallo en uno de ellos e informar al usuario a través de la HMI.

- Chispa por Estática.

Al no existir una adecuada puesta a tierra de los componentes físicos que componen el sistema automatizado, se produce una chispa ocasionada por la estática, al igual que la chispa por fricción no tiene riesgo de iniciación debido a la humedad.

- Manipulación Errónea

Al ser un sistema automatizado, el operador no tiene contacto directo con el proceso ni el material, el riesgo va enfocado a la manipulación errónea del sistema, sea por el operador al programar mal la receta, o por el mismo sistema al sufrir un desperfecto.

- Inhalación de Polvo

Las mezclas binarias (N-C y C-S), al no ser explosivas, son ingresadas en el reactor por el operador, formando una pequeña nube de polvo.

- Inhalación de gases tóxicos

En el proceso de extracción salina, se agrega el alcohol alifático, este es Metanol, al entrar en contacto con el ambiente y con el material caliente genera una nube gaseosa, si llega el operador a inhalar este gas produce un daño en el sistema respiratorio.

- Descarga Eléctrica

De producirse no tiene mayor afección en la iniciación de la pólvora por la humedad.

Tabla 17-3: Análisis de Riesgos del Sistema Automatizado para elaboración de pólvora por vía húmeda.

Tipo de Riesgo	Análisis del Riesgo						Evaluación del Riesgo					RIESGO
	F	S	P	E	A	V	I	D	C	PR	ER	
<i>Chispa por fricción</i>	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	4	Bajo
<i>Aumento de temperatura</i>	3	3	3	1	3	2	9	3	12	6	72	Bajo
<i>Chispa por Estática</i>	1	1	1	1	3	1	1	1	2	3	6	Bajo
<i>Manipulación Errónea</i>	1	1	2	1	3	3	1	2	3	9	27	Bajo
<i>Inhalación de Polvo</i>	1	3	3	1	4	3	3	3	6	12	72	Bajo
<i>Inhalación de gases tóxicos</i>	4	3	3	1	4	3	12	3	15	12	180	Bajo
<i>Descarga Eléctrica</i>	3	2	2	1	1	3	6	2	8	3	24	Bajo
<ul style="list-style-type: none"> • Criterio de Función (F) • Criterio de Sustitución (S) • Criterio de Profundidad o Perturbación (P) • Criterio de Extensión (E) • Criterio de Agresión (A) • Criterio de Vulnerabilidad (V) 						<ul style="list-style-type: none"> • Importancia del Suceso (I) $I = F \times S$ • Daños Ocasionados (D) $D = P \times E$ • Probabilidad (PR) $P = A \times V$ • Riesgo Considerado (ER) $ER = C \times PR$ 						

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Los resultados proporcionaron un riesgo muy bajo, siendo evidentemente de menor riesgo que los métodos tradicionales usados por la pirotecnia artesanal en el país. De entre los riesgos con más alta valoración de riesgo está la inhalación de gases tóxicos, es necesario usar mascarilla de protección y guantes en el caso de manipulación.

3.8.3 Calidad del producto final posterior a la automatización.

Se plateo una ficha para ir evaluando el proceso y la calidad del producto en 10 muestras de 1Kg pólvora, en proporción 75-15-10.

Tabla 18-3: Tabla de resultados del sistema.

ETAPA	Evaluación (Promedio)	Observación
<i>Adición de mezclas Binarias</i>	10	
<i>Dosificación de Agua</i>	10	
<i>Mezclado con calentador</i>	7	Presenta perdidas del material por salpicaduras.
<i>Dosificación Alcohol</i>	10	
<i>Mezclado con enfriador</i>	8	Presenta perdidas del material por salpicaduras.
<i>Volteo</i>	10	
<i>Transporte</i>	8	Movimiento brusco presenta perdidas.
<i>Prensado</i>	10	
<i>Granulado</i>	10	
Acabado	-	

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Las dosis de agua-alcohol se han establecido en un promedio de 850ml en ambos fluidos, con la particularidad del alcohol que este a 0° al momento de iniciar el proceso.

La temperatura máxima y mínima se establecieron en un valor de 76°C en un tiempo aproximado de 40min para el calentamiento, y la temperatura mínima será a temperatura ambiente, en la localidad hay una temperatura promedio de 23°C.

La calidad final, evaluada desde el punto de vista del encargado de la empresa artesanal mejora al proceso tradicional vía seca (mortero) en un 10%, evaluado de la cuantificación de la velocidad de acuerdo al uso que se le dé en la pirotecnia.

La humedad resultante es del 40% siendo este un punto saturado de acuerdo a las pruebas realizadas en esta investigación. El riesgo de ignición de la pólvora esta cuando la pólvora tiene un valor de 5-8% de humedad.

3.8.4 Optimización de recursos posterior a la automatización.

La optimización de recursos materiales con sistema automático implementado posee un aumento de perdidas debido a que el compuesto durante la agitación emite salpicaduras que se pegan en el reactor, se han cuantificado estas pérdidas en aproximadamente 100g por cada Kilo de pólvora a elaborar, siendo el 10% de la cantidad total, presentando pérdidas de 12 USD por mes. Se puede depreciar las pérdidas de las sustancias implicadas en la fabricación a razón que el agua que circula a través del sistema de enfriamiento se puede reutilizar en otras actividades de la empresa y el alcohol restante se puede volver a usar en un nuevo proceso realizando un tratamiento adecuado.

3.9 Análisis del sistema de automatización.

La automatización de un proceso ayuda a resolver una problemática, por lo general se busca cambiar una actividad manual en forma automática. Al establecer el objetivo que debe alcanzar el sistema se espera que se cumpla de la mejor manera.

Dentro del análisis del sistema se va a evaluar en 7 factores fundamentales (Factores de Análisis al realizar una automatización, 2011):

3.9.1 Implementación

En este factor se verifica los mecanismos usados, los dispositivos de medición, entre otros.

Mecanismos y mediciones.

Se evalúan los mecanismos usados en el sistema de acuerdo a las etapas que se planificaron en el Capítulo II.

➤ Adición de mezclas Binarias

Es un mecanismo de accionamiento completamente manual, por ser parte principal del procedimiento está incluido en la primera etapa. La importancia de las mezclas binarias influye enormemente en el producto final, en esta etapa el operador realiza las mezclas binarias en dos bolsas separadas, en proporciones exactas, la exactitud de estas proporciones depende del operador más no del sistema.

➤ Dosificación de Agua

La dosificación de agua es un sistema conectado a la red de agua potable del sector, una electroválvula deja fluir el líquido por la tubería, al mismo tiempo el sensor de flujo mide el volumen de agua, el sensor no necesita calibración. El sistema funciona correctamente sin ningún inconveniente, siempre y cuando haya agua en la red de agua potable.



Figura 24-3: Entrada de la red de agua potable al Sistema automatizado.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.



Figura 25-3: Válvula y sensor para la dosificación de agua.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

➤ Mezclado con calentador

Esta etapa eleva la temperatura de la mezcla con una resistencia de 1000W y necesita que el agitador este en posición, en consecuencia, tiene un mecanismo para bajar el mezclador al reactor, accionado por un cilindro neumático de doble efecto. El mecanismo de posicionamiento del agitador no necesito ajuste, es necesario evaluar el golpe de retorno para colocar una válvula de escape en el retorno del cilindro, al posicionarse queda totalmente ajustado evitando vibraciones en el agitado.



Figura 26-3: Posicionamiento del agitador.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

El calentamiento está en la parte inferior del reactor, queda aislado de salpicaduras para evitar que la materia se concentre cerca de la fuente de calor llegando a secarse y posterior ignición, el calentamiento marcha según lo planificado, para cuantificar la magnitud de la temperatura están colocados dos sensores, para una mayor confiabilidad de medición.

➤ **Dosificación Alcohol**

Esta etapa consta de un dispositivo de medición flujómetro, y una electroválvula de paso del fluido, conducidos por una cañería para la dosificación de alcohol. El mecanismo funciona perfectamente al abrir la válvula de paso fluye el alcohol por acción de la gravedad.

El flujómetro después de la calibración tiene un error de 20 ml, lo que no tiene efecto nocivo sobre la mezcla.



Figura 27-3: Sistema de dosificación de alcohol.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

➤ **Mezclado con enfriador**

En este sistema, una válvula de agua hace llenar el doble fondo del reactor para enfriar la mezcla, el líquido enfriador es agua proveniente de la red de agua potable, una vez lleno desaloja el agua que ha absorbido el calor del reactor, el enfriamiento es rápido en comparación con el calentamiento.



Figura 28-3: Sistema de enfriamiento.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

➤ Volteo

El mecanismo de volteo realiza un giro de aproximadamente 165° , siendo suficientes para voltear el reactor y realizar el vaciado del mismo, la posición del pistón neumático si hay dos finales de carrera tanto a 0° y para 165° , por la presión de aire, resulto conveniente usar dos válvulas reguladoras de salida de aire.



Figura 29-3: Sistema de volteo del reactor.
Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

➤ Transporte

El cilindro mueve la bandeja desde la posición de vaciado del reactor hasta la compresión, el mecanismo funciona normalmente, se sugiere elaborar una

bandeja más grande para mayor facilidad de acceso al material una vez terminada la mezcla.



Figura 30-3: Sistema de transporte.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

➤ Prensado

Con la bandeja en posición, empieza a prensar repetidas veces para quitar el exceso de humedad en la mezcla. La bandeja tiene un compartimiento para el filtrado de agua-alcohol en la pólvora.



Figura 31-3: Sistema de prensado.

Fuente: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

➤ Granulado

Se realiza manualmente, después de extraer la bandeja con la pólvora, no es peligroso en absoluto, el tamaño del grano depende del uso que se lo vaya a realizar dentro de la pirotecnia.

➤ Secado

La pólvora en estado húmedo no se la puede usar en la pirotecnia directamente, necesita un proceso de secado, el operador expone la mezcla al ambiente, siendo supervisado continuamente.

➤ Acabado

Esta etapa se ejecuta para usos comerciales, ya que eleva significativamente la calidad de la pólvora, en la investigación no se va hacer énfasis en esta etapa por estar centrada en el uso netamente artesanal.

3.9.2 Recursos Humanos

El elemento humano es primordial en todo proceso, los sistemas de automatización se realizan para evitar actividades peligrosas o difíciles de hacer por una persona, para mejorar la productividad y calidad. En la investigación se busca mejorar la calidad y la seguridad en el proceso de fabricación, siendo necesario mantener la integridad del ser humano mientras elabora un producto de mejor calidad.

El sistema necesita de un solo operador, no necesariamente experto en el tema, pero si debe tener claro el proceso en caso de algún inconveniente. De acuerdo a la legislación del país el manejo de explosivos solo debe ser realizado por personas calificadas, siendo obligatorio que el operador sea la persona encargada de la empresa artesanal.

3.9.3 Recursos económicos

El análisis económico de los costos tanto del sistema automático como el análisis de la producción se presenta en el apartado 3.10.

3.9.4 Grado de automatización

La elaboración de pólvora por vía húmeda conlleva varias etapas, requieren intervención del humano por lo que no es un sistema completamente automatizado, las etapas de agregar las mezclas binarias y acabado, son realizadas manualmente. La elaboración no incluye el acabado, por esta razón se denomina un sistema totalmente automatizado.

3.9.5 Niveles de automatización

Está a nivel 3, denominado nivel Por Proceso, ya que combina varias actividades para la elaboración del producto en este caso pólvora.

3.9.6 Tecnología Empleada

Técnicas de cableado implementadas.

El sistema posee un contacto para el circuito de fuerza (resistencia), para controlar la velocidad del agitador usa un relé en estado sólido DC-AC, el cableado está debidamente dimensionado sin presentar fallos en caídas de tensión o calentamiento del conductor, para los sensores es necesario usar cables de instrumentación para evitar el ruido en el trayecto de los conductores de todos los sensores.

Técnicas programadas

Por la gran cantidad de entradas y salidas y debido a que el uso será en empresas artesanales, se usó el Controllino, como base tiene un Arduino MEGA, su gran cantidad de entradas y salidas a 24 y 12 V, además sus pines de 5 permiten tener un Arduino con protección de un PLC, el costo es más barato comprado a los PLCs industriales.

El control de velocidad realizado por un PWM a un Motor DC, en el agitado. El control neumático a través de válvulas 5/2, dos posiciones siendo un control on/off.

El control de sensores calibrado para reducir al máximo los errores, en la etapa de calentamiento y agitación, es inminente el riesgo de sobre calentamiento debido a falla en los sensores, se usaron 2 sensores en el caso de que uno muestre error el otro seguirá en funcionamiento, el sistema inhabilita al primero. Los sensores de flujo y humedad, están calibrados y en caso de medidas erróneas, el sistema envía una alerta del error.

La comunicación con el HMI es opcional, dejando al sistema independiente de que si hay o no un usuario solicitando conexión al servidor (Arduino Ethernet).

El sistema tiene dos modos de uso (Manual y automático), el anual involucra manipular los actuadores desde el HMI todo el proceso, en caso de fallo no se pierde la producción.

El modo automático, requiere únicamente una vigilia en caso de fallo para tomar el control manual, evitando pérdidas de la producción.

3.9.7 Productividad y Calidad

El análisis de la productividad y calidad se realizó en la sección 3.8.3 conjuntamente con el análisis de la optimización de recursos en el punto 3.8.4.

3.10 Análisis económico

Los costos para la fabricación se detallan de la siguiente forma.

Tabla 19-3: Costos directos e indirectos de fabricación.

Concepto	Valor USD
<i>Materiales para la implementación</i>	2200
<i>Mano de obra</i>	732
<i>Movilización</i>	100
<i>Servicios Básicos</i>	60
<i>Depreciación maquinaria</i>	35
TOTAL	3127 USD

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Para que la maquinaria esté en funcionamiento se establece una tabla detallada, tomando en cuenta el valor de energía calculado en el Capítulo II 11.74 USD, si se usan 20 veces al mes, a esto se le añade el precio de la materia prima para la elaboración de pólvora y sueldo del operador. El análisis es mensual.

Tabla 20-3: Costo Materia prima para 1Kg.

Material	Cantidad (Kg)	Precio USD/Kg	Precio USD
<i>Nitrato</i>	0.75	6	4.5
<i>Coque</i>	0.15	4	0.6
<i>Azufre</i>	0.1	3	0.3
<i>Dextrina</i>	0.05	12	0.6
TOTAL			6 USD

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Tabla 21-3: Costo para elaborar 20 Kg al mes.

Concepto	Valor parcial 1Kg	Valor (USD/mes)
<i>Energía Eléctrica</i>	-	11.74
<i>Materia Prima</i>	6	120
<i>Alcohol</i>	1.7	34
<i>Mano de obra</i>	4.56	91.2
TOTAL		256.94 USD

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Haciendo una tabla comparativa entre los costos de la pólvora de los diferentes métodos de elaboración y adquisición.

Tabla 22-3: Tabla comparativa de costos de la pólvora por diferentes métodos.

Vía Húmeda	Vía seca (mortero)	Vía Seca (Molino)
256 USD	348 USD	400 USD

Realizado por: Paucar Elvis; Masaquiza Bryan; 2017.

Los costos para elaborar 20Kg de pólvora por los distintos métodos, nótese que la vía húmeda es menos costosa que los dos métodos por vía seca, lo primordial es la seguridad y la vía húmeda cumple este parámetro.

CONCLUSIONES

Luego de la investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se identificó los problemas de seguridad en la fabricación de pólvora artesanal por vía seca, provistas en la empresa artesanal donde se implementó el proyecto, así como chispa por fricción de riesgo alto, aumento de temperatura, chispa por estática y manipulación errónea de riesgo medio e inhalación de polvo de riesgo bajo.
- Se diseñó un sistema automatizado para cumplir con los requerimientos estipulados por la producción de pólvora por vía húmeda, que es un método totalmente seguro en la mayoría de sus etapas, exceptuando la fase de acabado donde el producto se encuentra totalmente seco la misma que no es necesaria en producción artesanal.
- El sistema automatizado se implementó con éxito en la Empresa Artesanal pirotécnica Vizuite, reduciendo la alta peligrosidad que existe en la fabricación de pólvora negra, considerándose una herramienta que brinda seguridad al artesano, convirtiéndolo en el primer sistema automatizado del país, que implementa el proceso de fabricación por vía húmeda. El sistema puede ser controlado de manera remota a través del HMI, reduciendo el contacto físico con la pólvora.
- El sistema brinda la calidad de pólvora requerida en la pirotecnia artesanal, produce pólvora de menor velocidad, necesaria en la pirotecnia. De acuerdo al criterio manifestado por el artesano.
- El tiempo de producción mediante el sistema implementado mejora, frente a la técnica anteriormente utilizada por el artesano y posee una ligera desventaja frente al método de molino de bolas, que es totalmente depreciable considerando la seguridad que brinda el proyecto.

RECOMENDACIONES

Concluido el trabajo de titulación, se recomienda lo siguiente:

- Seguir las instrucciones de seguridad y operación del sistema, estipuladas en el manual de usuario. Puntualmente, no exceder la capacidad máxima y usar el equipo de protección personal.
- Dar el mantenimiento adecuado al sistema, poniendo énfasis en la limpieza del mismo, eliminando residuos del producto, para el próximo ciclo de la máquina, evitando así ignición de pequeñas partículas de pólvora emitidas durante el agitado.
- Usar la protección necesaria durante la extracción del producto y durante cualquier etapa del proceso, especialmente al ser agregado el alcohol ya que puede producir daños al operario.
- Mejorar la extracción del producto en el reactor para optimizar las pérdidas existentes del producto y evitar el contacto del operario con el producto en esta etapa.
- En futuros trabajos de investigación, ajustar a un sistema de control inteligente, es decir, al añadir el material en el reactor, el sistema pueda calcular, modificar las variables y dosis, para la masa que fue ingresada con el fin de evitar pérdidas y garantizar la calidad final del producto.

BIBLIOGRAFÍA

Arduino. Arduino Software. [En línea] Arduino, 2017. Disponible en:
<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

BARZALLO NÚÑEZ, Daniel Isaias. *Repotenciación y automatización de una máquina pulidora, abrillantadora con rodillo de ámbar utilizando plc, para la empresa andicueros* [en línea] (TESIS). (PREGRADO) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba-Ecuador. 2013. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2902/1/108T0068.pdf>

BORJA VEGA, Edwin Rodrigo & HARO ROMO, Francisco Andrés. *Repotenciación y automatización de una máquina cargadora de cuero para cadena aérea utilizando PLC para la empresa Andicueros.* [En línea] (TESIS). (PREGRADO) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba-Ecuador. 2013. pag 45. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2907/1/108T0069.pdf>.

BRETSCHER, Ulrich. Ulrich Bretscher's Black Powder Page. *Ulrich Bretscher's Black Powder Page.* [En línea] Septiembre de 2009. [Citado el: 23 de Mayo de 2017.] Disponible en:
<http://www.musketeer.ch/blackpowder/history.html>.

CHANCUSIG CHANCUSIG, Mario Fernando, & BALSECA CHICAIZA, Alvaro Bladimiro. *Diseño e implementación de un sistema automatizado para una embutidora de cárnicos de la Facultad de Ciencias Pecuarias.* [En línea] (TESIS). (PREGRADO) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba-Ecuador. 2016. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6126/1/108T0180.pdf>.

COLINA IREZABAL, Ma. Luisa. *Mezcladores de alimentos fluidos .* [En línea] 2013. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/mezclado_fluidos.pdf

CONELCOM. Controllino. [En línea] 2017. Disponible en: <http://controllino.biz/controllino/>.

Course_default. OpenCourseWare. *Dispositivos hidraulicos auxiliares.* [En línea] 2007. Disponible en: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page_05.htm.

CRESPO PRIETO, Emilio José. *Producción de Pólvoras Salinas por vía Húmeda.* [En línea] (TESIS). (PREGRADO) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. España, 2015. Disponible en:
http://oa.upm.es/39722/1/PFC_EMILIO_JOSE_CRESPO_PRIETO.pdf.

CREUS SOLÉ, Antonio. *Neumática e Hidráulica.* Barcelona : MARCOMBO , 2007.

DANERI, Pablo. *PLC Automatización y Control Industrial.* Buenos Aires : Hispano Americana, 2008.

EL TELÉGRAFO. En algunos sitios del país también se elabora pirotecnia en las casas. Allí los moradores, desde niños hasta adultos, hacen petardos artesanales. *JUSTICIA.* 2016.

ENCISO, Juan M.; PORTER, Dana y PÉRIÈS*, Xavier. *Uso de sensores de humedad del suelo eficientizar el riego.* Texas : Texas A&M AgriLife Extension Service, 2007.

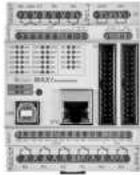
Factores de Análisis al realizar una automatización. Sonora : Universidad de Sonora, 2011.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Cubijies.** Historia de la Parroquia Cubijies. [En línea] 2003. Disponible en: <http://cubijies.gob.ec/index.php/la-parroquia/historia>.
- Gobierno del Estado de México.** *Pirotecnia mexicana. Artesanía de fuego.* Mexico : Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal, 2013.
- GONZÁLEZ FUENTES, Francisco Javier.** Baluarte. *Análisis Cuantitativo de Riesgos: El Método Mosler.* [En línea] 26 de Junio de 2015. Disponible en: www.BaluarteOnline.com.ar.
- LEDGARD, Jared B.** *The Preparatory Manual of Black Powder and Pyrotechnics.* Seattle : A LABORATORY MANUAL, 2006.
- MALTITZ, Ian von.** *Black Powder Manufacturing, Testing & Optimizing.* Dingmans Ferry : American Fireworks News, 2003.
- MANOBANDA, Enrique.** *Elaboración de Pólvora .* Pillaro, Mayo de 2017.
- Pirotecnia un arte que se extingue.* [En línea] EL MERCURIO. 29 de 12 de 2010. Disponible en: <https://www.elmercurio.com.ec/264100-pirotecnia-un-arte-que-se-extingue/>
- ProcesosBio.** *Agitadores.* [En línea] 2017. Disponible en: <http://procesosbio.wikispaces.com/Agitadores>.
- Universidad de Málaga.** Bioestadística: Métodos y Aplicaciones. *Coefficiente de variación.* [En línea] 2010. Disponible en: <http://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/ftp.bioestadistica.uma.es/libro/node23.htm>.
- VALENZUELA, Luis Concha.** *La química del Agua .* 2008.
- VIZUETE, Victor.** *Elaboracion de polvora negra .* Riobamba , Mayo de 2017.

ANEXOS

Anexos A: Hoja de datos controllino Maxi Automation.

DATASHEET CONTROLLINO MAXI AUTOMATION



Controllino is an Arduino standard and Arduino software compatible PLC.

Ordering information: Controllino Maxi Automation, Art.Nr: 100-101-00

General:

Standard	EN61010-1 EN61010-2-201 EN61131-2
Dimensions (W x H x D)	75x90x32 mm
Weight	250 g
Mounting	Top hat rail EN50022, 36 mm

Environmental conditions, Indoor use only:

Operating ambient temperature	0 °C – 55 °C
Relative humidity – non-condensing	80 % for temp. up to 31 °C, decreasing linearly to 50 % relative humidity at 55 °C
Pollution Degree	PD2
Altitude	up to 2000 m AMSL
Vibration (5 ≤ f ≤ 8 Hz)	1.75 mm amplitude sinus 3.6 mm amplitude random
Vibration (8 ≤ f ≤ 150 Hz)	0.5 g acceleration sinus 1.0 g acceleration random
Transport and Storage	-20 °C – +70 °C 10 to 90 % no condensation Altitude 3000 m AMSL

V1.0 – 27.04.2017

Shock response	15 g, 11 ms half sinus all 3 axes
----------------	-----------------------------------

IO:

Supply voltage	24 V
USB (Power for programming only)	USB-B, 2.0
Ethernet	RJ45, 10/100Mbps
Analog inputs	2x 0-10 V
Analog outputs	2x 0-10 V or 0-20 mA
Inputs, no galvanic insulation	18
Common analog/digital	12
Digital	4
Fixed digital, ext. Interrupt usable	2
Digital Outputs, no galvanic insulation	8
Relay outputs	10
PIN-Header, no Galvanic insulation	
Logic level Input	12 parallel to terminal Inputs
Logic level Output	12 parallel to terminal Outputs
Communication	SPI, 2xUART, I2C, Reset
Internal Power	+3.3 V, +5 V, ARef, GND

Terminal capacities:

Relay Output, Power Input	2.5 mm ² (24-12AWG)
Strip length	6-7 mm
Max. tightening torque	0.5 Nm
Digital, Analog Input Output	1.5 mm ² (30-18AWG)
Strip length	5-6 mm
Max. tightening torque	0.2 Nm
Pin header connector	2x 28 Pin, Dual row, 2.54 pitch

Protection:

ESD/HEM Class 0	Contact discharge: 24 kV Air discharge: 28 kV
Supply input over current protection	Internal Fuse 20 A (fast)
Relay Output	External Fuse required
Digital Output	Overload, short circuit, ESD
Signal Input:	Overvoltage, ESD
Pin header connector	ESD
Current +5 V, +3.3 V	total 200 mA, resettable fuse

V1.0 – 27.04.2017

Electrical characteristics:

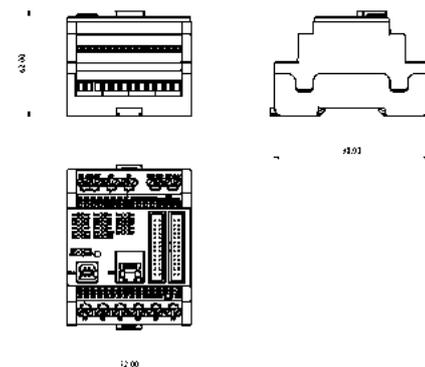
	Condition	Value
Supply voltage (Absolute Maximum)	24 V range	20.4 V – 30.0 V
Signal input low level	24 V range	0 V – 7.2 V
Signal input high level	24 V range	18 V – 26.4 V
Analog signal input	24 V range	0 V – 26.4 V
Signal input current	max. current	< 3 mA
Logic '0' level	@ pin header	0 V – 1.5 V
Logic '1' level	@ pin header	3 V – 5.5 V
Signal output low level	24 V range	0 V – 4.8 V
Signal output high level	24 V range	V _{in} – 10 %
Signal output – PWM functionality	Duty cycle	15 % - 95 %
Relay output, Contact rating	Resistive Load	8 A, 250 V AC/7
Common Relay terminal	max. current	30 V DC 6 A
Galvanic insulation	coil to contact	3000 VAC 1 min
Relay ON in case of PWM functionality	Duty cycle	> 30 %

LED signalization:

Power LEDs coding	Color of power LED
input voltage out of range e.g. only USB powered	24 V orange
input voltage 20.4 V – 30.0 V	24 V green
input voltage < 5 V	LED off
Device in reset state	Reset LED yellow
Device in run state	Reset LED off
Signal input at high (logic 1) level	Corresponding LED green
Signal input at low (logic 0) level	Corresponding LED off
Signal input in use as analog input	Corresponding LED green on when input level reach high (logic 1) state
Signal/Relay output set to active	Corresponding LED green
Signal/Relay output set to inactive	Corresponding LED off

V1.0 – 27.04.2017

Physical Dimensions:



V1.0 – 27.04.2017

Anexos C: Hoja de datos DS18B20.

DS18B20

DALLAS MAXIM
Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

www.maxim-ic.com

FEATURES

- Unique 1-Wire® interface requires only one port pin for communication.
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM.
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications.
- Requires no external components.
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V.
- Measures temperature from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F).
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C.
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits.
- Converts temperature to 12-bit digital word in 75µs (max).
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings.
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition).
- Available in 8-pin SO (150mil), 8-pin µSOP, and 3-pin TO-92 packages.
- Software compatible with the DS18B22.
- Applications include thermostat controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system.

PIN ASSIGNMENT

PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In-Out
V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to +125°C and is accurate to ±0.5°C over the range of -10°C to +85°C. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

1 of 20

DS18B20

DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1

SO*	µSOP*	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	4	1	GND	Ground.
4	1	2	DQ	Data Input/Output pin. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see "Parasite Power" section).
3	8	3	V _{DD}	Optional V _{DD} pin. V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.

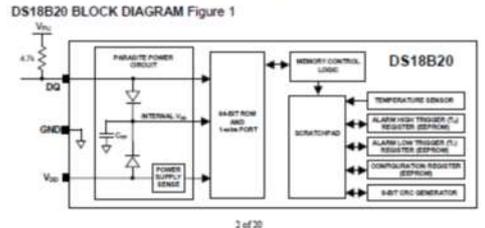
*All pins not specified in this table are "No Connect" pins.

OVERVIEW

Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T₁ and T₂) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T₁, T₂, and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Dallas' exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the 1-WIRE BUS SYSTEM section of this datasheet.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{INT}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on V_{DD}.



OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its device-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers-up in a low-power idle state, to minimize temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T (44h) command. Following the conversion, the resulting digital data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slots" (see the 1-WIRE BUS SYSTEM section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 9 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this read command technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pulldown during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the POWERING THE DS18B20 section of this datasheet.

The DS18B20 outputs temperature data in centigrade, for Fahrenheit applications, a binary mode or conversion routine must be used. The temperature data is issued as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative; for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bits 0 and 1 are undefined. For 10-bit resolution, bits 2, 3, and 4 are undefined. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature readings for 12-bit resolution conversions.

TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

LS Byte	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
	S*	T ₁						
MS Byte	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
	S	S	S	S	S	T ₂	T ₂	T ₂

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07DAh
+85°C*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0199h
-10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 0000	FFFBh
-10.125°C	1111 1111 0101 0110	FF5Ah
-25.0625°C	1111 1110 0110 0111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power-on reset value of the temperature register is 0x5C.

OPERATION — ALARM SIGNALING

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T₁ and T₂ registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative; for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T₁ and T₂ registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T₁ and T₂ can be accessed through bits 5 and 7 of the scratchpad as explained in the MEMORY SECTION of this datasheet.

T₁ AND T₂ REGISTER FORMAT Figure 3

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S*	T ₁						

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T₁ and T₂ comparisons since T₁ and T₂ are 8-bit registers. If the measured temperature is less than or equal to T₁, or higher than T₂, an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away the flag will be cleared off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search (ECh) command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T₁ or T₂ settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

POWERING THE DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the V_{DD} pin, or it can operate in "parasite power" mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18B20's parasite-power control circuitry, which "steals" power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The on-chip charge pump charges the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor (C_{INT}) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used to parasite power mode, the V_{DD} pin must be connected to ground.

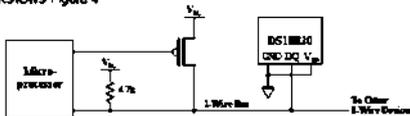
In parasite power mode, the 1-Wire bus and C_{INT} can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations. In long or specified timing test delays, requirements are met (refer to the DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS and AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS sections of this data sheet). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 4 mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the remote 1-Wire pullup resistor and it shows current that can be supplied by C_{INT}. To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be restricted to the strong pullup within 1µs (max) after a Convert T (44h) or Copy Scratchpad (48h) command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t_{CONV}) or data transfer (t_{DATA} = 10ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the V_{DD} pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

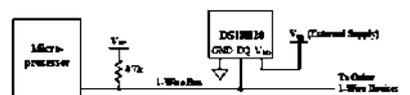
The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to maintain communication due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supply. The master needs this information to determine if the strong pull-up should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM (CRC) command followed by a Read Power Supply (P94) command followed by a "read one bit". During the read one bit, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pull-up on the 1-Wire bus during temperature conversions.

SUPPLYING THE PARASITE-POWERED DS18B20 DURING TEMPERATURE CONVERSIONS Figure 4



POWERING THE DS18B20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY Figure 5



64-BIT LASERED ROM CODE

Each DS18B20 contains a unique 64-bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 5 bits of the ROM code contain the DS18B20's 1-Wire family code: 28h. The next 45 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 54 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bit is provided in the CRC GENERATION section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the 1-WIRE BUS SYSTEM section of this datasheet.

64-BIT LASERED ROM CODE Figure 6

5-BIT CRC	41-BIT SERIAL NUMBER	4-BIT FAMILY CODE (28h)
MSB	LSB	MSB

CONFIGURATION REGISTER

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in Figure 8. The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the RD and R1 bits in this register as shown in Table 3. The power-up default of these bits is RD = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bits will return 1s when read.

CONFIGURATION REGISTER Figure 8

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
0	R1	RD	1	1	1	1	1

THERMOMETER RESOLUTION CONFIGURATION Table 3

RD	R1	Resolution	Max Conversion Time
0	0	9-bit	93.75 ms ($t_{CONV(9)}$)
0	1	10-bit	187.5 ms ($t_{CONV(10)}$)
1	0	11-bit	375 ms ($t_{CONV(11)}$)
1	1	12-bit	750 ms ($t_{CONV(12)}$)

CRC GENERATION

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 54 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in Figure 9. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 54th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the re-calculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC is correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Dallas 1-Wire cyclic redundancy check

MEMORY

The DS18B20's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T_H and T_L) and configuration register. Note that the DS18B20 alarm function is not used; the T_H and T_L registers can serve as general-purpose memory. All memory contents are described in detail in the DS18B20 FUNCTION COMMANDS section.

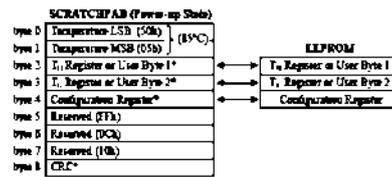
Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to T_H and T_L registers. Byte 4 contains the configuration register data, which is explained in detail in the CONFIGURATION REGISTER section of this datasheet. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bytes will return all 1s when read.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the cyclic redundancy check (CRC) code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates this CRC using the method described in the CRC GENERATION section.

Data is written to bytes 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad (WE) command; the data must be committed in the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad (RD) command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T_H, T_L, and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad (CS) command.

Data on the EEPROM registers is retained when the device is powered down; it powers up the EEPROM data is retained into the corresponding scratchpad locations. Data can also be released from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E² (RE) command. The master can issue read one bits (following the Recall E² command) and the DS18B20 will indicate the status of the serial by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

DS18B20 MEMORY MAP Figure 7



is available in Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Products.

CRC GENERATOR Figure 9



1-WIRE BUS SYSTEM

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. If there is only one slave on the bus, the system is referred to as a "single-drop" system, or "1-wire". If there are multiple slaves on the bus,

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

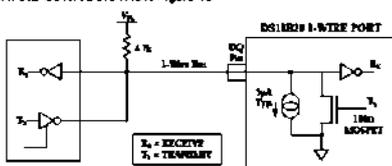
The following subsection of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus uses by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-wire port. This allows each device to "release" the data line when the device is not communicating data to the bus or allowing for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open-drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 10.

The 1-Wire bus requires an external pull-up resistor of approximately 1kΩ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state of the master/slave to resume. Infinite recovery time can occur between bus so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 400µs, all components on the bus will be reset.

HARDWARE CONFIGURATION Figure 10



DS14820 OPERATION EXAMPLE 1

In this example there are multiple DS14820s on the bus and they are using passive power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS14820 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER NODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
XX	Presence	DS14820 responds with presence pulse.
TX	CS#	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS14820 ROM code.
TX	4k	Master issues Channel 1 command.
TX	DQ line held high by sensing pulspip	Master applies strong pulspip to DQ for the duration of the conversion (t _{CONV}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
XX	Presence	DS14820 responds with presence pulse.
TX	CS#	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS14820 ROM code.
TX	8k	Master issues Read Scratchpad command.
XX	2 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the recalculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

DS14820 OPERATION EXAMPLE 2

In this example there is only one DS14820 on the bus and it is using passive power. The master writes to the T₁, T₂, and read parameters registers in the DS14820, scratchespad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER NODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
XX	Presence	DS14820 responds with presence pulse.
TX	CS#	Master issues Write ROM command.
TX	4k	Master issues Write Scratchpad command.
TX	1 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad (T ₁ , T ₂ , and read).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
XX	Presence	DS14820 responds with presence pulse.
TX	CS#	Master issues Read ROM command.
TX	8k	Master issues Read Scratchpad command.
XX	2 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the recalculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
XX	Presence	DS14820 responds with presence pulse.
TX	CS#	Master issues High ROM command.
TX	4k	Master issues Copy Scratchpad command.
TX	DQ line held high by sensing pulspip	Master applies strong pulspip to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

- Voltage on Any Pin Relative to Ground: 0.5V to +8.0V
- Operating Temperature Range: -55°C to +125°C
- Storage Temperature Range: -55°C to +125°C
- Solder Temperature: See IPC/JEDEC J-STD-020A
- Reflow Oven Temperature: +235°C

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C, V_{DD}=3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	Typ	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V _{DD}	Local Power	+3.0	-	-5.5	V	1
Pulspip Supply Voltage	V _{DD}	Passive Power	+3.0	-	-5.5	V	1,2
		Local Power	+3.0	-	V _{DD}	V	
Thermometer Error	Error	-10°C to +85°C	-	-	±0.5	°C	3
		-55°C to +125°C	-	-	±2	°C	
		-	-	-	±2	°C	
Input Logic Low	V _{IL}	Local Power	-0.3	-	-0.8	V	1,4,5
Input Logic High	V _{IH}	Local Power	+2.2	-	The lower of 5.5 or V _{DD} - 0.3	V	1,6
		Passive Power	+3.0	-	-	V	
		Passive Power	+3.0	-	-	V	
Sink Current	I _S	V _{DD} =4.5V	-3.0	-	-	mA	1
Standby Current	I _{DD(S)}	V _{DD} =3.0V	-	750	1000	µA	7,8
Active Current	I _{DD(A)}	V _{DD} =3.0V	-	1	1.5	mA	9
DQ Input Current	I _{DD(I)}	V _{DD} =3.0V	-	5	-	µA	10
Drift	Drift	V _{DD} =3.0V	-	±0.2	-	°C	11

NOTES:

- All voltages are referenced to ground.
- The Pulspip Supply Voltage specification assumes that the pulspip driver is ideal, and therefore the high level of the pulspip is equal to V_{DD}. In order to meet the V_{IH} spec of the DS14820, the actual applied rail for the strong pulspip transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on, thus: V_{IH(ACTUAL)} = V_{DD}(HIGH) - V_{TRANSISTOR}.
- See typical performance curves in Figure 17.
- Logic low voltages are specified at a sink current of 400µA.
- To guarantee a presence pulse under low voltage passive power conditions, V_{DD(MIN)} may have to be reduced to as low as 0.5V.
- Logic high voltages are specified at a source current of 1mA.
- Standby current specified up to 70°C. Standby current typically is 3µA at 125°C.
- To maximize I_{DD(A)}, DQ should be written the following ranges: GND ≤ DQ ≤ GND + 0.3V or V_{DD} - 0.3V ≤ DQ ≤ V_{DD}.
- Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
- DQ line is high (CM-T₁ state).
- Drift data is based on a 1000 hour stress test at 125°C with V_{DD} = 5.5V.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: NV MEMORY

(-55°C to +100°C, V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	Typ	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t _{WC}	-	2	10	-	ms
EEPROM Write	t _W	-55°C to +55°C	500	-	-	ms
EEPROM Data Retention	t _{DR}	-55°C to +55°C	10	-	-	years

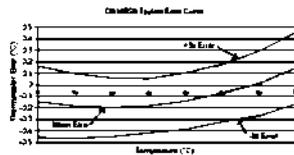
AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C, V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	Typ	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t _{CONV}	5-bit resolution	-	91.75	-	ms	1
		11-bit resolution	-	187.5	-	ms	1
		11-bit resolution	-	375	-	ms	1
Time to Strong Pulspip On	t _{STRONG}	5-bit resolution	-	750	-	ms	1
		Start Current 1 Command Issued	-	10	-	µs	
Turn-Around	t _{TURN}	-	80	130	-	µs	1
Recovery Time	t _{REC}	-	1	-	-	µs	1
Write 0 Low Time	t _{W0L}	-	80	130	-	µs	1
Write 1 Low Time	t _{W1L}	-	1	15	-	µs	1
Read Data Valid	t _{RDV}	-	1	15	-	µs	1
Reset Time High	t _{RSTH}	-	480	-	-	µs	1
Reset Time Low	t _{RSTL}	-	480	-	-	µs	1
Presence Detect High	t _{PDH}	-	15	60	-	µs	1
Presence Detect Low	t _{PDL}	-	80	240	-	µs	1
Capacitance	C _{IN}	-	80	-	25	pF	

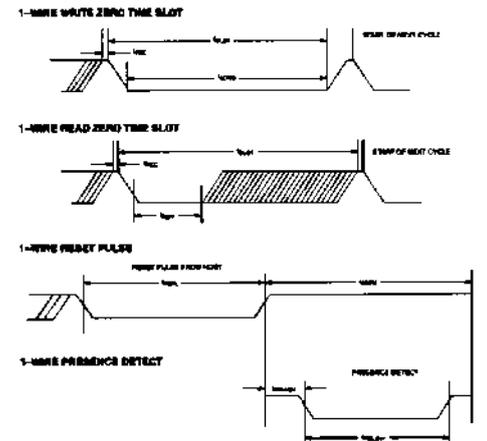
NOTES:

- Refer to timing diagrams in Figure 18.
- Under passive power, t_{TURN} = 900µs. A power on reset may occur.

TYPICAL PERFORMANCE CURVE Figure 17



TIMING DIAGRAMS Figure 18



Anexos D: Hoja de datos YF-S201.

Sensors & Sensor Modules : YF-S201 Water Flow Sensor

YF-S201 Water Flow Sensor



This sensor will fit in line with your water line, and uses a piezoelectric sensor to measure how much liquid has moved through it.

Rating: Not Rated Yet.

Price:

Variant price modifier:

Base price with tax:

Price with discount: 800.00 ?

Sale price with discount:

Sale price: 800.00 ?

Sale price without tax: 800.00 ?

Discount:

Tax amount:

[Ask a question about this product](#)

Description

1 / 2

Sensors & Sensor Modules : YF-S201 Water Flow Sensor

Measure liquid/water flow for your water, water conservation systems, storage tanks, water recycling home applications, irrigation systems and much more. The sensors are solidly constructed and provide a digital pulse each time an amount of water passes through the pipe. The output can easily be connected to a microcontroller for monitoring water usage and calculating the amount of water remaining in a tank etc.

Features:

- Model: YF-S201
- Working Voltage: 5 to 18V DC (min tested working voltage 4.5V)
- Max current draw: 150mA @ 5V
- Output Type: 5V TTL
- Working Flow Rate: 1 to 30 Liters/Minute
- Working Temperature range: -20 to +60°C
- Working Humidity Range: 30%-80% RH
- Accuracy: ±10%
- Maximum water pressure: 2.0 MPa
- Output duty cycle: 50% ±10%
- Output rise time: 0.20µs
- Output fall time: 0.18µs
- Flow rate pulse characteristic: Frequency (Hz) = 7.5 * Flow rate (L/min)
- Pulses per Liter: 450
- Durability: minimum 300,000 cycles
- Cable length: 15cm
- 1/2" nominal pipe connections, 0.78" outer diameter, 1/2" of thread
- Size: 2.8" x 1.4" x 1.4"

ITEM INCLUDED:

1 x YF-S201 Water Flow Sensor

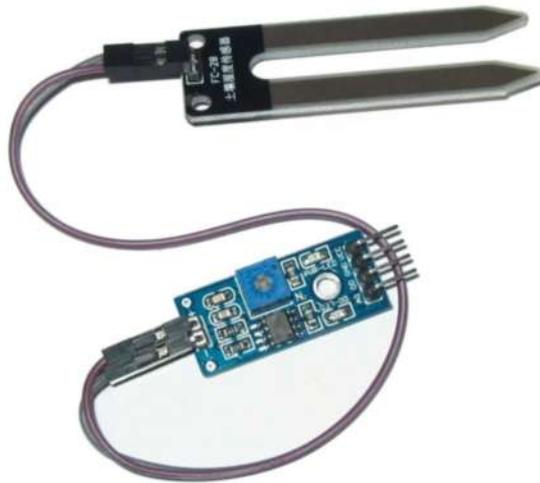
Reviews

There are yet no reviews for this product.

1 / 2

Anexos E: Hoja de datos FC-28.

FC-28
Sensor de humedad del suelo



Voltaje de 3,3 a 5V cc
Salidas analógica y comparadora
Ajuste de sensibilidad
Dimensiones del sensor 6x-20mm contactos 45mm
Dimensión del comparador 30x14mm

Los cuatro conectores son

VCC positivo de 3,3 a 5V CC
GND masa
OD salida de señal digital (a una determinada humedad en el sensor se dispara) se puede ajustar con el potenciómetro el nivel a controlar
OA salida de señal analógica a cambia la tensión de salida en función de la cantidad de humedad que registra el sensor

Anexos F: Alambres y cables de cobre TW 600 V 60°C.



ALAMBRES Y CABLES DE COBRE TW 600 V 60 °C (1)

Calibre AWG ó Kcmil	No. Hilos	Diámetro Hilos	Área mm ²	Diámetro Conductor	Espesor Aislamiento	Diámetro Exterior	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Peso Total Aprox.	Capac. Corriente Aire Libre	Capac. Corriente Conduit	Tipo
				mm	mm	mm	Ω/Km	Kg/Km	A	A	
18	1	1.02	0.82	1.02	0.76	2.54	21	13.7	7	6	TW
16	1	1.29	1.31	1.29	0.76	2.81	13.19	19	10	8	TW
14	1	1.63	2.08	1.63	0.76	3.15	8.29	27.1	25	20	TW
12	1	2.05	3.31	2.05	0.76	3.57	5.21	39.3	30	25	TW
10	1	2.59	5.26	2.59	0.76	4.11	3.28	58.7	40	30	TW
8	1	3.26	8.37	3.26	1.14	5.54	2.06	97.5	60	40	TW
6	1	4.12	13.30	4.11	1.52	7.15	1.30	158.1	80	55	TW
4	1	5.19	21.15	5.19	1.52	8.23	0.815	240	105	70	TW
14	7	0.62	2.08	1.85	0.76	3.37	8.45	29	25	20	TW
12	7	0.78	3.31	2.33	0.76	3.85	5.31	42	30	25	TW
10	7	0.98	5.26	2.93	0.76	4.45	3.34	62	40	30	TW
8	7	1.23	8.37	3.69	1.14	5.97	2.10	104.4	60	40	TW
6	7	1.55	13.30	4.65	1.52	7.69	1.32	169.5	80	55	TW
4	7	1.96	21.15	5.88	1.52	8.92	0.831	250.2	105	70	TW
2	7	2.47	33.63	7.41	1.52	10.45	0.523	377.5	140	95	TW
1/0	19	1.89	53.48	9.45	2.03	13.51	0.329	598.5	195	125	TW
2/0	19	2.13	67.43	10.65	2.03	14.71	0.261	739	225	145	TW
3/0	19	2.39	85.03	11.95	2.03	16.01	0.207	918	260	165	TW
4/0	19	2.68	107.2	13.40	2.03	17.46	0.164	1135.7	300	195	TW
250	37	2.09	126.8	14.63	2.41	19.45	0.139	1362.3	340	215	TW
300	37	2.29	152.2	16.03	2.41	20.85	0.116	1613.3	375	240	TW
350	37	2.47	177.3	17.25	2.41	22.07	0.0992	1864.4	420	260	TW
400	37	2.64	202.6	18.48	2.41	23.30	0.0868	2112.8	455	280	TW
500	37	2.95	253.1	20.65	2.41	25.47	0.0694	2608	515	320	TW
600	61	2.52	303.7	22.68	2.79	28.26	0.0578	3148.1	575	355	TW



ALAMBRES Y CABLES DE COBRE TW 600 V 60 °C (2)

Calibre AWG ó Kcmil	No. Hilos	Diámetro Hilos	Área mm ²	Diámetro Conductor	Espesor Aislamiento	Diámetro Exterior	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Peso Total Aprox.	Capac. Corriente Aire Libre	Capac. Corriente Conduit	Tipo
				mm	mm	mm	Ω/Km	Kg/Km	A	A	
700	61	2.72	354.2	24.48	2.79	30.06	0.0496	3641	630	385	TW
750	61	2.82	379.3	25.31	2.79	30.89	0.0463	3888	655	400	TW
800	61	2.91	404.6	26.17	2.79	31.75	0.0434	4134	680	410	TW
900	61	3.09	455.2	27.77	2.79	33.35	0.0386	4554	730	435	TW
1000	61	3.25	505.8	29.26	2.79	34.84	0.0347	5117	780	455	TW

Aplicaciones: Conductores para sistemas de alambrado eléctrico en edificaciones, conexiones de tableros de control, donde el voltaje no sea superior a 600V A.C.
Construcción: Alambre o conductor cableado de forma concéntrica, formado por hilos de cobre suave, aislado en PVC de 60°C.
Especificaciones: Elaborado y probado de acuerdo a la última revisión de: ASTM B-3, ASTM B-8, UL 83, UL 1581; INEN.2345.
Embalaje: Rollos y carretes de madera.
Nota: Modificaciones en la construcción de los cables pueden ser realizadas bajo pedido del cliente.

Anexos G: Cargos Tarifarios para la ciudad de Riobamba



Agencia de
Regulación y Control
de Electricidad

PERIODO: ENERO - DICIEMBRE *

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO-AZOGUES-CNEL BOLÍVAR-CENTROSUR-COTOPAXI-NORTE-RIOBAMBA-SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

ENERO - DICIEMBRE **

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/consumidor)
CATEGORÍA	RESIDENCIAL		
NIVEL TENSIÓN	BAJA Y MEDIA TENSIÓN		
0-50		0,091	
51-100		0,093	
101-150		0,095	
151-200		0,097	
201-250		0,099	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-500		0,105	1,414
501-700		0,1285	
701-1000		0,1450	
1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812	

Anexos H: Criterios y evaluación del Método de Mosler.

ANÁLISIS DE RIESGO

Criterio de Función (F)

Mide cuál es la consecuencia negativa o daño que pueda alterar la actividad.

Muy gravemente	5
Gravemente	4
Medianamente	3
Levemente	2
Muy levemente	1

Criterio de Sustitución (S)

Mide con qué facilidad pueden reponerse los bienes en caso que se produzcan alguno de los riesgos.

Muy difícilmente	5
Difícilmente	4
Sin muchas dificultades	3
Fácilmente	2
Muy fácilmente	1

Criterio de Profundidad o Perturbación (P)

Mide la perturbación y efectos psicológicos en función que alguno de los riesgos se haga presente.

Perturbaciones muy graves	5
Graves perturbaciones	4
Perturbaciones limitadas	3
Perturbaciones leves	2
Perturbaciones muy leves	1

Criterio de extensión (E)

Mide el alcance de los daños, en caso de que se produzca un riesgo a nivel geográfico.

De carácter internacional	5
De carácter nacional	4
De carácter regional	3
De carácter local	2
De carácter individual	1

Criterio de agresión (A)

Mide la probabilidad de que el riesgo se manifieste.

Muy alta	5
Alta	4
Normal	3
Baja	2
Muy baja	1

Criterio de vulnerabilidad (V)

Mide y analiza la posibilidad de que, dado el riesgo, efectivamente tenga un daño.

Muy alta	5
Alta	4
Normal	3
Baja	2
Muy baja	1

EVALUACIÓN DEL RIESGO

Cálculo del carácter del riesgo (C)

$$C = I + D.$$

I. Importancia del suceso	$I = F \times S$
D. Daños ocasionados	$D = P \times E$

Cálculo de la Probabilidad (PR)

$$PR = A \times V.$$

Criterio de agresión	A
Criterio de vulnerabilidad	V

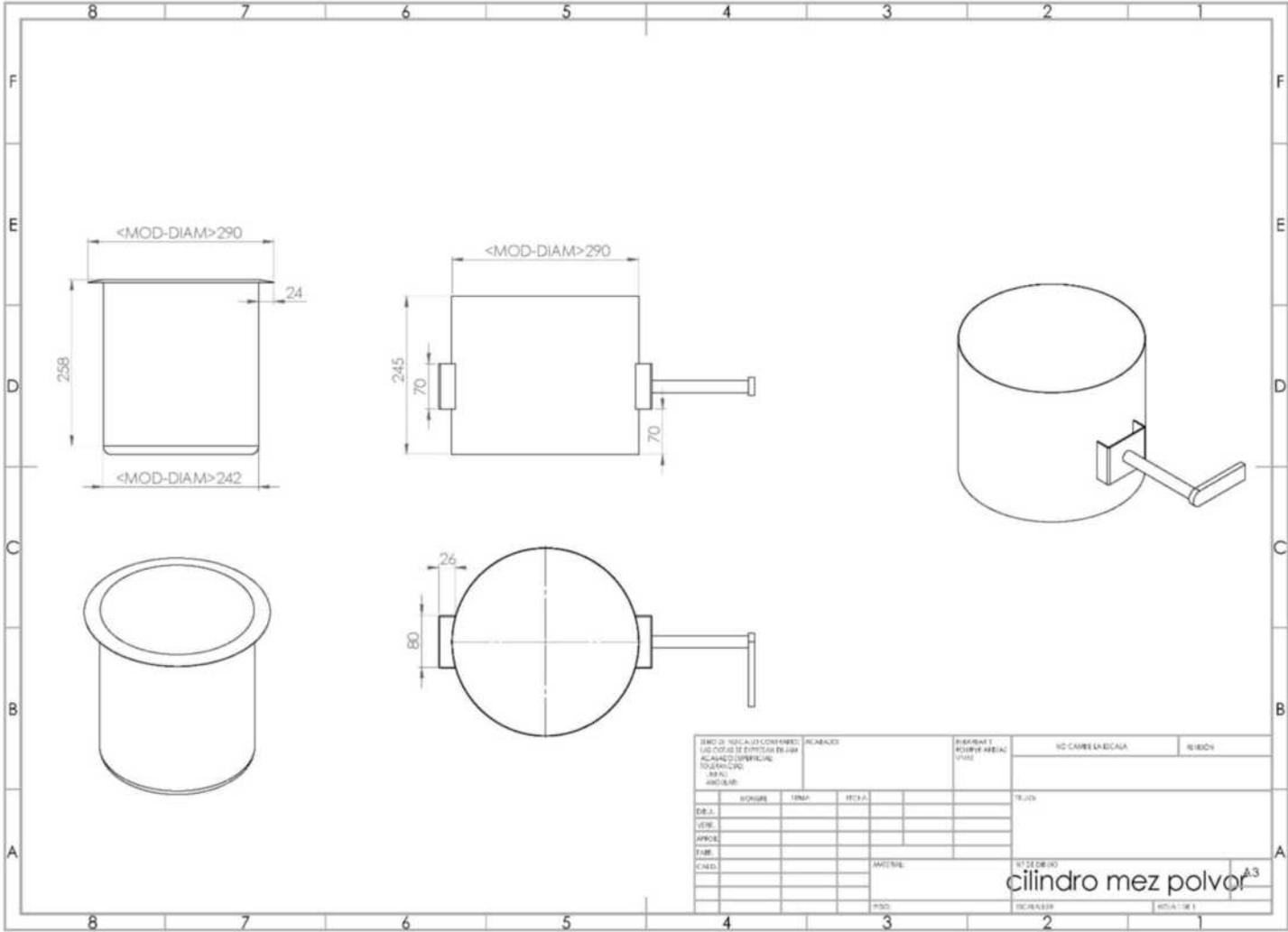
Cuantificación del riesgo considerado (ER)

$$ER = C \times PR.$$

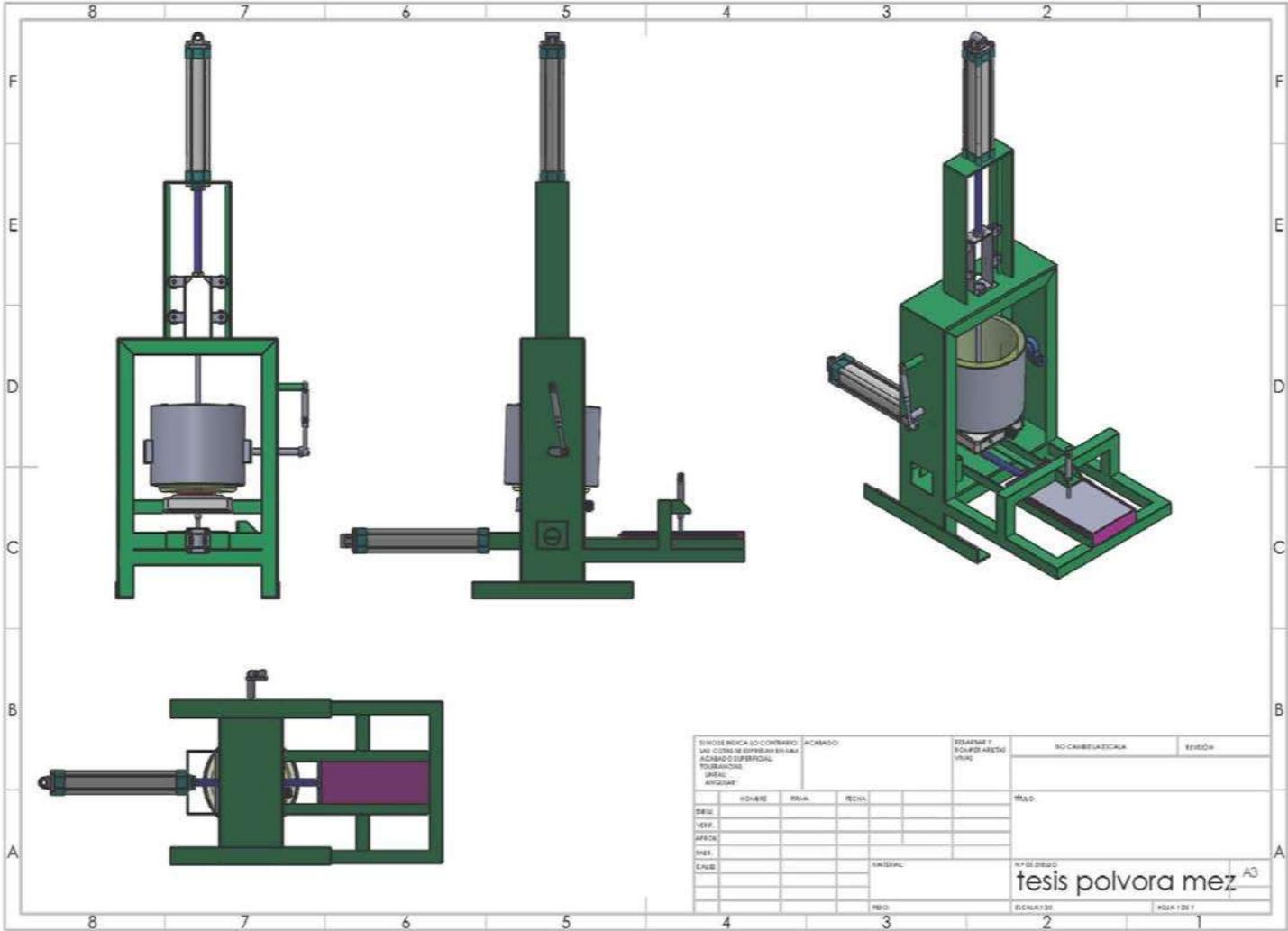
CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

Puntaje	Riesgo
De 1 hasta 200	Riesgo Bajo
De 201 hasta 600	Riesgo Medio
De 601 o más	Riesgo Alto

Anexos I: Plano Mecánico del Recipiente Principal.



Anexos L: Plano Mecánico de la Estructura Ensamblada.



Anexos M: Ficha Técnica.



ESPOCH

FICHA TÉCNICA SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ELABORACIÓN DE POLVORA POR VÍA HÚMEDA

DATOS GENERALES			
NOMBRE	SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ELABORACIÓN DE POLVORA POR VÍA HÚMEDA	CODIGO	N/A
MARCA	N/A	NUMERO DE SERIE	N/A
LOCALIZACIÓN	Cubijies-Riobamba-Ecuador		

FABRICANTE	SUMINISTRADOR
NOMBRE: N/A DIRECCIÓN: N/A TELEFONO: N/A PERSONA DE CONTACTO: N/A	NOMBRE: ELVIS PAUCAR / BRYAN MASAQUIZA DIRECCIÓN: BOYACA Y CALLE F TELEFONO: 0998350282/ 0995251046 PERSONA DE CONTACTO: N/A
ACCESORIOS <input checked="" type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO	SERVICIO TÉCNICO (NECESIDAD)
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor de temperatura ds18b20 y caudal • Motor de agitación (Taladro) • Electroválvulas neumáticas y de agua • Cilindros neumaticos • Panel de control (PLC/ Relés/ Contactor) 	NOMBRE: ELVIS PAUCAR / BRYAN MASAQUIZA DIRECCIÓN: BOYACA Y CALLE F TELEFONO: 0998350282/ 0995251046 PERSONA DE CONTACTO: N/A

CARACTERISTICAS TÉCNICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: 0-88 °C /Reactor • Volumen óptimo de mezclado 1Kg

CONDICIONES ESPECIALES DE UTILIZACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Antes de poner en funcionamiento el equipo, revisar que exista alcohol en el recipiente, agua en la red de agua potable, vaciar agua del doble fondo del reactor y verificar la fuente de aire para los actuadores neumáticos. • En caso de fallo en alguna parte del sistema, activar el modo manual desde el HMI para que no parar el proceso y perder la pólvora a elaborar.

OPERACIONES DE CONTROL			
<input type="radio"/> CALIBRACIÓN	<input type="radio"/> INTERNA	CODIGO:	N/A
	<input type="radio"/> EXTERNA	ENTIDAD EXTERNA:	N/A
<input checked="" type="radio"/> VERIFICACIÓN	<input checked="" type="radio"/> INTERNA	CODIGO:	SEMESTRAL
	<input type="radio"/> EXTERNA	ENTIDAD EXTERNA:	SEMESTRAL
<input checked="" type="radio"/> MANTENIMIENTO	<input checked="" type="radio"/> INTERNA	CODIGO:	DESPUES DE CADA CICLO
	<input checked="" type="radio"/> EXTERNA	ENTIDAD EXTERNA:	DESPUES DE CADA CICLO

Anexos N: Guía del usuario.

Manual de Usuario

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA
ELABORACIÓN DE PÓLVORA POR VÍA HÚMEDA**

**Riobamba, Ecuador
2017**

Contenido

1.	Introducción	3
1.1	Información de Seguridad.....	3
1.2	Identificación de partes.....	4
1.3	Información de funcionamiento	5
2.	Antes de poner en marcha el sistema	5
2.1	Comprobación del estado del sistema	5
2.2	Descripción Tablero de control y HMI	5
3.	Puesta en marcha y dosificación	6
3.1	Dosificación manual y automática.....	9
3.2	Puesta en marcha	9
4.	Monitorización del sistema en funcionamiento	11
4.1	Etapas de dosificación de agua	11
4.2	Etapas de calentamiento y agitado	11
4.3	Etapas de Dosificación de alcohol alifático.....	11
4.4	Etapas de Enfriamiento y agitado	11
4.5	Etapas de Volleo	11
4.6	Etapas de Transporte y prensado.....	11
5.	Instalación	11
5.1	Conexión suministro de agua	11
5.2	Conexión Suministro de Energía Eléctrica.....	12
6.	Cuidado y mantenimiento	12
6.1	Limpieza del reactor.....	12
6.2	Mantenimiento de sensores y accesorios	12
6.2.1	Mantenimiento preventivo	12
6.2.2	Mantenimiento de los flujómetros	12
6.2.3	Mantenimiento de los sensores de posición del cilindro	12
7.	Detección de fallos.....	13
7.2	Problemas Comunes.....	13
7.2.1	Fallo flujómetro	13
7.2.2	Fallo sensor de temperatura	13
7.2.3	Fallo sensor de posición de los cilindros	13
7.2.4	Fallo en conexión PC	13
7.2.5	Fallo HMI.....	13
7.2.6	Fallo Tablero de control	13
8.	Especificación	14

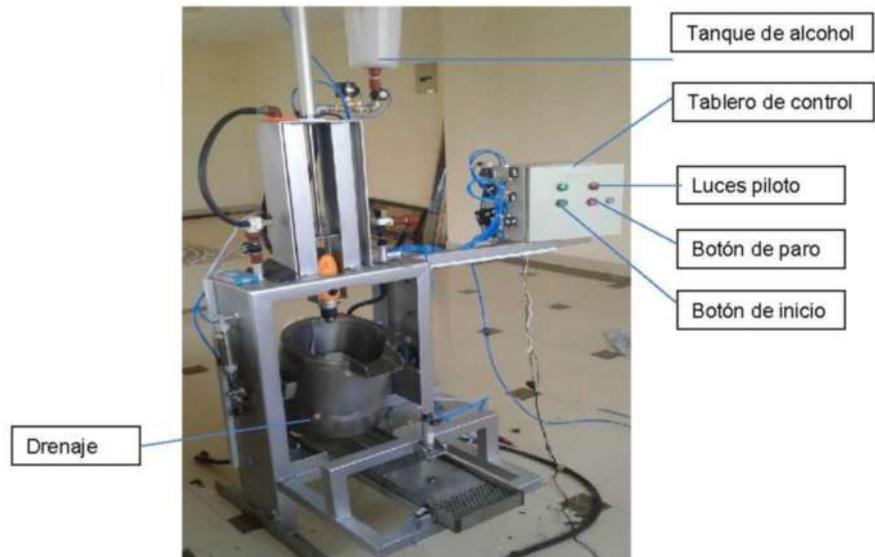
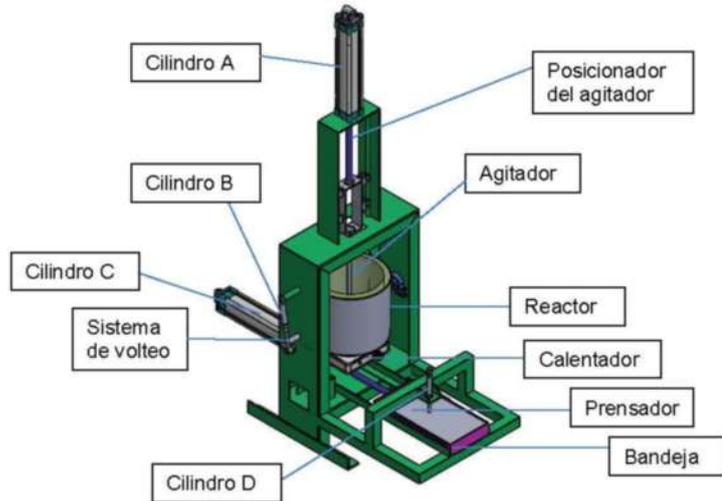
1. Introducción

El sistema automatizado para la Elaboración de pólvora por vía húmeda está diseñado y construido para mejorar la producción de pólvora en las empresas artesanales del Ecuador, el enfoque principal es la seguridad, por ser un material de fácil ignición la automatización del proceso y el método en sí, evita el riesgo de accidentes por incendio y explosión, además que reduce el costo de fabricación manteniendo la calidad del material que se usa en la pirotecnia del país. El sistema puede ser manipulado a distancia por medio de un ordenador con conexión WI-FI, su modo manual y automático permite que el operador tome el mando en caso de fallo para evitar la pérdida de la producción. Las variables a controlar pueden ser manipuladas, siendo recomendado mantener las variables que por defecto están en el HMI. A continuación, se detallan las operaciones y procedimiento que se realizarán para poner en marcha al sistema, así como detectar y corregir fallos no muy extensos.

1.1 Información de Seguridad

- Use accesorios de protección personal: Guantes de manejo y mascarilla.
- Asegúrese que la instalación cumpla los requisitos de potencia eléctrica requeridos por el sistema.
- No exceder el límite de producción.
- Asegúrese que la instalación tenga puesta a tierra.
- Cada ciclo necesita una limpieza total de la estructura.
- No agregar objetos que no correspondan al sistema.
- Tener cuidado de no salpicar agua a los objetos eléctricos o electrónicos.
- Asegúrese que la presión del suministro de agua sea la suficiente para funcionar el sistema.
- Evite impurezas y suciedad en el alcohol.
- La persona autorizada para operar la máquina, es la encargada de la empresa artesanal, y queda bajo su responsabilidad el mal uso de esta.

1.2 Identificación de partes



1.3 Información de funcionamiento

MODO DE CONTROL MANUAL

El modo de control manual permite la manipulación del sistema por el operador, mediante el HMI, únicamente está disponible cuando se manipula desde el ordenador. Se recomienda su utilización en el caso de algún fallo de operación.

MODO AUTOMÁTICO

Este modo permite al operador, poner en marcha el sistema al pulsar el botón de inicio, e ir monitoreando el funcionamiento desde el HMI. No es necesario el monitoreo desde la PC, basta con usar los botones del tablero de control (INICIO,PARO).

2. Antes de poner en marcha el sistema

2.1 Comprobación del estado del sistema

- Coloque 1,5 litros de alcohol refrigerado en el recipiente.
- Vacíe el doble fondo de reactor abriendo el drenaje.
- Coloque la bandeja y el filtro textil en posición.
- Conecte el suministro de agua potable al sistema.
- El compresor debe estar cargado y conectado al sistema neumático.
- Compruebe que la manguera del drenaje este en posición.
- El reactor debe estar completamente limpio.

2.2 Descripción Tablero de control y HMI.

El tablero de control está compuesto de luces piloto para verificar el estado del sistema, botones de INICIO y PARO, un conmutador de PARO de emergencia y un indicador sonoro.

Luces piloto. - indican el estado del sistema, la luz verde indica que está en marcha y la luz roja indica que el proceso está parado o aún no ha iniciado, si se encienden los dos indicadores, significa que está en pausa.

Botones. - El botón INICIO (Verde), sirve para dar marcha o para reanudar el proceso.

El botón PARO (rojo), para el sistema o lo pone en pausa.

Paro de Emergencia. - permite para el proceso volviendo a estado inicial. Antes de volver a arrancar esperar mínimo 15 segundos

TABLERO DE CONTROL

Permite iniciar, pausar y parar(apagar) el sistema.

NOTA: No se puede iniciar en modo auto desde el tablero de control.



Figura 1: Tablero de control

HMI

Permite el control manual y automático, además se puede visualizar todo el proceso del sistema.



Figura 2: HMI para control manual y automático

3. Puesta en marcha y dosificación

3.1 HMI

El HMI está compuesto de:

1. Panel de control y mando
 - Conexión. - Se usa para conectar el HMI al sistema.
 - Modo. - Cambia a modo AUTO o MANUAL.
 - INICIO. - Botón de puesta en marcha/ Reanudar
 - PARO. - Botón de paro del sistema.

2. Monitoreo de la mezcla

- **Temperatura Máxima.** - Sirve para colocar el valor de temperatura (°C) máxima a la que se requiere llegar en el calentado y agitado.
- **Temperatura Mínima.** - Sirve para colocar el valor de temperatura (°C), mínima para enfriar la mezcla.
- **Dosis Agua.** - Es la cantidad en ml que se va a agregar de agua.
- **Dosis alcohol.** - es la cantidad en ml de alcohol que requiere la mezcla.
- **Reset.**- Se usa en el control manual para retornar a cero la medición de volumen tanto de agua como de alcohol.

3. Animación

Se van llenando a medida que va en desarrollo el proceso.

- Termómetro de temperatura
- Tanque de agua
- Tanque de alcohol
- Reactor

4. Visualización de las variables

- **Etapa.** - Indica en qué etapa de la automatización se encuentra
- **Temperatura.** - Consta de dos indicadores, el primero indica el sensor 1 y el segundo el 2, en el caso de fallar un sensor el otro envía un valor de cero. El indicador más grande es la temperatura promedio de los dos sensores.
- **Agua** - Indica el volumen en l de agua que se ha dosificado
- **Alcohol.** - Indica el volumen en l que se agregó.
- **Humedad.**-Indica el porcentaje de humedad de la mezcla terminada.

5. Visualización y control de actuadores

- **Calentador.**- En modo manual se puede manipular estos actuadores, la luz indicadora muestra si el actuador ha sido o no activado.

- Válvula de agua.- en modo manual abre la válvula de agua para dosificar sobre la mezcla en el reactor.
- Válvula de alcohol.- abre la válvula de alcohol para dejar caer. La luz indica el estado de funcionamiento.
- Válvula del enfriador.- Deja fluir agua por el doble fondo del reactor.
- Mezclador.- Se puede variar la velocidad del agitado.
- Cilindros.- Permite mover el cilindro en dos direcciones, la dirección 1 es cuando el vástago está extendido y 0 cuando esta retraído.

6. Alertas de fallo de sensores

- Error de sensor de temperatura. - Cuando las lecturas son incoherentes o no está funcionando el sensor emite una luz indicadora que informa que hay un problema del sensor.
- Error de sensor de Agua y alcohol.-Existe un problema con el sensor de flujo de agua y / o alcohol.
- Error de sensor de humedad. - Indica una alerta Cuando los valores no son coherentes con los rangos que han sido previamente calibrados.



Figura 3: HMI

3.2 Dosificación manual y automática.

Para la dosificación en modo automático, únicamente debe dar marcha al proceso e ir monitoreando, ya que todas las variables ya están definidas en el sistema.

Para dosificar manualmente, el operador debe conocer cómo hacerlo, ya que una mala dosificación, altera la calidad del producto. Se recomienda su uso para casos de pólvoras más débiles, cuando es necesario subir o bajar la cantidad de nitrato lo que modifica la cantidad de agua, alcohol y temperatura.



Figura 4: panel de Dosificación en HMI 3.2

MEZCLAS BINARIAS

Colocar los materiales en mezclas binarias conminuidas 1kg en proporción 75%Nitrato, 15%Coque y 10%Azufre. Cada mezcla binaria M1(Nitrato Coque) y M2(Coque Azufre) contiene: 110g y 40g de coque respectivamente.

3.3 Puesta en marcha

Puesta en marcha y conectado remotamente al PC.

- Conectar el equipo al suministro de energía a 110V AC.
- Girar la perilla del Paro de emergencia hacia la derecha en sentido horario.

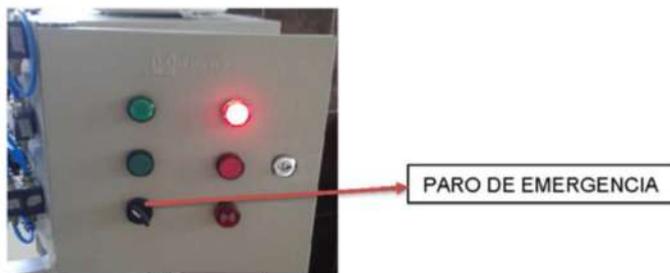


Figura 5: Perilla de paro de emergencia

- Realizar la comprobación del estado inicial del sistema.
- Agregar el material en mezclas binarias.
- Conectarse a la red local del sistema, por cable ethernet o wifi.
- Ejecutar la aplicación del HMI, mover el switch Conexión para conectar el HMI con el sistema.



Figura 6: Switch de conexión al sistema

- El modo automático presionar el botón INICIO (verde) del tablero o HMI.



Figura 7: Botones de Inicio y Paro

- En la ventana del HMI se va monitoreando el avance del proceso, variables de: Temperatura, volumen de agua y alcohol, actuadores en funcionamiento, etapa en la que se encuentra, ajuste de la velocidad del agitador y alerta de fallos.
- Una vez terminado el proceso se escucha la alerta sonora, para desactivarla presione el botón PARAR (rojo).
- Para apagar el sistema gire la perilla del Paro de emergencia a la izquierda en sentido anti horario.

Puesta en marcha únicamente desde el tablero.

- Conectar el equipo al suministro de energía a 110V AC.
- Girar la perilla del Paro de emergencia hacia la derecha en sentido horario.
- Realizar la comprobación del estado inicial del sistema.
- Agregar el material en mezclas binarias.
- Monitorear el proceso visualmente a distancia prudente.
- Una vez terminado el proceso se escucha la alerta sonora, para desactivarla presione el botón PARAR (rojo).
- Para apagar el sistema gire la perilla del Paro de emergencia a la izquierda en sentido anti horario.

4. Monitorización del sistema en funcionamiento

4.1 Etapa de dosificación de agua

En el HMI se va visualizando el proceso en tiempo real, a medida que va dosificando el agua, se observa el volumen actual en lts. El tiempo de dosificación depende de la presión en la red de suministro agua potable.

4.2 Etapa de calentamiento y agitado

Desde el ordenador a medida que va calentado y agitado se visualiza la temperatura y la velocidad del agitador, además se puede hacer ajustes en ese momento. El tiempo varía según las condiciones ambientales, un estimado es de 45 a 70 min.

4.3 Etapa de Dosificación de alcohol alifático

En el HMI se va visualizando el proceso en tiempo real, a medida que va dosificando el alcohol, se observa el volumen actual en lts. El tiempo varía dependiendo de la altura a la que está en el recipiente, siendo esta variación relativamente pequeña.

4.4 Etapa de Enfriamiento y agitado

Se hace de manera similar al de la etapa de calentamiento y agitado.

4.5 Etapa de Volleo

Se visualiza los movimientos de reactor mientras está vaciando el contenido en la bandeja.

4.6 Etapa de Transporte y prensado

Se visualiza el comportamiento de los actuadores en la etapa.

5 Instalación

- Ubicar en un lugar fresco, seco y con ventilación.
- Instalar en un espacio para el sistema de 10m².
- El piso debe ser fijo para evitar el balanceo.
- La instalación eléctrica debe estar diseñada para 3KW.
- Conectar a la red de agua potable.
- Revisar las condiciones iniciales del sistema.
- Operar el sistema de acuerdo a este manual.

5.1 Conexión suministro de agua

El sistema tiene una entrada para conectar al suministro de agua potable, esta entrada es de ½ pulgada con adaptador para manguera plástica.

La entrada se encuentra en la parte posterior del sistema.

5.2 Conexión Suministro de Energía Eléctrica

- Necesita una conexión de 110V AC, que soporte 3kW
- Conexión a tierra.

6 Cuidado y mantenimiento

6.1 Limpieza del reactor

- La limpieza se realiza con agua común y una franela, evitando salpicaduras a los cables eléctricos.
- La limpieza se debe efectuar desde el reactor hasta el sistema de volteo y prensado. Tenga precaución de salpicar agua a los sensores finales de carrera sobretodo del Cilindro C
- El material resultante del proceso no es completamente toxico, ya que los elementos de la mezcla excepto el alcohol todos se usan como fertilizantes.

6.2 Mantenimiento de sensores y accesorios

6.2.1 Mantenimiento preventivo

Para alargar la vida útil de la maquinaria y sus accesorios se recomienda:

- Limpieza por cada ciclo de funcionamiento
- No usar detergente
- El agua y alcohol libres de impurezas.
- Limpiar el vástago de los cilindros.
- Lubricar el sistema de posicionamiento del agitador.

6.2.2 Mantenimiento de los flujómetros.

- Limpiar internamente la hélice que contiene el sensor, para esto se debe extraer los tornillos siempre y cuando el fluido no esté en acción ya sea de alcohol o de agua y limpiarlos con una franela limpia.

6.2.3 Mantenimiento de los sensores de posición del cilindro

- Refiriéndose a los finales de carrera, asegurarse que esté completamente secos.

7 Detección de fallos

7.2 Problemas Comunes.

7.2.1 Fallo flujometro

Descalibración.- El sensor después de varios ciclos de uso pierde su calibración. Se recomienda:

- Llamar a soporte técnico descrito en la Ficha Técnica
- **Medición errónea.** - Normalmente sucede por impurezas. Se recomienda
- Revisar la conexión del sensor
- Realizar una limpieza interna del sensor.
- Revisar que no exista residuos de agua o humedad en el cableado del sensor.

7.2.2 Fallo sensor de temperatura

Es el fallo que más influencia tendría en el proceso si se llegara a dar, se recomienda:

- Revisar la conexión del sensor.
- Si únicamente hay un sensor que se visualiza en el HMI inmediatamente llamar a soporte técnico para sustituir el sensor.

7.2.3 Fallo sensor de posición de los cilindros.

Normalmente sucede cuando se ha introducido agua en ellos: Se recomienda:

- Secar totalmente y probar en MODO MANUAL desde el HMI.
- Si el fallo persiste. Llamar a soporte técnico

7.2.4 Fallo en conexión PC

- Compruebe que la red esté disponible.
- Si el problema persiste intente abrir nuevamente el software del HMI.

7.2.5 Fallo HMI

- Póngase en contacto con soporte técnico.

7.2.6 Fallo Tablero de control

- Apague el sistema por al menos 5 min.
- Si el problema persiste póngase en contacto con soporte técnico.

8 Especificación

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ELABORACION DE PÓLVORA POR VIA HUMEDA	
Modelo	--
Capacidad	1.0Kg
Voltaje y Frecuencia	110V AC , 60Hz
Potencia Nominal	3000 W
Peso	190 Kg
Dimensiones	180 cm ancho 100 cm profundidad 200 cm altura