

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

Diseño y Construcción de un Prototipo para la Manufactura de Resinas Plásticas

TRABAJO RECEPCIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTA

ARMANDO MOISÉS PÉREZ SILVA

Director del trabajo recepcional

Dr. Marcos Ángel González Olvera

Ciudad de México, diciembre de 2016

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

Diseño y Construcción de un Prototipo para la Manufactura de Resinas Plásticas

TRABAJO RECEPCIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTA

ARMANDO MOISÉS PÉREZ SILVA

Director del trabajo recepcional

Dr. Marcos Ángel González Olvera

Co-director del trabajo recepcional

Dr. Rogelio Mendoza Pérez

Ciudad de México, diciembre de 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Quien en todo momento está conmigo ayudandome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez. Eres quien guía el destino de mi vida.

A mis padres:

Olegario Pérez Leyva y Leonor Silva Peredes

Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros incluyendo éste se los debo a ustedes. Siempre me motivaron para alcanzar mis anhelos y me enseñaron el significado de las palabras amor, esfuerzo y perseverancia a través de su ejemplo.

A mis hermanos:

Hector, Celso, Claudia y Dayana

Por las alegrías y las travesuras, pero sobre todo por apoyarme en todo momento.

A mis amigos:

Verónica Olvera, Andres Martínez y Luis Calan por compartir tantas madrugadas y tazas de café juntos.

En especial a Verónica Olvera y a Celulito. Gracias por creer, confiar y apostar siempre por mi.

A mis profesores:

En especial a Marcos Ángel González, Amanto de Jesus Dávila, Rogelio Mendoza, Cuauhtemoc Guerrero, Fermi Vazquez, Agustín Ortiz, Rafael Torres y Juan Carlos Rosas. Siempre supieron brindarme una buena instrucción, despejaron todas mis dudas de sus materias y me impulsaron a salir adelante pero sobre todo siempre me brindaron su amistad.

Al proyecto: 189282 Fondo Mixto 2012-2 CONACYT-GDF por brindarme el apoyo y la oportunidad de aprendizaje.

INDICE TEMÁTICO.

Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Justificación	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivo general	4
1.4. Objetivos particulares	4
1.5. Aportación	5
1.6. Antecedentes	5
Capítulo 2. Marco Teórico	5
2.1. Automatización Industrial	5
2.1.1. Pirámide de Automatización Industrial	6
2.2. Controlador Lógico Programable (PLC)	8
2.2.1. Módulos de entradas digitales	8
2.2.2. Módulos de entradas analógicas	8
2.2.3. Módulos de salidas digitales	9
2.2.4. Módulos de salida analógica	9
2.2.5. Unidad Central de Proceso (CPU)	9
2.2.6. Memoria de programa	9
2.2.7. Bus de datos	10
2.2.8. Fuente de alimentación	10
2.3. Dispositivos de protección	10
2.3.1. Protección contra sobrecorrientes y sobretensiones	10
2.4. Sensores	11
2.5. Sistemas SCADA	12
2.5.1. Objetivos de los sistemas SCADA	12
2.5.2. Ventajas de los sistemas SCADA	13
2.5.3. Desventajas de los sistemas SCADA	13

INDICE TEMÁTICO.

2.6.	Actuadores	13
2.7.	Sistemas neumáticos	14
2.7.1.	Ventajas de los sistemas neumáticos	14
2.7.2.	Desventajas de los sistemas neumáticos	14
2.8.	Sistemas hidráulicos	14
2.8.1.	Ventajas de los sistemas hidráulicos	14
2.8.2.	Desventajas de los sistemas hidráulicos	14
2.9.	Actuador neumático	15
2.9.1.	Cilindros de simple efecto	15
2.9.2.	Cilindros de doble efecto	15
2.9.3.	Cilindros de características especiales	16
2.10.	Válvulas neumáticas	16
2.11.	Conductores eléctricos	17
2.12.	Actuador eléctrico	18
2.12.1.	Motores asíncronos trifásicos	18
2.12.2.	Motores trifásicos	18
2.12.3.	Principio de funcionamiento del motor de inducción	19
2.14.	Características eléctricas principales	19
2.15.	Sistemas de control	19
2.16.	Terminología en la teoría de control	19
2.17.	Clasificación de los controladores industriales	21
2.18.	Instrumentación virtual	21
2.19.	LabVIEW	21
2.19.1.	Entorno de trabajo de LabVIEW	22
2.20.	Mejora Continua	23
2.20.1.	LEAN MANUFACTURING	23
2.21.	Materia prima	23

INDICE TEMÁTICO.

2.22.	GRAFCET	25
2.22.1.	Etapas del GRAFCET	25
2.22.2.	Condición de transición del GRAFCET	25
2.22.3.	Reglas del GRAFCET	25
 Capítulo 3. Diseño del sistema y selección de componentes		27
3.1.	Descripción del sistema de manufactura manual	27
3.2.	Descripción del proceso productivo	29
3.3.	Propuesta de diseño del sistema	30
3.3.1.	Descripción de los subsistemas del prototipo propuesto	30
3.3.2.	Interconexión de los subsistemas propuestos	32
3.4.	Selección de componentes del sistema de control de temperatura	32
3.4.1.	Sensor de temperatura termopar	33
3.4.2.	Control de temperatura tipo encendido/apagado (On/Off)	35
3.4.3.	Control de temperatura tipo PID	36
3.4.4.	Rele de estado sólido SR1-1215	38
3.4.5.	Relevador de potencia	38
3.5.	Selección de componentes del sistema de gobierno de mov. mecánico	39
3.5.1.	Sensor inductivo PRL18-8DP	40
3.5.2.	Sensor fotoeléctrico	40
3.5.3.	Selección del Controlador Lógico Programable	41
3.5.3.1.	Siemens LOGO! 230RC	42
3.5.3.2.	Zelio Logic SR3B261FU	42
3.5.4.	Electroválvulas.....	44
3.6.	Selección de componentes del sistema de monitorización de variables	45
3.6.1.	Sensor de presión PSAN-1CV	46
3.6.2.	Sensor de corriente SCT-013-030	47

INDICE TEMÁTICO.

3.6.3.	Sensor de voltaje	47
3.6.4.	Selección de la red de comunicación	48
3.6.4.1.	Protocolo Zig-Bee	49
3.6.4.2.	Nodos Zig-Bee	49
3.6.4.3.	Módulos X-Bee	50
3.6.4.4.	Modos de funcionamiento de los módulos de radio ...	50
3.6.4.5.	Modo de operación AT	51
3.6.4.6.	Modo de operación API	51
3.6.4.7.	Tramas API	52
3.7.	Selección de componentes del sistema de control de velocidad	53
3.7.1.	Motor eléctrico	53
3.7.2.	Varidor de velocidad	53
3.8.	Instalaciones	54
3.8.1.	Instalación eléctrica	54
3.8.1.1.	Cálculo de conductores para resistencias	54
3.8.1.2.	Cálculo de conductores para motor eléctrico	55
3.8.1.3.	Medios de desconexión circuito derivado del motor ..	55
3.8.2.	Instalación neumática	53
3.8.2.1.	Fuerza del cilindro	57
3.8.2.2.	Fuerza del cilindro de carga del cilindro.....	59
3.8.2.3.	Consumo de aire	60
3.8.2.4.	Velocidad del pistón	61
3.9.	Sistemas integrados	62
 Capítulo 4. Construcción del prototipo		63
4.1.	Construcción del prototipo	63
4.2.	Esquema de colocación de actuadores del prototipo	64

INDICE TEMÁTICO.

4.3.	Esquema de colocación de sensores del prototipo	64
4.4.	Esquema de construcción mecánica del prototipo I y prototipo II	65
4.5.	Descripción del proceso básico	66
4.6.	Comentario sobre el GRAFCET	66
4.6.1.	GRAFCET nivel 1	68
4.6.2.	GRAFCET nivel 2.....	69
4.6.3.	GRAFCET nivel 3.....	70
4.7.	Programación del PLC	72
4.8.	Construcción del tablero de control del prototipo (simulación).....	73
4.9.	Construcción del tablero de control del prototipo	73
4.10.	Construcción del tablero de usuario del prototipo	74
4.11.	Proceso de construcción mecánica (prototipo I, prototipo II)	77
4.12.	Proceso de instalación neumática	81
4.13.	Diagrama de conexiones neumáticas	83
4.14.	Simulación del sistema neumático	83
4.15.	Selección de instalación eléctrica	84
4.16.	Implementación de la red inalámbrica	86
4.16.1.	Configuración modo coordinador	88
4.16.2.	Configuración modo router	89
4.17.	Diseño del sistema SCADA	95
4.17.1.	Sistema de protección con contraseña	95
4.17.2.	Interfaz de monitorización de temperatura	96
4.17.3.	Interfaz de monitorización de presión	97
4.17.4.	Interfaz de monitorización de corriente	98
4.17.5.	Interfaz de monitorización de voltaje	99

INDICE TEMÁTICO.

4.16.6.	Interfaz de control manual del prototipo	100
4.16.7.	Interfaz de control integrada	101
4.18.	Acondicionamiento de señales	103
4.18.1.	Acondicionamiento de la señal de corriente	103
4.18.2.	Acondicionamiento de la señal de voltaje	103
4.18.3.	Acondicionamiento de la señal de temperatura	104
4.19.	Distribución o LAYOUT	104
4.19.1.	Objetivos de la distribución	105
4.19.2.	Factores que influyen en la selec. de la distribución de la planta.	105
4.19.3.	Tipos de distribucion de la planta	106
Capítulo 5. Pruebas y resultados		109
5.1.	Análisis de tiempos	109
5.1.1.	Relación fuerza – velocidad.....	109
5.1.2.	Relación productividad - tiempo.....	110
5.2.	Tiempos del ciclo manual	111
5.3.	Tiempos del ciclo automático prototipo I	111
5.4.	Tiempos del ciclo automático prototipo II	112
5.5.	Mejora de la eficiencia en el consumo energético	112
5.5.1.	Soluciones convencionales para el control de motores	117
5.5.2.	Reducción de costos mediante el uso de variadores de frec.....	117
5.6.	Análisis de eficiencia energética utilizando control ON/OFF y PID en una resistencia calefactora	120
5.6.1.	Controlador ON/OFF	121
5.6.2.	Controlador PID	122
5.7.	Desperdicio	123
5.8.	Análisis de costos de materia prima	124

INDICE TEMÁTICO.

5.9.	Costos por consumo de aire	124
5.10.	Personal por proceso	126
5.11.	Aplicación de LEAN MANUFACTURING.....	127
Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro.....		129
6.1.	Análisis de tiempos	129
6.2.	Trabajo futuro	129

INDICE DE FIGURAS.

1.1.	Distribución de motores en la industria.....	3
1.2.	Costos típicos del ciclo de vida	3
2.1.	Pirámide de Automatización	7
2.2.	Calibres AWG.....	18
2.3.	LabVIEW	22
2.4.	Diagrama de Bloques	22
2.5.	Panel frontal	23
2.6.	Evolución del mercado de plástico.....	24
2.7.	Segmentación por tipo de plástico	24
2.8.	Reciclado de materiales como % del consumo	25
3.1.	Partes de la maquinaria del proceso manual.....	27
3.2.	Movimientos realizados por el usuario del proceso manual.....	28
3.3.	Sistema control de temperatura y control neumático del proceso manual.	28
3.4.	Proceso de producción	29
3.5.	Sistema propuesto	30
3.6.	Sistema de gobierno de movimientos mecánicos	30

INDICE DE FIGURAS.

3.7.	Sistema de control de velocidad	31
3.8.	Sistema de monitorización de variables	31
3.9.	Sistema de control de temperatura	31
3.10.	Interconexión de sistemas del prototipo propuesto	32
3.11.	Termopar	33
3.12.	Temperatura Vs. FEM termopares	34
3.13.	Pirómetro	36
3.14.	TCN4S	37
3.15.	SR1-1215	38
3.16.	Relevador de potencia	39
3.17.	PRL18-8DP	40
3.18.	Sensor fotoeléctrico	41
3.19.	LOGO! 230 RC	42
3.20.	LOGO!Soft Comfort	42
3.21.	Zelio SR3B261FU	43
3.22.	Zelio Soft 2	43
3.23.	Módulo de expansión	43
3.24.	Electroválvula	45
3.25.	Control de movimientos de pistones	45
3.26.	PSAN-1CV	46
3.27.	Aplicación PSAN-1CV	46
3.28.	SCT-013-030	47
3.29.	Transformador de voltaje	47
3.30.	Módulos X-Bee	46
3.31.	Comunicación con comandos AT	51
3.32.	Comunicación con comandos API	52
3.33.	Tramas API	52

INDICE DE FIGURAS.

3.34.	Motor eléctrico	53
3.35.	Variador de velocidad	54
3.36.	Cable alta temperatura	55
3.37.	Gráfica de selección de fuerza del pistón	58
3.38.	Tipos de montaje	59
3.39.	Efecto de pandeo	59
3.40.	Factor de pandeo	60
3.41.	Consumo de aire	61
3.42.	Conformación de sistemas.....	62
4.1.	Carcasa maquinaria 1.....	63
4.2.	Carcasa maquinaria 2.....	63
4.3.	Colocación de actuadores	64
4.4.	Colocación de sensores	64
4.5.	Prototipo I (a) Prototipo II (b).....	65
4.6.	Prototipo	66
4.7.	GRAFSET nivel 1.....	68
4.8.	GRAFSET nivel 2.....	69
4.9.	GRAFSET nivel 3.....	70
4.10.	Programación Logo! Soft Comfort	72
4.11.	Programación Zelio Soft 2.....	72
4.12.	Tablero simulación PLC Logo!.....	73
4.13.	Tablero simulación PLC Zelio	73
4.14.	Tablero Zelio	74
4.15.	Adaptación ventana gabinete.....	74
4.16.	Acoplamiento de voltajes entre sensores y PLC	74
4.17.	Tablero usuario vista interior	75

INDICE DE FIGURAS.

4.18.	Tablero usuario vista exterior	75
4.19.	Tablero prototipo II vista interior	76
4.20.	Tablero prototipo II vista exterior	76
4.21.	Tablero anterior usuario vista interior.....	77
4.22.	Tablero anterior usuario vista exterior	77
4.23.	Simulación de la instalación neumática	83
4.24.	FluidSim-P	83
4.25.	Simulación posición 1.....	84
4.26.	Simulación posición 2.....	84
4.27.	Electroválvulas	84
4.28.	Esquema de mando conexión motor	85
4.29.	Esquema de potencia conexión motor	85
4.30.	Diagrama de conexión motor	85
4.31.	Esquema de conexión de resistencias	86
4.32.	Diagrama de conexión de resistencias	86
4.33.	Esquema de conexión circuito de mando	86
4.34.	Diagrama de conexión circuito de mando	86
4.35.	Comunicación con trama de datos API	87
4.36.	X-CTU.....	87
4.37.	Configuración radio	88
4.38.	Configuración modo coordinador	88
4.39.	Configuración sección <i>Networking</i> Coordinador.....	88
4.40.	Configuración sección <i>Addressing</i> Coordinador	89
4.41.	Configuración sección serial <i>Interfacing</i> Coordinador	89
4.42.	Configuración modo Router	89
4.43.	Configuración sección <i>Networking</i> Router	90
4.44.	Configuración sección <i>Addressing</i> Router	90

INDICE DE FIGURAS.

4.45.	Conexión inalámbrica de los nodos	91
4.46.	Recepción y envío de tramas	91
4.47.	Nodo Router	91
4.48.	Nodo Coordinador	91
4.49.	Red inalámbrica	92
4.50.	Mensaje de contraseña	95
4.51.	Mensaje de bienvenida	95
4.52.	Mensaje de error	96
4.53.	Interfaz de monitorización de temperatura	96
4.54.	Interfaz de monitorización de temperatura diagrama de bloques.....	97
4.55.	Interfaz de monitorización de presión	98
4.56.	Interfaz de monitorización de presión diagrama de bloques.....	98
4.57.	Interfaz de monitorización de corriente	99
4.58.	Interfaz de monitorización corriente diagrama de bloques.....	99
4.59.	Interfaz de monitorización voltaje	100
4.60.	Interfaz de monitorización de voltaje diagrama de bloques	100
4.61.	Interfaz de control manual	101
4.62.	Interfaz de control manual diagrama de bloques	101
4.63.	Interfaz de control Integrada	101
4.64.	Interfaz de control integrada diagrama de bloques	102
4.65.	Diagrama de flujo de los programas de los microcontroladores	102
4.66.	Acondicionamiento de la señal de corriente	103
4.67.	Acondicionamiento de la señal de voltaje	103
4.68.	Acondicionamiento de la señal de temperatura	104
4.69.	<i>LAYOUT</i> Anterior	107
4.70.	<i>LAYOUT</i> Propuesto	108

INDICE DE FIGURAS.

5.1.	Características del prototipo propuesto	109
5.2.	Resinas plásticas recicladas	109
5.3.	Relación Fuerza – Velocidad	110
5.4.	Productividad – Tiempo	108
5.5.	Proceso manual	111
5.6.	Proceso automático I	111
5.7.	Proceso automático II	112
5.8.	Número de ciclos/h	112
5.9.	Potencial de ahorro de energía	118
5.10.	Conexión variador de frecuencia Power Flex	118
5.11.	PID vs ON/OFF	121
5.1.2.	Resistencia Calefactora	121
5.1.3.	Curva de temperatura control ON/OFF	121
5.1.4.	Curvas de temperatura control PID	122
5.1.5.	Desperdicio por exceso de tiempo	123
5.1.6.	Ahorro de material	124
5.1.7.	Desperdicio por piezas defectuosas	124
5.1.8.	Consumo de energía eléctrica de los procesos manual y automático.....	125
5.1.9.	Personal requerido por proceso	126

INDICE DE TABLAS.

2.1.	Simbología de válvulas distribuidoras	17
2.2.	Clasificación de motores eléctricos	18
3.1.	Requerimientos del sistema de control de temperatura	32
3.2.	Tipos de termopar	33
3.3.	Límites de error de termopares	33

3.4.	Ventajas y desventajas de los termopares	34
3.5.	Comparativa de rangos de temperatura	34
3.6.	Características pirómetro (ON/OFF).....	36
3.7.	Características TCN4S	37
3.8.	Características SR1-1215.....	38
3.9.	Ventajas y desventajas del SR1-1215.....	38
3.10.	Características del relevador de potencia	39
3.11.	Ventajas y desventajas del relevador de potencia.....	39
3.12.	Requerimientos del sistema de gobierno de movimiento mecánico	39
3.13.	Características PRL18-8DP	40
3.14.	Ventajas y desventajas del PRL18-8DP.....	40
3.15.	Características sensor fotoeléctrico.....	41
3.16.	Ventajas y desventajas del sensor fotoeléctrico.....	41
3.17.	Requerimientos del PLC	41
3.18.	Características del LOGO! 230 RC	42
3.19.	Características del SR3B261FU	43
3.20.	Características de las electroválvulas	44
3.21.	Requerimientos del sistema de monitorización de variables.....	45
3.22.	Características PSAN -1CV.....	46
3.23.	Ventajas y desventajas del PSAN -1CV.....	46
3.24.	Características del SCT-013-030.....	47
3.25.	Ventajas y desventajas del SCT-013-030.....	47
3.26.	Características del sensor de voltaje.....	47
3.27.	Cableado vs Inalámbrico.....	48
3.28.	Características de redes.....	48
3.29.	Ventajas y desventajas del empleo de comandos AT.....	51
3.30.	Ventajas y desventajas del empleo de comandos API.....	52
3.31.	Requerimientos del sistema de control de velocidad.....	53

INDICE DE TABLAS.

3.32.	Requerimientos del motor.....	53
3.33.	Ventajas y desventajas del variador de velocidad.....	54
3.34.	Capacidad de conductores a diferentes temperaturas.....	55
3.35.	Motores a 220 VCA.....	56
3.36.	Desconectores (switches) para motores en baja tensión C.A.....	56
3.37.	Datos para motores trifásicos y elementos de circuito derivado.....	57
3.38.	Características de los Pistones.....	61
4.1.	Asignación de Entradas del PLC.....	71
4.2.	Asignación de salidas del PLC.....	71
4.3.	Asignación de Relés Internos.....	71
4.4.	Bitácora de proceso simplificada.....	77
4.5.	Instalación neumática.....	81
4.6.	Distribución de variables.....	92
4.7.	Red inalámbrica.....	92
4.8.	Circuitos de la red inalámbrica.....	93
5.1.	Movimientos principales del proceso manual.....	111
5.2.	Movimientos principales del proceso automático prototipo I.....	111
5.3.	Movimientos principales del proceso automático prototipo II.....	112
5.4.	Eficiencia aparente de los procesos.....	113
5.5.	Esfuerzo físico.....	113
5.6.	Tiempo de revisión de calidad del producto.....	114
5.7.	Factores que disminuyen la productividad.....	114
5.8.	Disminución de productividad proceso manual [%].....	115
5.9.	Eficiencia calculada de los procesos.....	116
5.10.	Velocidades y energía consumida.....	118

5.11.	Costos CFE por cargo de energía eléctrica 2016.....	119
5.12.	Costos de energía consumida de un motor de 3HP.....	119
5.13.	Costos de energía consumida de un motor de 3HP conectado a un variador de velocidad.....	120
5.14.	Consumo de energía eléctrica de diferentes controladores PID	122
5.15.	Costos por energía consumida de una resistencia calefactora	122
5.16.	Costos de energía consumida por maquinaria.....	123
5.17.	Lista de precios de material noviembre 2016.....	124
5.18.	Comparación de precios PEAD 56035 y PEAD reciclado.....	125
5.19.	Costos por generación de aire comprimido por proceso.....	126
5.20.	Personal requerido por proceso.....	126
5.21.	Aplicación de LEAN MANUFACTURING en el Proceso	127

I. INTRODUCCIÓN.

Los plásticos son materiales que pueden ser moldeados mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Los plásticos también son comúnmente llamados polímeros.

Para el debido procesamiento de los plásticos se utiliza maquinaria especializada que pueda modificar las diferentes características de los polímeros como: forma y tamaño por medio de alguna técnica o proceso. Algunas de las técnicas utilizadas para el tratamiento industrializado de los plásticos son: inyección, soplado, extrusión, extrusión- soplado, entre otras.

En la actualidad la maquinaria utilizada para los procesos de manufactura del plástico son de operación manual y automática. En el pasado la mayoría de las máquinas se trabajaban de forma manual, es decir, todo el tiempo requerían un operador para poder realizar movimientos de forma sucesiva, en un tiempo indicado y cuyo éxito en la manufactura del producto dependía en gran medida de las habilidades que tuviera el operador. La tendencia actual es automatizar todo proceso posible, implementando sistemas de monitoreo y control, que permitan mantener la operación de los procesos de forma continua, eficiente y que al mismo tiempo satisfagan los criterios económicos del mismo, maximizando en todo momento el tiempo de producción, la seguridad del equipo, la integridad física de los usuarios y la calidad de los productos.

La maquinaria de operación manual y algunas de operación "automática" dedicada a los procesos de manufactura del plástico requieren mejorar el control de sus procesos, mediante instrumentación específica y adecuada, deben contar con sistemas de monitorización que permitan en conjunto, minimizar costos de instrumentación, cableado e implementación, con el objetivo de incrementar la calidad de la producción y el nivel de seguridad.

Este trabajo está enfocado a la automatización de los procesos de fabricación de una planta de manufactura del plástico, rediseñando la maquinaria manual de moldeo por soplado de plástico empleando monitoreo, automatización y control de los procesos de operación con el objetivo de alcanzar una mayor eficiencia y mejor calidad en la línea de producción.

Otro punto importante que propone este trabajo es el uso de resinas plásticas recicladas. En los últimos años, la concientización por el medio ambiente ha impulsado cada vez más el uso de materiales que pueden ser utilizados más de una ocasión (reciclaje). Sin embargo, el uso de estas resinas provoca que la eficiencia del proceso de producción disminuya (comparado con materia prima de primera), ya que requiere mayor tiempo en el ciclo de fabricación debido a que las propiedades de fluidez y densidad de los materiales se ven afectadas. Por estos motivos es importante lograr el primer punto que propone este trabajo, ya que al incrementar la eficiencia del proceso de fabricación, también se tendrá la posibilidad de emplear materias primas recicladas de manera viable y adecuada.

Finalmente, este trabajo plantea el uso de dispositivos de control como son: variadores de frecuencia y controles PID para mejorar la eficiencia energética del proceso de producción. La mejora de la eficiencia energética, es una opción que muchas empresas han encontrado para gastar menos recursos en sus procesos de producción y aumentar su productividad.

1.1. JUSTIFICACIÓN.

Actualmente en México, la micro, pequeña y mediana industria enfocada a la manufactura del plástico todavía cuentan con maquinaria de operación manual, la cual requiere de personal especializado para su correcta operación y cuyo desempeño recae en las habilidades del operador. Al tratarse de un proceso rutinario y repetitivo, se torna tedioso, cansado y desgastante para el operador, quien al final de la jornada laboral disminuye su rendimiento provocando a su vez la disminución de la calidad del producto y un atraso en la tasa de producción, afectando así el proceso de producción y haciéndola menos competitiva comparándola con las grandes industrias.

Este mismo sector industrial, también cuenta con máquinas de operación "automática" en base en una compleja lógica de relevadores mecánicos que conmutan cientos o miles de veces al día. Si alguno de los relevadores falla, ocasionará problemas en los procesos de la maquinaria o incluso el paro total de la producción. Encontrar la falla en la lógica de relevadores y determinar la solución no es tarea sencilla. Por estos motivos se implementan cada vez menos en los procesos de automatización.

El atraso tecnológico que presenta la maquinaria desarrollada en el país ha ocasionado que muchas de las máquinas con un alto nivel de automatización sean importadas de otros países como: Alemania, Italia, E.U, entre otros; lo cual tiene como consecuencia que las refacciones de dichas máquinas no sean fáciles de conseguir, tarden meses en ser importadas, tengan un alto costo de importación y en el peor de los casos se encuentren descontinuadas.

Una posible solución para lo anteriormente citado es el diseño de maquinaria que cuente con sistemas de automatización basados en Controladores Lógicos Programables (PLC) y sistemas de monitorización y control que permitan mantener la operación de los procesos de forma continua, eficiente, maximizando la calidad de los productos y la eficiencia del consumo energético.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El gran rezago en innovación, investigación y desarrollo tecnológico del país ha provocado que la mayoría de la maquinaria utilizada en la industria enfocada a la manufactura del plástico sea importada, lo que no le permite a la tecnología nacional crecer e integrarse en los procesos industriales de manera competitiva y aceptable.

La industria mexicana enfocada a la manufactura del plástico, presenta un atraso considerable comparada con la industria europea y asiática, mientras que en estos continentes las industrias cuentan con procesos automatizados con la tecnología más reciente que les permite producir decenas de piezas por minuto de buena calidad, en la industria mexicana todavía encontramos

procesos manuales capaces de producir una o dos piezas por minuto y en ocasiones con algún defecto, teniendo por consecuencia el nulo desarrollo de maquinaria nacional provocando un alza en las importaciones de maquinaria extranjera.

Por otro lado, la industria del plástico tiene un equivalente del 7% del consumo de energía total de la industria manufacturera. Estudios realizados sobre el consumo energético en la industria del plástico muestran que cerca del 60% es empleada por los equipos de procesamiento (implicando el uso de motores eléctricos) de materia prima y el 30% es consumido por resistencias calefactoras (Cubides, Yamith, 2013).

Es importante destacar que la mayor parte de la energía eléctrica demandada en la industria (hasta 60%) es consumida por motores eléctricos: ventiladores, las bombas, compresores, entre otros, figura 1.1. Es por ello que uno de los puntos más relevantes para la industria en general ha sido estudiar el conjunto motor – carga y tratar de optimizar el proceso completo.

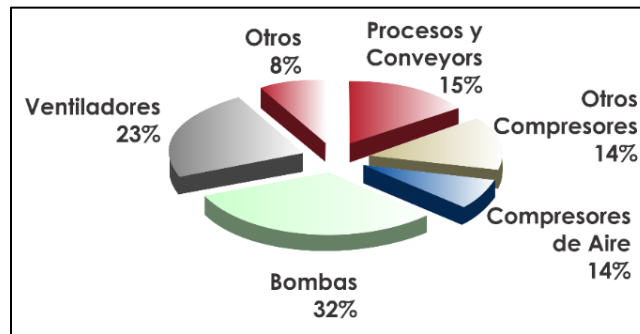


Figura 1.1. Distribución de motores en la industria [q].

Un dato que llama la atención es que en 10 años de vida útil un motor podría acumular 100 veces su valor en venta por concepto de gasto energético (Rockwell Automation 2008). El gasto por consumo eléctrico de un mes podría superar el precio de compra de un motor (Fig. 1.2) (dependiendo de la potencia del motor en cuestión).

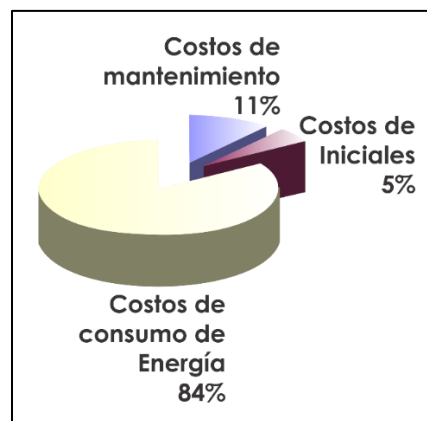


Figura 1.2. Costos típicos del ciclo de vida [q].

Debido a la baja eficiencia en el uso de energía eléctrica y su baja productividad, las pequeñas empresas nacionales dedicadas a la manufactura del plástico, tienen una tasa de producción baja y costos de operación altos, teniendo como consecuencia una deficiente competitividad y la imposibilidad de crecimiento.

¿Cómo contribuye la implantación de nuevas tecnologías a la optimización de procesos industriales?

La problemática anterior plantea la necesidad de integrar nuevas tecnologías en las instalaciones industriales que garanticen la continuidad y la eficiencia tanto en los procesos de manufactura como en el consumo de energía eléctrica.

Para lograr lo anterior se requiere disponer de sistemas de automatización, de ahorro de energía, control, instrumentación y monitorización capaces de analizar y responder de forma rápida y segura ante cualquier cambio en las variables implicadas del proceso.

1.3. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar un prototipo que automatice la operación de una máquina manual de moldeo por soplado de plástico mediante el uso de tecnologías, utilizando polietileno de alta densidad (HDPE) como materia prima, con moldes de una o dos cavidades para reducir el tiempo de ciclo, mejorando la eficiencia energética del proceso.

1.4. OBJETIVOS PARTICULARES.

- Rediseño de una máquina de moldeo por soplado de plástico manual con sistemas de sensores y actuadores.
- Implantación de un sistema de automatización (PLC) que gobernará los movimientos de los actuadores y recibirá las señales provenientes de los sensores.
- Diseñar una estación de monitorización SCADA que permita la visualización, almacenamiento y estudio de las variables implicadas en el proceso de moldeo por soplado de plástico, a través de una red inalámbrica capaz de compartir la información de los estados de las variables.
- Diseño de un controlador digital PID (Proporcional Integral Derivativo) que permita regular la temperatura de las resistencias de calefacción de manera más eficiente que un controlador ON/OFF (encendido/apagado), por lo menos en un 10%.
- Diseñar una distribución (LAYOUT) que permita incrementar la eficiencia actual de los procesos de productivos, recepción de material, almacenaje y entrega de los productos terminados.
- Aprovechar el estudio de factibilidad para analizar la posibilidad de utilizar resinas plásticas recicladas en el proceso de producción industrializado.
- Implementar dispositivos para mejorar el control de velocidad (variador de frecuencia) del proceso manual y así reducir el consumo de energía hasta en un 15%.

1.5. APORTACIÓN.

Contribuir en el estudio de factibilidad de la modernización de maquinaria en la industria mexicana enfocada a la manufactura del plástico, desarrollando un prototipo que cuente con un sistema de automatización y monitorización a través de sensores conectados a una red inalámbrica, que reduzca costos de producción y de consumo de energía eléctrica, aumentando la productividad, la eficiencia del proceso de manufactura y que permita el uso de materiales reciclados en su proceso de fabricación.

1.6. ANTECEDENTES.

En la búsqueda de antecedentes de este proyecto se encontraron algunos proyectos relacionados con la implementación de sistemas destinados a la automatización de procesos y sistemas de monitorización de variables (SCADA):

- Jiménez Macías Emilio (2004) elaboró un trabajo de grado doctoral titulado **“Técnicas de automatización avanzadas en procesos industriales”**, el cual está enfocado a las aplicaciones que benefician las prestaciones de los procesos industriales, tanto en aspectos técnicos como metodológicos.
- Rivas Cruz Fernando (2006) elaboró un trabajo de grado maestría titulado **“Diseño de una estación de monitoreo de procesos. Aplicación a una columna de destilación”**, en este trabajo se presenta el desarrollo de una estación de monitoreo para una planta piloto de destilación. El diseño del sistema de monitoreo se presenta en un ambiente gráfico y amigable para el operador, con la capacidad de monitorear y manipular las variables físicas que intervienen en el proceso de destilación.
- Mayorga Nogales Edgar Xavier, Padilla Chasi Luisa Freddy Xavier (2011) elaboraron un trabajo de grado titulado **“Automatización para el proceso de la máquina sopladora de envases plásticos de la empresa N.S. INDUSTRIA”**, cuyo objetivo es la mejora de una máquina sopladora mediante la implementación de una tecnología de última generación y el acoplamiento de un cortador de rebabas plásticas.
- Gómez Mejía Verónica, Cerón Torres Pedro Alfredo elaboraron un trabajo de grado titulado **“Control de temperatura por medio de un autómata basado en el microcontrolador PIC16F877”**, el cual consiste en el diseño y simulación, tanto digital como analógica, de un algoritmo basado en autómatas finitos deterministas, con el fin de obtener dos señales de salida, que pueden ser usadas para controlar la apertura y cierre de las cortinas de ventilación de un invernadero por niveles de acuerdo a las condiciones del clima externo.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.

La Real Academia de las Ciencias Exactas Físicas y Naturales define la automática como el estudio de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la generación de una tarea física o mental previamente programada, es decir, busca el funcionamiento autónomo de dispositivos o equipos.

La realización física del automatismo industrial depende continuamente del desarrollo tecnológico. En un principio se dependía de improvisaciones mecánicas y posteriormente de tecnologías cableadas neumáticas, circuitos de relevadores electromecánicos o tarjetas electrónicas, temporizadores físicos, levas, etc. En las últimas décadas se están dejando atrás las tecnologías cableadas para dar paso a los autómatas programables.

Actualmente, la mayoría de los procesos de fabricación en las industrias son automatizados, la toma de decisiones que implican a los procesos han dejado de ser hechas por el ser humano cediendo esta función a una unidad de control o mando del sistema de fabricación. Hoy en día se puede afirmar que la gran mayoría de los procesos automatizados son controlados por autómatas programables.

En los últimos años la potencia de los autómatas programables ha aumentado de forma considerable, convirtiéndolos en elementos de control veloces, capaces de ejecutar complicadas tareas de control con requerimientos de cómputo mínimos y con una alta fiabilidad, siendo así capaces de sustituir a los complicados sistemas de relevadores electromecánicos.

Para automatizar el proceso de un sistema se deberá disponer de una serie de elementos que trabajen en conjunto para poder realizar una adecuada toma de decisiones, algunos de estos elementos son: sensores, autómatas programables, sistemas de monitorización, circuitos de protección, dispositivos de potencia, algoritmos de control, actuadores hidráulicos, actuadores neumáticos, actuadores eléctricos; sin dejar de lado las correspondientes instalaciones de cada sistema (Piedrafita Moreno, 2004).

2.1.1. PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.

La automatización de los procesos productivos es uno de los aspectos que más ha evolucionado en la industria desde sus comienzos. La integración de tecnologías clásicas como la mecánica y la electricidad con otras "modernas" (electrónica, informática y telecomunicaciones, etc.) están haciendo posible esta evolución.

Esta integración de tecnologías queda representada en la llamada "Pirámide de Automatización" (Fig. 2.1) que recoge los cinco niveles tecnológicos que se pueden encontrar en un entorno industrial. Las tecnologías se relacionan entre sí dentro de cada nivel como entre

los distintos niveles a través de los diferentes estándares de comunicaciones industriales (SMC *International Training*, 2016), los cuales son:

- **NIVEL 1. EQUIPOS DE CAMPO:** Formado por el equipo que está en contacto directo y tiene repercusión directa con el proceso. Pueden ser todo tipo de sensores, actuadores, motores, etc.
- **NIVEL 2. CONTROL DEL PROCESO:** En este nivel se lleva a cabo la regulación y el control del proceso a través programación para poder procesar las señales que se generan en el campo. Los elementos que se encuentran en este nivel cuentan con inteligencia local, por ejemplo: PLC o Interfaz Hombre Máquina (IHM o HMI por las siglas en inglés de *Human Machine Interface*), que se comunican directamente con los equipos de campo.
- **NIVEL 3. OPERACIÓN Y SUPERVISIÓN:** Corresponden a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos. Enlaza principalmente, celdas de producción y computadoras con el equipo de observación como puede serlo un sistema SCADA. En este nivel es importante contar con un equipo que integre los diferentes protocolos de comunicación del Nivel 2.
- **NIVEL 4. PLANIFICACIÓN:** Nivel encargado del seguimiento del producto, gestión de existencias, a grandes rasgos, la ejecución de la producción. Sistema de Ejecución de Manufactura (SEM o MES por las siglas en inglés de *Manufacturing Execution System*).
- **NIVEL 5. GESTIÓN:** En este nivel se administran los recursos empresariales y se utilizan la Planificación de Recursos Empresariales (PRE o ERP por las siglas en ingles de *Enterprise Resource Planning*).

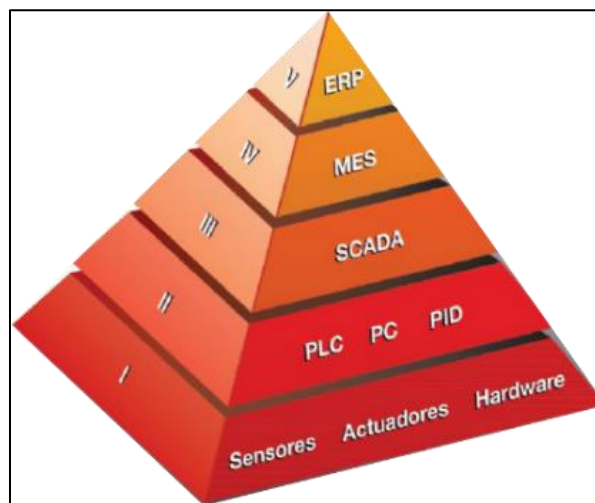


Figura 2.1. Pirámide de automatización [o].

2.2. PROGRAMADOR LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).

En la actualidad casi todos los procesos de fabricación son automatizados y la toma de decisiones es una función delegada a la unidad de control (PLC). La integración tecnológica del PLC, posiciona al proceso industrial en cuestión en el nivel 2 de la pirámide de automatización.

Un autómatas programable es un equipo electrónico basado en un microcontrolador, está diseñado para controlar en un ambiente industrial y en tiempo real los procesos que presentan una evolución secuencial.

Un PLC se compone de las siguientes partes funcionales:

- Módulos de entrada.
- Módulos de salida.
- Unidad central de proceso (CPU).
- Memoria de programa.
- Bus de datos.
- Fuente de alimentación.

El PLC es gobernado por entradas y salidas (E/S). Las entradas son las encargadas de vigilar las señales provenientes de los sensores y proporcionan la información del comportamiento de los dispositivos que trabajan en el sistema, mientras que las salidas le permiten al PLC actuar sobre los accionadores y de ese modo gobernar las acciones de los actuadores del sistema. Las entradas y las salidas de los autómatas programables pueden clasificarse en dos categorías: analógicas y digitales.

Los módulos de entrada reciben las señales del proceso y las adaptan a los niveles de señal internos del equipo.

2.2.1. MÓDULOS DE ENTRADAS DIGITALES.

Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión, se caracterizan por el nivel de tensión que son capaces de recibir y que interpretan como un uno lógico. Los niveles de tensión estándar son: 12 VCD, 24 VCD, 48 VCD, 110 VCA y 220 VCA. Estas interfaces de entrada se pueden clasificar a su vez como consumo o suministro (sink o source), es decir, proporcionan o reciben la señal de voltaje.

2.2.2. MÓDULOS DE ENTRADAS ANALÓGICAS.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable tipo palabra interna del autómatas, conversión que se realiza con una resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de muestreo).

La precisión en los módulos de entrada analógica suele ir de 12 a 16 bits. El periodo de muestreo en las tarjetas de entrada analógica suele ir desde los 25 a 30 milisegundos.

Por otro lado, los módulos de salida toman las señales de las respuestas procesadas por el CPU, convierten la tensión interna del dispositivo a un nivel de tensión adecuado para energizar los elementos de salida del autómata (Piedrafita Moreno, 2004).

2.2.3. MÓDULOS DE SALIDAS DIGITALES.

Los módulos de salidas digitales se pueden clasificar según el tipo de accionador de salida que contenga el propio autómata, estos accionadores pueden ser de tipo: relé, triac, TTL, etc.

El valor de las salidas digitales (0 - 1) en el caso de la salida a relé, se convierte en la apertura o cierre de un contacto de relé interno del autómata, usualmente se utilizan en conjunto con voltajes de 110 VCA, 220 VCA, en aplicaciones donde la frecuencia de conmutación del módulo de salida es relativamente baja. En el caso de las salidas a 12 VDC, 24 VDC, etc, un tornillo de la bornera del módulo tiene la presencia o ausencia del voltaje correspondiente.

2.2.4. MÓDULOS DE SALIDA ANALÓGICA.

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Ésta puede servir de mando para actuadores que admitan mando analógico, como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de tiristores en los hornos, reguladores de temperatura, etc. Cada salida se caracteriza por el tipo de señal suministrada que puede ser corriente o voltaje y en el rango 0-10 volts, +/- 10 volts, 0-20 mA, etc.

2.2.5. UNIDAD CENTRAL DE PROCESO (CPU).

El CPU de un autómata programable, es la unidad encargada de la toma de decisiones, la unidad está constituida por un microcontrolador y un sistema de memoria. El CPU lee las entradas y toma decisiones basadas en las instrucciones introducidas en la memoria del PLC.

2.2.6. MEMORIA DE PROGRAMA.

El programa de control se almacena en la memoria de programa. Con la ayuda de un programador se escriben una a una todas y cada una de las instrucciones del programa de control.

Dependiendo de lo que contenga el programa de control, el CPU consulta las entradas del autómata para verificar si tienen o no la señal de tensión indicada, dependiendo de esta acción el CPU procesa la información y le ordena a los módulos de salida la conexión y desconexión de los bornes indicados.

Cuando se desea hacer alguna modificación en la lógica o en la secuencia de control, basta con modificar el programa contenido en la memoria.

2.2.7. BUS DE DATOS.

Es la vía por la que se interconectan todas las señales entre el CPU y los módulos de entrada y salida.

2.2.8. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

La fuente de alimentación es la encargada de generar a partir de la tensión de suministro (24 VCD, 110 VCA, etc.), la tensión de operación necesaria (5 VCD – 24 VCD) para que todos los elementos electrónicos del PLC funcionen, como el CPU, los módulos de entrada y de salida, etc (Piedrafita Moreno, 2004).

2.3. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.

Un factor importante que se debe considerar es el hecho de que toda instalación eléctrica debe estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, mediante diferentes dispositivos de protección.

Encargados de controlar las anomalías en la operación de los sistemas eléctricos, impedirán los efectos de las sobretensiones y las sobrecorrientes resguardando a los equipos y a las personas de los efectos de estos. Asimismo determinarán las condiciones de seguridad que deben cumplir las instalaciones para proteger los contactos eléctricos directos o indirectos.

Las sobrecorrientes pueden estar causadas por: sobre cargar la instalación, cortocircuitos provocados en dispositivos del sistema, pérdida de aislamientos entre conexiones o dispositivos, contacto indirecto de alguna línea a tierra, etc. Lo que ocurre en estos casos es que la intensidad de corriente aumenta considerablemente produciendo fuertes calentamientos en los conductores de corriente, los cuales pueden dañar la instalación y en el peor de los casos pueden causar incendios.

Las sobretensiones son aumentos de tensión inesperados o aleatorios que pueden provocar averías, desperfectos o incluso la destrucción de dispositivos conectados a la red eléctrica.

2.3.1. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES Y SOBRETENSIONES.

Todos los circuitos deberán estar protegidos contra los efectos de las sobrecorrientes y las sobretensiones que puedan presentarse en el circuito o en la red eléctrica, la interrupción eléctrica deberá realizarse en un tiempo indicado y conveniente para la protección de los equipos que además deberán estar debidamente dimensionados para soportar las sobrecorrientes previsibles y los sobrevoltajes inesperados (Piedrafita Moreno, 2004).

Los dispositivos de protección más comunes son los fusibles, relevadores, interruptores termomagnéticos e interruptores diferenciales.

- **FUSIBLE.** Es un dispositivo que físicamente se funde y provoca un corte en el circuito eléctrico cuando la intensidad de corriente que circula a través de él, es de mayor magnitud que la corriente nominal.

- **RELEVADOR TÉRMICO.** Es un dispositivo que protege al circuito contra sobrecargas (corrientes por encima de su corriente nominal), la apertura de sus polos depende de la corriente nominal a la que esté trabajando, no actúa de manera instantánea.
- **INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.** Es un dispositivo de protección, cuya función consiste en interrumpir el flujo de corriente de una instalación o circuito mediante la acción de un elemento bimetálico y uno electromagnético, cuando la corriente que circula a través de él excede un valor preestablecido en un tiempo determinado.
- **INTERRUPTOR DIFERENCIAL.** Elemento de protección que detecta los defectos de aislamiento. Da lugar a su disparo instantáneo cuando existe una intensidad que se deriva a masa por encima de un determinado valor (30 mA a 300 mA).
- **RELEVADOR.** Es un elemento electromecánico típicamente usado para la protección y aislamiento, los cuales en conjunto con otros dispositivos optoelectrónicos son utilizados para aislar circuitos de potencia de circuitos digitales, ejecutando las acciones de mando del circuito.

2.4. SENSORES.

Un sensor es un dispositivo capaz de captar energía de variables físicas y de transformarla en una señal de salida que sea fácil de utilizar por el ser humano, algunas literaturas definen al sensor como: "una ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos" (Pallas Areny, 2005).

Para la clasificación de los diferentes tipos de sensores proponen algunos criterios:

- **SEGÚN EL APORTE DE ENERGÍA.** Estos sensores se pueden dividir en moduladores y generadores, en función de la procedencia de la fuente de energía de salida la cual puede provenir de una fuente externa o de la misma entrada.
- **SEGÚN LA SEÑAL DE SALIDA.** Estos sensores se pueden clasificar en analógicos y digitales, dependiendo del tipo de señal de salida del sensor.
- **SEGÚN EL MODO DE OPERACIÓN O FUNCIONAMIENTO.** Estos sensores se pueden clasificar en deflexión o comparación. Esta clasificación hace referencia a la acción de permitir o no la deflexión del sensor para determinar la apropiada medición de la variable física.

Además de los criterios de clasificación descritos, los sensores presentan diferentes características, que determinan si son adecuados para ciertas aplicaciones, ya que el comportamiento de un

sistema de medida está condicionado por el sensor que se utiliza, estas características se clasifican en estáticas y dinámicas.

Características estáticas de los sistemas de medida. Son aquellas que describen el desempeño del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable física a medir, algunas de estas características son: exactitud, fidelidad, sensibilidad, repetitividad, reproducibilidad, rango de medida, linealidad, resolución, errores sistemáticos, errores aleatorios; entre otras.

Las características dinámicas de los sistemas de medida. Describen el comportamiento del sensor en estado transitorio, algunas de estas características son: Error dinámico, velocidad de respuesta, etc (Pallas Areny, 2005).

Los sensores no son específicos de un área en particular, debido a su diversidad son utilizados, en campos como la automatización, sistemas de control, sistemas de monitorización, entre otros.

Por los motivos anteriormente expuestos la selección de un sensor es tan importante que no se debe ver como una tarea trivial ya que según la aplicación en que se utilicen y las características del mismo sensor como el rango de medida, resolución, etc; influirán en el funcionamiento del sistema.

2.5. SISTEMAS SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION O CONTROL CON SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS).

Los sistemas SCADA se encuentran en el nivel 3 de la pirámide de automatización, enlazan principalmente celdas de producción y computadoras con el equipo de observación mediante protocolos de comunicación relacionándose entre sí con los equipos del nivel 2 de la pirámide de automatización.

El nombre de SCADA se le da a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo (Rodríguez Aquilino, 2012).

2.5.1. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS SCADA.

Los sistemas SCADA se definen principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Algunos de sus objetivos son los siguientes (Rodríguez Aquilino, 2012):

- **ECONOMÍA.** Tiene que ver con el hecho de obtener la información del sistema vigilado de forma automática ahorrando el personal que tenga que realizar esa función.
- **ACCESIBILIDAD.** Se refiere a la propiedad de tener acceso a la información del sistema de forma remota, teniendo acceso a las diferentes características del sistema.
- **MANTENIMIENTO.** La adquisición de datos presenta la posibilidad de obtener datos de un proceso, almacenarlos, procesarlos y hacer la planeación de los próximos mantenimientos del sistema para evitar fallos.

- **GESTIÓN.** Los datos recopilados pueden ser procesados mediante múltiples herramientas estadísticas, gráficas, etc.
- **FLEXIBILIDAD.** Cualquier modificación de alguna de las características de la interfaz no implica un gasto de medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran la instalación o reinstalación de cableado o dispositivos.

2.5.2. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS SCADA.

- Gracias a las herramientas de diagnóstico será más fácil y rápido localizar algún error en el sistema.
- Debido a la tecnología actual, el operador no tiene que estar sujeto de forma presencial con el proceso o al sistema, ya que puede desplazarse por toda la planta y estar enterado de la evolución del proceso.
- La tecnología WEB permite el acceso desde cualquier lugar del mundo.
- Generación y distribución automática de la información del sistema.
- La interfaz de control puede presentar alarmas y gestionar las acciones necesarias más rápidamente que un usuario.
- En conjunto con los PLC se vuelven sistemas potentes capaces de gobernar el proceso a un nivel de automatización y control superior (Rodríguez, Aquilino 2012).

2.5.3. DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS SCADA.

- Dependiendo del sistema, la inversión inicial puede ser elevada.

2.6. ACTUADORES.

Los actuadores son dispositivos cuya función es proporcionar el medio para desplazar un mecanismo o parte del sistema en el que se encuentra. En conjunto con los sensores, se localizan en el nivel 1 de la pirámide de automatización.

La fuerza necesaria para que el actuador pueda realizar su función generalmente proviene de alguna fuente neumática, hidráulica y/o electromecánica. Independientemente del tipo de actuadores, éstos a su vez se clasifican como: lineales o rotatorios.

La selección del tipo de actuador debe hacerse tomando en cuenta las consideraciones, características y requerimientos de carga del sistema, identificando en todo momento el tipo de fuerza (hidráulica, neumática o motriz eléctrica) para garantizar el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos (lineales o rotatorios) en el tiempo y secuencia indicada, por lo que es recomendado conocer las características de los diferentes actuadores así como el tipo de fuerza de accionamiento de éstos, y de ser posible hacer una tabla comparativa de sus ventajas y desventajas dentro del sistema en cuestión (Creus Antonio, 2011).

2.7. SISTEMAS NEUMÁTICOS.

Son sistemas que utilizan aire comprimido para proporcionar un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos.

2.7.1. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS NEUMÁTICOS:

Entre las ventajas de estos sistemas se encuentran:

- El bajo costo de sus componentes.
- Facilidad de diseño e implementación.
- Fácil conversión al movimiento giratorio y lineal.
- Posibilidad de transmitir energía a "largas" distancias.
- Fácil construcción y mantenimiento.

2.7.2. DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS NEUMÁTICOS.

Sin embargo, presentan desventajas como:

- Imposibilidad de tener velocidades estables debido a la compresibilidad del aire.
- Las posibles fugas que reducen el rendimiento del sistema.
- Dependiendo del generador de aire comprimido, el costo de la energía eléctrica puede ser elevado.
- Oscilaciones debido a la carga y descarga del depósito de aire, provocando movimientos imprecisos.

2.8. SISTEMAS HIDRÁULICOS.

Son sistemas que utilizan fluidos hidráulicos como medio de presión para accionar los pistones de los cilindros neumáticos. Con un sistema hidráulico se suministra aceite presurizado mediante una bomba de motor eléctrico. La bomba extrae aceite desde un colector a través de una válvula de retención y un acumulador para regresar al colector.

2.8.1. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS.

Entre las ventajas de estos sistemas se encuentran:

- Gran potencia transmitida con pequeños componentes.
- Posicionamiento preciso.
- Arranque con cargas pesadas.
- Movimientos lineales independientes de la carga
- Buen control y disipación favorable del calor.

2.8.2. DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS.

Sin embargo presentan desventajas como:

- Polución del ambiente con riesgo de incendio.

- Accidentes en caso de fuga de aceite.
- Sensibilidad a la suciedad.
- Dependencia de la temperatura por cambios de la viscosidad.

2.9. ACTUADOR NEUMÁTICO.

Los actuadores neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico, generando un movimiento lineal mediante pistones o bien un movimiento giratorio con motores neumáticos.

Los cilindros neumáticos de movimiento lineal son actuadores utilizados comúnmente en aplicaciones donde la fuerza de empuje del pistón y su desplazamiento son elevados. La fuerza que produce el cilindro neumático está en función de la presión del aire comprimido alimentado y del área de la sección del émbolo (Creus Antonio, 2011).

Los cilindros neumáticos se dividen en tres grandes grupos:

2.9.1. CILINDROS DE SIMPLE EFECTO (SIMPLE ACCIÓN).

Este tipo de cilindros llamado de simple efecto tiene una sola conexión de aire a presión por lo que no pueden realizar trabajo más que en un solo sentido: ya sea en el avance o en el retroceso del vástago del cilindro. El movimiento de regreso del vástago a su estado de reposo se realiza por gravedad, por fuerza externa o por la presencia de un resorte en el interior del cilindro (el más común es el de simple efecto de resorte) (Creus Antonio, 2011).

Los cilindros de simple efecto se dividen a su vez en:

Cilindros de Simple Efecto Normalmente Retraído: Los cuales tienen como carrera de trabajo el avance del vástago del cilindro en el sentido de su salida.

Cilindros de Simple Efecto Normalmente Extendido: Los cuales tienen como carrera de trabajo el retroceso del vástago del cilindro en el sentido de regreso.

2.9.2. CILINDROS DE DOBLE EFECTO (DOBLE ACCIÓN).

Este tipo de cilindros llamados de doble efecto tienen dos conexiones de aire a presión, una a cada lado del cilindro, por lo cual pueden ejercer trabajo tanto a la salida como a la entrada de su vástago. Mientras que por un orificio entra aire a presión a una cámara por el otro orificio escapa el aire de la otra cámara y así sucesivamente. Estos cilindros son los más usados en la neumática por su versatilidad en las aplicaciones (Creus Antonio, 2011).

Los cilindros de doble efecto se dividen básicamente en:

Cilindros de doble efecto y simple vástago, los cuales son los más frecuentemente utilizados, tienen una pequeña diferencia de fuerzas de trabajo a una misma presión entre el avance y el retroceso del vástago por la diferencia de áreas efectivas del émbolo donde ejerce su fuerza el aire comprimido.

Cilindros de doble efecto y doble vástago, los cuales ofrecen una mayor rigidez y misma fuerza de trabajo tanto en un sentido como en otro sentido opuesto, al área efectiva del émbolo es igual en ambas cámaras del cilindro.

2.9.3. CILINDROS DE CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.

CILINDROS TANDEM: Este tipo de cilindros contiene a dos cilindros gemelos de doble efecto dentro de una misma estructura, por lo cual contiene cuatro diferentes conexiones para el aire comprimido y son conectadas simultáneamente las conexiones de avance o retroceso de cada cilindro alternativamente, siendo así que la utilidad de estos cilindros sea para aumentar la fuerza de trabajo sin aumentar el diámetro, en el caso de tener un espacio reducido en el sentido del diámetro del cilindro contrariamente en el de su longitud (Creus Antonio, 2011).

CILINDROS MULTIPOSICIÓN: Este cilindro está constituido, generalmente, por dos cilindros de doble efecto colocados uno contra el otro y de carreras de vástagos diferentes, esto es como su nombre lo indica, este cilindro tiene diferentes posiciones según el caso. Los cilindros multiposición tienen cuatro diferentes conexiones para el aire comprimido.

CILINDROS DE DOBLE EFECTO CON AMORTIGUAMIENTO REGULABLE EN LOS DOS FINES DE CARRERA: Este tipo de cilindro, como su nombre lo indica amortigua el golpe del émbolo con las tapas delantera y trasera de cada cámara y, además, permite su regulación lo que se logra teniendo dos pequeñas cámaras de aire adicionales que se forman poco antes de cada final de carrera (2 o 3 cm), ya sea en el avance o en el retroceso, de tal manera que el escape de este aire a la atmósfera sea regulado por un tornillo. De los cilindros de características especiales, éste es de los más utilizados en el mercado.

CILINDROS TELESCÓPICOS: Estos cilindros son utilizados para cuando son necesarias longitudes largas y no se cuenta con espacio para tener un cilindro con la longitud convencional para la carrera del vástago necesitada, este tipo de cilindro tiene vástagos en forma de telescopio, los cuales se extienden o se retraen, existen de doble y simple efecto, en el caso del cilindro de simple efecto se requiere de una fuerza externa para su regreso a vástagos contraídos.

OTROS TIPOS DE CILINDROS NEUMÁTICOS: Entre los que encontramos cilindros de impacto, motor neumático, diafragma, semi-motores, cilindros rotativos, óleo neumáticos.

2.10. VÁLVULAS NEUMÁTICAS.

Las válvulas son elementos de mando e información que tratan o dirigen el caudal de presión del aire comprimido. Por lo cual las válvulas regulan o mandan la marcha, el paro, el sentido de dirección y la cantidad de flujo de presión de aire comprimido (Creus Antonio, 2011).

Las válvulas se dividen en tres grandes grupos según su función:

- Válvulas de control direccional (válvulas de vías o distribuidoras).
- Válvulas de control de presión,
- Válvulas de control de flujo.

Las válvulas de control de flujo podrían subdividirse en válvulas de bloqueo de cierre y de caudal. Por la forma de accionamiento de las válvulas, tenemos que se dividen en:

- Válvulas de accionamiento muscular.
- Válvulas de accionamiento mecánico.
- Válvulas de accionamiento eléctrico.
- Válvulas de accionamiento mecánico.
- Válvulas de accionamiento combinado eléctrico neumático.

La simbología neumática de acuerdo con las normas europeas y americanas (CETOP, código JIC, DIN 24300 y DIN 40700). Las válvulas se representan por cuadros, cada cuadro indica la posición interna de la válvula, así que una válvula representada por dos cuadros es una válvula que tiene dos posiciones internas. En la simbología de estas válvulas se utiliza la nomenclatura de la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Simbología de válvulas distribuidoras.

ISO 1219	CETOP	FUNCIÓN
P	1	Conexión del aire comprimido (alimentación).
A,B,C	2,4,6	Tuberías o vías de trabajo con letras mayúsculas.
R,S,T	3,5,7	Orificios de purga o escape.
X,Y,Z	12,14,16	Tuberías de control, pilotaje o accionamiento.
L	9	Fuga.

2.11. CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

En las instalaciones eléctricas, los elementos que proveen las trayectorias de circulación de la corriente eléctrica son conductores, alambres forrados con un material aislante no conductor.

La mayor parte de los conductores usados en las instalaciones eléctricas son de cobre (CU) o aluminio (AL), debido al bajo costo. Comparativamente el aluminio es un 16%, aproximadamente, menos conductor que el cobre, pero al ser mucho más liviano que éste, resulta ser más económico. Para las instalaciones eléctricas los conductores se fabrican de sección circular de material sólido o como cables, dependiendo de la cantidad de corriente por conducir (ampacidad).

Desde el punto de vista de las normas, los conductores se han identificado por un número que corresponden a lo que comúnmente se le conoce como calibre, y que normalmente sigue el sistema americano de designación AWG (*American Wire Gage*), siendo el más grueso el 4/0 y siguiendo en orden descendente 3/0, 2/0, 1/0, 1,2,3,4,6,8,10,12,14,16,18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas (Fig. 2.2). Es conveniente notar que en el sistema de designación AWG, a medida que el número de designación es más grande la sección es menor (Harper Enríquez, 2014).

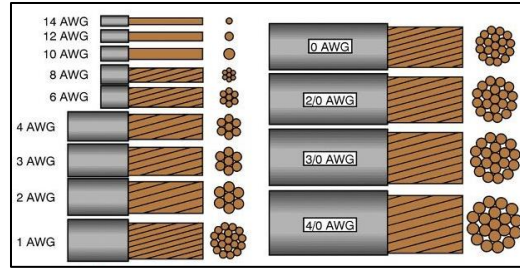


Figura 2.2. Calibres AWG [5].

2.12. ACTUADOR ELÉCTRICO (MOTOR ELÉCTRICO).

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica rotacional por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. El motor eléctrico es uno de las principales actuadores empleados en la industria (Harper Enríquez, 2008).

Tabla 2.2. Clasificación de motores eléctricos.

	C.A.	C.D.
Síncronos	Asíncronos (inducción)	De excitación independiente
Escobillas	Monofásicos Polifásicos	De excitación serie
Reluctancia	Jaula de ardilla	De excitación shunt o derivación
Convencional	Rotor devanado	De excitación compuesta
De paso		
histéresis		

Todos los motores de C.D. y de C.A. incluidos en la clasificación de la Tabla 2.2 tienen un uso y una aplicación específica.

Los motores de C.A. de inducción, monofásicos y trifásicos son los que tienen una aplicación más generalizada, gracias a su facilidad de uso, bajo mantenimiento y bajo costo.

2.12.1. MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS.

Los motores asíncronos de inducción, son aquellos en los que la velocidad de giro del rotor es algo inferior a la del sincronismo y se pueden encontrar tanto trifásicos como monofásicos.

2.12.2. MOTORES TRIFÁSICOS.

Son motores en el que el embobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí, y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna. Los podemos encontrar de dos tipos (Harper Enríquez, 2008):

- Rotor en corto circuito (jaula de ardilla).
- Rotor bobinado.

2.13. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito del estator sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado del estator corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado del rotor, es de entender que los conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electromotrices sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

2.14. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PRINCIPALES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

Los motores de inducción se describen a partir de su:

- Potencia nominal, P [KW] o [HP].
- Tensión nominal de operación, U [V].
- Número de fases.
- Frecuencia de operación, f [Hz].
- Tipo de Carcasa
- Intensidad de corriente máxima de operación, I [A].
- Velocidad nominal de giro, n [R.P.M].
- Factor de potencia, $\cos \Phi$ [adimensional].
- Temperatura de trabajo.

2.15. SISTEMAS DE CONTROL.

Un sistema de control es una interconexión de componentes o elementos que forman una configuración del sistema que proporcionará una respuesta deseada (Dorf, Bishop, 2005).

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las posibilidades de fallo y obtener un desempeño deseado.

2.16. TERMINOLOGÍA DE LA TEORÍA DE CONTROL:

- **VARIABLE CONTROLADA Y SEÑAL DE CONTROL O VARIABLE MANIPULADA.**

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto al valor deseado (Katsuhiko Ogata, 2010).

- **PLANTA.** Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. Se le llamará planta a cualquier objeto físico que controla (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).
- **PROCESO.** El diccionario Merriam – Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcados por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de forma relativamente fija y que se conducen a un resultado o propósito determinado. Se le llamará proceso a cualquier operación que se va a controlar.
- **SISTEMA.** Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado.
- **PERTURBACIONES.** Es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema sin que se posea el control sobre ella. Si la perturbación se realiza dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.
- **FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.** La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación), bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.
- **SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO.** Un sistema de control en lazo abierto es un sistema sin realimentación, utiliza un regulador o actuador de control para obtener la respuesta deseada (Katsuhiko Ogata, 2010). Es un sistema no complejo que no puede satisfacer requerimientos de desempeño críticos (Kuo C. Benjamin, 1996).
- **SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO.** Un sistema de control realimentado mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control. Los sistemas de control realimentado se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema (Katsuhiko Ogata, 2010).

2.17. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES INDUSTRIALES.

Los controles industriales se clasifican de acuerdo a sus acciones de control como:

- De dos posiciones o controladores encendido/apagado (ON/OFF).
- Controladores proporcionales.
- Controladores integrales.
- Controladores proporcionales – integrales.
- Controladores proporcionales – derivativos.
- Controladores proporcionales – integrales – derivativos (PID).
- Otros (fuzzy control, neuro fuzzy control , etc).

2.18. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.

La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía *National Instruments* en el 2001. En el año de 1983, Truchard y Kodosky, de *National Instruments*, decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera funcionar a la computadora personal (PC) como un instrumento para realizar mediciones de manera gráfica y sencilla. De esta manera surge el concepto de "Instrumento Virtual" (VI), definido como un "instrumento que no es real", se ejecuta en la computadora y tiene sus funciones definidas por software. A partir del concepto de Instrumento Virtual, se define la Instrumentación Virtual como un sistema de medición, análisis y control de señales físicas con una PC por medio de Instrumentos Virtuales (Rugeles Rafael, 2002).

La Instrumentación Virtual supone un nuevo enfoque de la instrumentación tradicional que incorpora nuevas características y elementos del sistema añadiendo mejoras tecnológicas basadas en las innovaciones científicas, además, de reducir costos de la producción de los sistemas y beneficiar el uso de nuevas tecnologías logrando una plataforma de diseño extremadamente flexible y eficiente.

En la actualidad, los sistemas de monitoreo y control de procesos se realizan bajo esquemas de Instrumentación Virtual debido al constante avance tecnológico que experimentamos. Los sistemas de Instrumentación Virtual son ampliamente utilizados por su bajo costo, gran flexibilidad y reconfigurabilidad, así como por su alto rendimiento y ahorro de tiempo de desarrollo; razón por la que constituyen una evolución natural respecto a los sistemas tradicionales de instrumentación (Pineda Alejandro, 2011).

Hoy en día existen diversas plataformas que permiten realizar el desarrollo de Instrumentos Virtuales, quizás las más destacadas o al menos las más reconocidas son Visual Basic y LabVIEW.

2.19. LabVIEW.

LabVIEW es el nombre comercial y el acrónimo de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* producido por *National Instruments* (Fig. 2.3), el cual es un lenguaje y, a la vez, un entorno de programación gráfica orientada a objetos en que se pueden crear aplicaciones mediante bloques de programación (Lajara José, 2011).



Figura 2.3. LabVIEW [10].

Con LabVIEW es posible diseñar Instrumentos Virtuales, módulos de software que simulan el panel frontal de un instrumento físico (osciloscopios, generadores, sistemas de monitorización, entre otros). De este modo cuando se ejecuta un programa que funciona como instrumento virtual o VI (*Virtual Instrument*), el usuario ve en la pantalla de su PC un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del instrumento. Apoyándose en elementos de hardware como tarjetas de adquisición de datos, microcontroladores, comunicaciones RS-232, USB, Ethernet, etc; el VI debe actuar captando o generando señales como lo haría su homólogo físico (del Río Joaquín, 2013).

2.19.1 ENTORNO DE TRABAJO DE LabVIEW.

El entorno de trabajo de LabVIEW consta de dos partes:

- **DIAGRAMA DE BLOQUES.** Ventana donde se realizan las conexiones de los bloques de programación, las estructuras de flujo y decisión. El diagrama de bloques contiene el código fuente gráfico (funciones, estructuras controles, indicadores de terminal, cableado de datos) (Fig. 2.4).

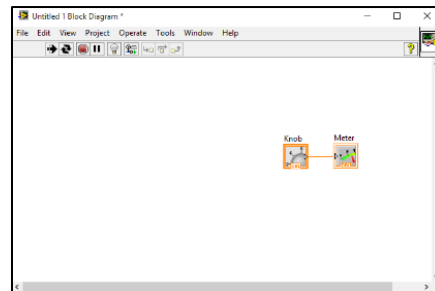


Figura 2.4. Diagrama de bloques [10].

- **PANEL FRONTAL.** Ventana que visualizará y manipulará el usuario final. El panel frontal es la interfaz donde el usuario interactúa con los controles e indicadores del instrumento Virtual (Fig. 2.5).

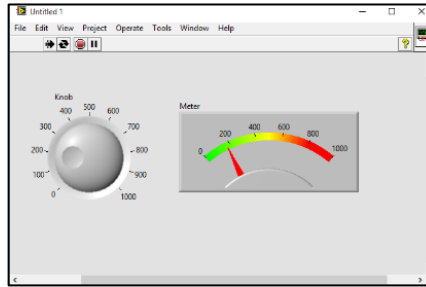


Figura 2.5. Panel frontal [10].

2.20. MEJORA CONTINUA.

La automatización y la mejora continua en los procesos productivos permiten mejorar el control de las actividades, detectar y corregir los problemas y las oportunidades de mejora en el funcionamiento de la organización, repartir la carga de trabajo, disminuir los tiempos muertos, aumentar la rapidez en la puesta en marcha de nuevos servicios y aplicaciones, sin tener que hacer complejos y costosos desarrollos, forzar el cumplimiento de normativas y estándares, mejorando la trazabilidad, la transparencia, el mantenimiento y la documentación de todas las actividades, así como la realimentación del conocimiento de la organización (Aurelio José, 2009).

2.20.1 LEAN MANUFACTURING (MANUFACTURA ESBELTA).

LEAN MANUFACTURING, es una filosofía enfocada a la eliminación continua y sostenible de todos los desperdicios (materiales, equipo, personal, tecnología, etc.), actividades que no añadan valor al producto, reducción de tiempos de entrega, reducción de costos y la mejora de calidad de producto, etc. LEAN MANUFACTURING es más que la aplicación de herramientas como 5S, Kaizen, JIT, LEAN es un sistema completo que incorpora una organización cultural en la cual se requiere alto compromiso de la dirección de la compañía que decida implementarlo.

Dentro del concepto de LEAN se identifican 7 tipos de desperdicios que se presentan en toda empresa o negocio. Adicionalmente se consideran 2 tipos de desperdicio lo que da origen a 7+2 tipos de desperdicio: sobreproducción, esperas, movimientos innecesarios, transporte, sobre procesamiento, no calidad, inventario, uso de personal, desperdicios al medio ambiente (LEAN SOLUTIONS, 2011).

2.21. MATERIA PRIMA.

La materia prima es un factor importante que debe ser considerado durante la fabricación de los productos. Independientemente del tipo de producto, se tienen dos líneas principales:

- Consumo humano.
- Aplicación en general (envases, botellas, garrafones, entre otros).

Los productos destinados para aplicaciones de consumo humano deben ser manufacturados con materia prima "virgen", lo que implica que de ninguna manera pueden ser contaminados y por lo tanto, el uso de materiales reciclados es descartado. La gran problemática que

acompaña a esta tendencia es la tasa de crecimiento de consumo anual. México es un país dependiente del 55.2% de las importaciones de materia prima “virgen” (Fig. 2.6), incapaz de cubrir con la demanda que requiere y de mantener precios fijos en las resinas.

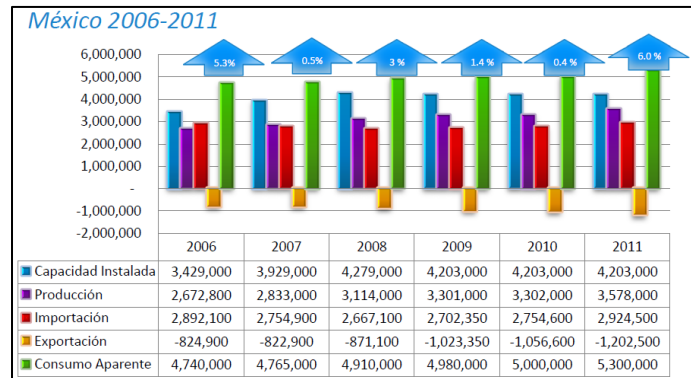


Figura 2.6. Evolución del mercado de plásticos [23].

En nuestro caso, la materia prima requerida es el PEAD (Polietileno de Alta Densidad), el cual es el segundo plástico más demandado en un nuestro país solo después del polipropileno, con un consumo aparente de 836,000 Ton/año (Fig. 2.7).

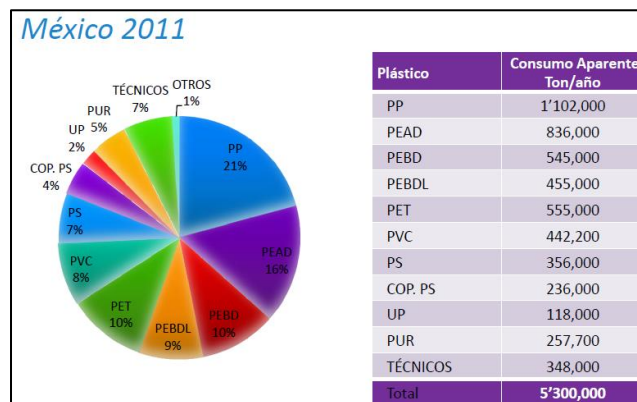


Figura 2.7. Segmentación por tipo de plástico [23].

Por otro lado, el reciclaje presenta una oportunidad para contrarrestar la contaminación producida por el exceso de desperdicio de plástico y es una alternativa para la sustitución de materia prima “virgen”. Sin embargo, en México el reciclaje del plástico está muy por debajo de otros materiales (Fig. 2.8), provocando que de no contar con el equipo adecuado, (maquinaria) esta opción no sea tan económica.

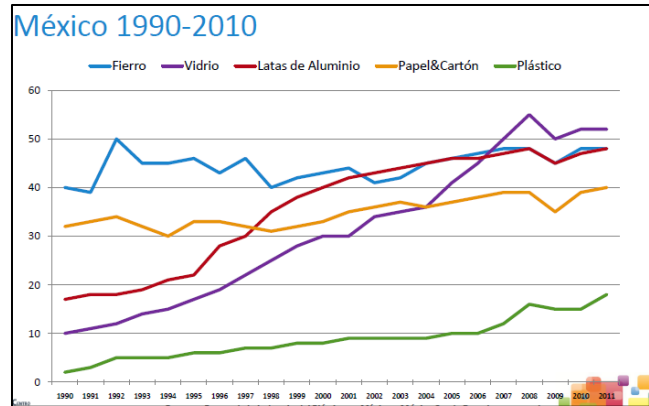


Figura 2.8. Reciclado de materiales como % del consumo [23].

2.22. GRAFCET (Gráfico de Mando de Etapa Transición).

GRAFCET es un diagrama funcional que describe la evolución del proceso que se pretende automatizar, indica y describe las acciones que hay que realizar. Su empleo facilita el análisis del proceso, el mantenimiento y la reparación de averías (Romera Pedro, 2007).

Actualmente existen tres niveles en un GRAFCET (Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3), donde el nivel de detalle y descripción del proceso se va incrementando al mismo tiempo que se incrementa el nivel del GRAFCET.

2.22.1. ETAPAS DEL GRAFCET.

La representación gráfica de la evolución del proceso está dada por una serie de etapas y cada una de estas etapas tiene asociada una o varias acciones.

Las etapas del GRAFCET se representan con un cuadro y un número o una letra, esta indica el orden de la etapa dentro del diagrama, para distinguir etapa inicial, esta es la única que se dibuja con un doble cuadro.

2.22.2. CONDICIÓN DE TRANSICIÓN DEL GRAFCET.

El GRAFCET está compuesto por una serie de etapas que se activan de forma sucesiva, lo que implica que debe existir una o varias condiciones que deberá(n) cumplirse para que exista una transición entre etapas, esto implica, que al cumplirse la transición, una etapa previa se desactivará para dar paso a una etapa posterior. La condición de transición siempre está asociada a la etapa anterior.

2.22.3. REGLAS DE EVOLUCIÓN DEL GRAFCET.

Entre las reglas de evolución del GRAFCET se encuentran:

- Descomposición del proceso en etapas que se activarán de manera secuencial (algunas de estas etapas se activarán en paralelo).

- Una o varias acciones se asocian a la etapa, estas acciones solo se activan cuando la etapa se activa.
- Una etapa se activa si la etapa anterior se encuentra activa y la(s) condición(es) de transición se activa(n).
- La activación de la(s) condición(es) de transición implica la desactivación de la etapa anterior y la activación de la etapa siguiente.
- La etapa de inicio tiene que ser activada antes de que se inicie el ciclo del GRAFCET.

III. DISEÑO DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.

En esta sección se abordará el tema de la selección de los sensores, actuadores y dispositivos de mando que se utilizaron para realizar las mediciones, la toma de decisiones y la ejecución de las acciones del sistema, tomando en cuenta sus principales características para la construcción del sistema propuesto.

Uno de los pasos para la solución de problemas del método de ingeniería es recopilar la información necesaria con la finalidad de obtener la mayor cantidad de datos para proponer una solución viable que resuelva el problema en cuestión.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MANUFACTURA MANUAL.

A continuación se describirán las partes más importantes que componen la maquinaria de proceso manual (Fig. 3.1):

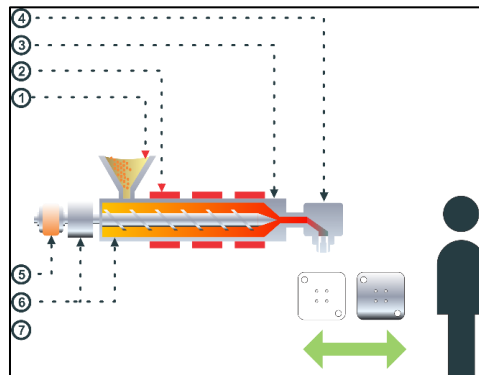


Figura 3.1. Partes de la maquinaria del proceso manual.

1. Tolva. Sirve para alimentar a la máquina de materia prima.
2. Resistencias de calefacción. Mantiene el cañón a cierta temperatura con la finalidad de fundir la materia prima.
3. Cañón. Conduce el material fundido hacia el cabezal.
4. Cabezal. Su función es dosificar de materia prima fundida "parison" (el parison es un tubo o manguera de plástico que es obligado a pasar por un molde) a los moldes.
5. Motor trifásico. Se encarga de generar la acción de movimiento para hacer girar el husillo.
6. Caja reductora de velocidad. Permite reducir la velocidad del motor y aumentar el torque para hacer girar el husillo.
7. Husillo (tornillo sin fin). Desplaza la materia prima fundida a través del cañón.
8. Prensa. Genera la presión de cierre necesaria para moldear el producto.

Por otro lado, como se comentó en el capítulo 1 de este trabajo, el éxito del proceso de manufactura manual depende en todo momento de las habilidades y la experiencia del operador para realizar en un tiempo determinado un conjunto de movimientos sucesivos los cuales se ilustran en la Fig. 3.2:

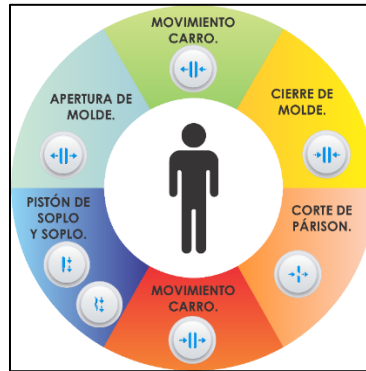


Figura 3.2. Movimientos realizados por el usuario del proceso manual.

Además, el proceso manual cuenta con un sistema de control de temperatura encendido/apagado (ON/OFF), el cual interconecta los siguientes componentes (Fig. 3.3):

- Pirómetro Analógico, que compara la señal proveniente del termopar y envía la señal de activación al relevador de potencia.
- Relevador de potencia, el cual conecta o desconecta la resistencia de calefacción.
- Resistencia de calefacción.
- Termopar, que obtiene la temperatura del cañón y envía la señal de voltaje correspondiente de ésta al pirómetro analógico.

Finalmente, el proceso cuenta con un sistema neumático compuesto por un pistón de sople, cuya boquilla obstruye el orificio del molde para realizar la función de sople y una válvula de sople que proporciona el aire necesario para “soplar” el parison dentro del molde.

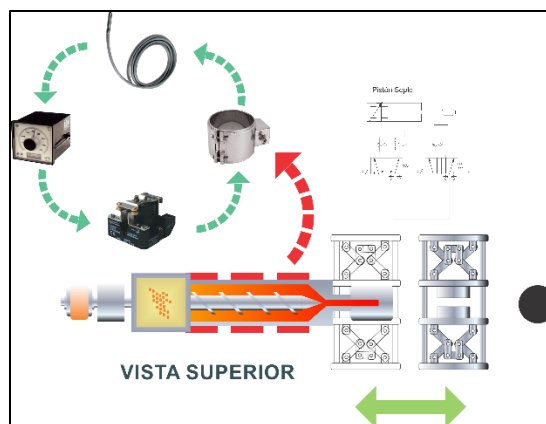


Figura 3.3. Sistema control de temperatura y control neumático del proceso manual.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.

A continuación se muestran los pasos del proceso de producción manual (Fig. 3.4):

- El operador espera que el parison tenga la longitud adecuada antes de poder cerrar el molde.
- El operador cierra el molde y corta el parison por la parte superior de éste.
- La prensa es desplazada para poder "soplar" el parison contenido por el molde.
- La prensa se abre para obtener el producto y dar el acabado final.
- El operador desplaza la prensa a su posición inicial y el ciclo se repite.

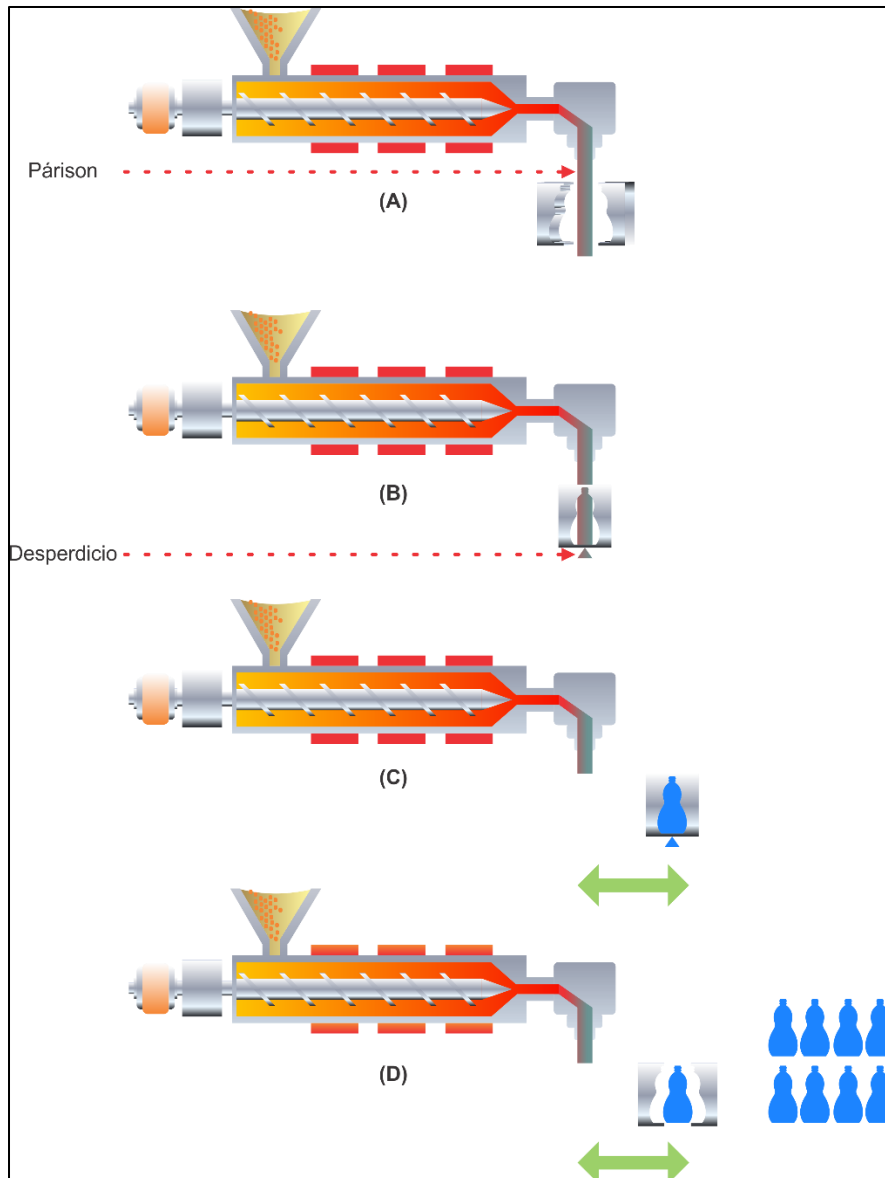


Figura 3.4. Proceso de producción.

3.3. PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA.

El diseño del prototipo consiste en un sistema basado en cuatro subsistemas que se conectan entre sí para gobernar: los movimientos, la temperatura, la velocidad del proceso y la adquisición y registro de las variables del sistema. A continuación se muestran los componentes el sistema propuesto (Fig. 3.5):

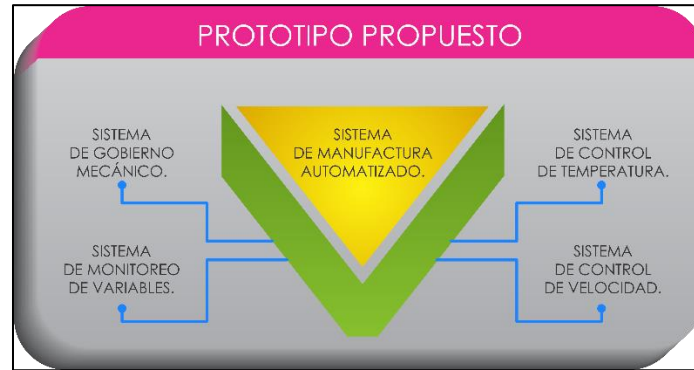


Figura 3.5. Sistema propuesto.

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DEL PROTOTIPO PROPUESTO.

Como se mencionó anteriormente el prototipo propuesto está compuesto por cuatro sistemas que se encargan de gobernar diferentes secciones de éste.

- a) Sistema de Gobierno de Movimientos Mecánicos. Este sistema es el encargado de ejecutar los mismos movimientos que realiza el operador: movimiento de carro (adelante o atrás), cierre de prensa o molde, corte de parison, activación del pistón de sople y sople de aire (Fig. 3.6).

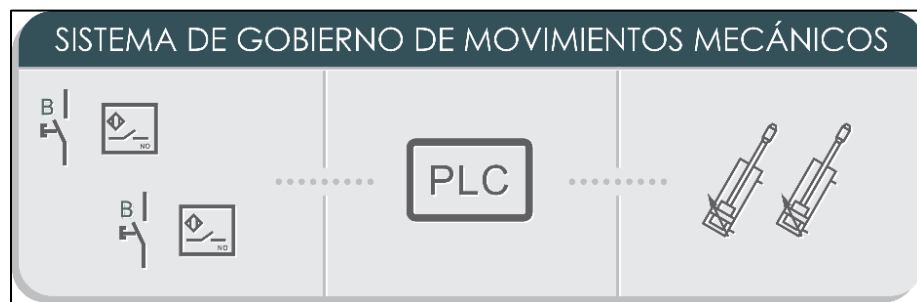


Figura 3.6. Sistema de gobierno de movimientos mecánicos. Está compuesto por botones de control, sensores fotoeléctricos, sensores inductivos, PLC y actuadores neumáticos (pistones).

- b) Sistema de Control de Velocidad. Este sistema es el encargado de controlar la velocidad en que la materia prima pasa a través del cañón (Fig. 3.7).

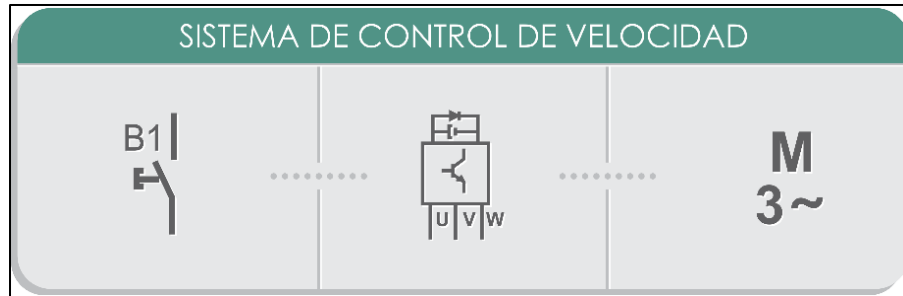


Figura 3.7. Sistema de control de velocidad. Está compuesto por un botón de control, un variador de velocidad, un potenciómetro de ajuste de frecuencia y un motor trifásico.

- c) Sistema de Monitorización de Variables. Este sistema es el encargado de recolectar las variables físicas del sistema como: presión, corriente, voltaje, temperatura, etc. Además, éste puede controlar parte del sistema mecánico si así es requerido (Fig. 3.8).



Figura 3.8. Sistema de monitorización de variables. Está compuesto por sensores de presión, corriente, voltaje, temperatura, una red de comunicación, microcontroladores y pantalla de desplegado.

- d) Sistema de Control de Temperatura. Este sistema es el encargado de mantener la temperatura constante según las necesidades de la materia prima ya que según el tipo de materia prima, puede requerir de mayor o menor temperatura (Fig. 3.9).

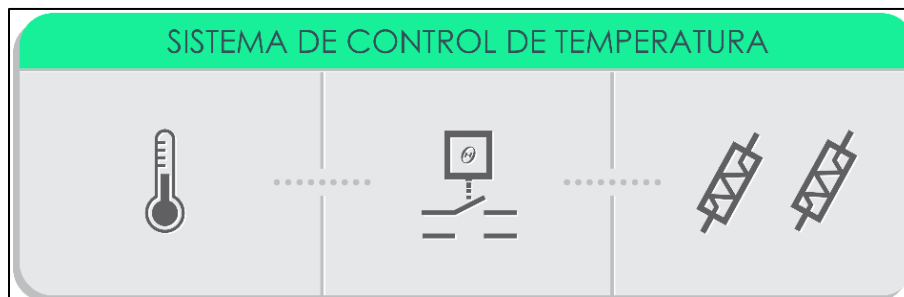


Figura 3.9. Sistema de control de temperatura. Está compuesto por controladores y sensores de temperatura, resistencias de calefacción, dispositivos de conexión (relevadores de potencia o relevadores de estado sólido).

3.3.2 INTERCONEXIÓN DE LOS SUBSISTEMAS PROPUESTOS.

El prototipo es gobernado por los subsistemas descritos anteriormente, los cuales se encuentran interconectados de tal forma que pueden interactuar entre ellos pero sin depender uno del otro. En la Figura 3.10 se muestra la forma de interconexión entre los subsistemas:

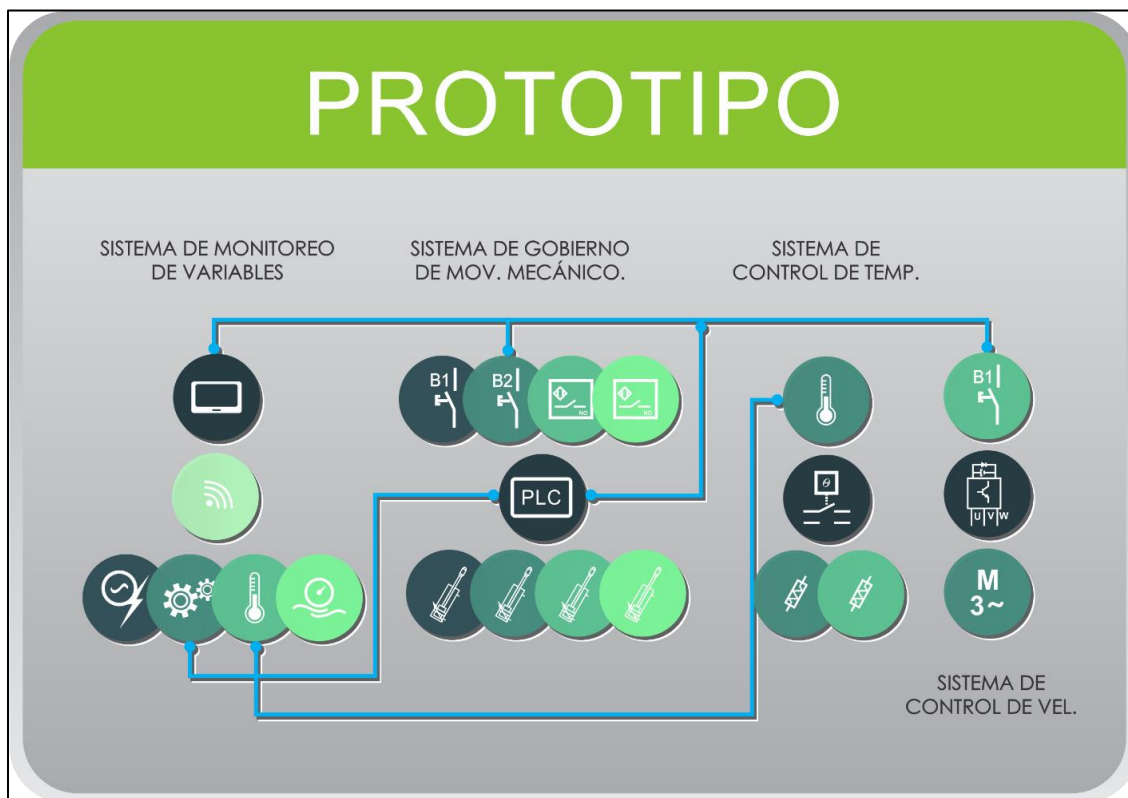


Figura 3.10. Interconexión de sistemas del prototipo propuesto.

Como se puede apreciar el subsistema de monitorización de variables puede tener conexión con los tres de los subsistemas: sistema de movimiento mecánico, sistema de control de velocidad, acceso al sensor primario de temperatura. Además el sistema de movimiento mecánico puede enviar la señal de inicio al variador de velocidad del sistema de control de velocidad.

3.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

El sistema de control de temperatura tiene los siguientes requerimientos (Tabla 3.1):

Tabla 3.1. Requerimientos del sistema de control de temperatura.

Sensor	Controlador	Accionador
Rango: Mayor a 300 °C.	Rango Mayor a 300 °C.	Corriente: 25A max.
Inmunidad a la vibración mecánica.	Salidas a relevador de estado sólido o relevador	Aislamiento de la carga

3.4.1. SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR.

Un termopar es un sensor que consiste de dos metales diferentes unidos por un extremo, denominado junta caliente, suministrando una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura (Fig. 3.11).

Los alambres de los termopares se escogen de manera que produzcan una fuerza electromotriz grande que varíe linealmente con la temperatura. Existen varias combinaciones de metales que producen buenos termopares para usos industriales que deben ser capaces de desarrollar una fuerza electromotriz por grado de cambio de temperatura que se pueda detectar con instrumentos estándar de medición en muchas aplicaciones, deben ser suficientemente fuertes desde el punto de vista físico para soportar altas temperaturas, los cambios rápidos de estas y el efecto de atmósferas corrosivas y reductoras (Termokew S.A. de C.V. 2016).

No hay ningún metal o aleación conocida que tenga características deseables, aunque algunos se acercan mucho a ellas (Fig. 3.12). La Tabla 3.2 muestra las aleaciones de los termopares más conocidos y su rango de operación.

Tabla 3.2. Tipos de termopar.

Termopar	Aleación	Rango de Operación
"J"	Hierro – Constantan	-0 - 760 °C.
"K"	Cromel – Alumel	-200 + 1370 °C.
"T"	Cobre – Constantan	-200 + 350 °C.
"E"	Cromel – Constantan	-200 + 1250 °C.
"R"	Platino, Platino rodio 13%	0 + 1450 °C.
"S"	Platino, Platino Rodio 10%	0 -1450 °C.
Calibres AWG	8,14,16,20,24,26	



Figura 3.11. Termopar [d].

La Tabla 3.3 muestra el porcentaje de error en los diferentes termopares a cierta temperatura dentro de un rango de operación determinado por un grado especial y un grado estándar.

Tabla 3.3. Límites de error de termopares [d].

Termopar Tipo	Temp. °C	Grado Estándar *	Grado Especial
J	0 a 350	± 1.0 °C + 0.75%	± 0.5 °C 0.4%
K	0 a 1250	± 2.2 °C + 0.75%	± 1.1 °C 0.4%
T	0 a 350	± 1.0 °C + 0.75%	± 0.5 °C + 0.4%
E	0 a 900	± 1.7 °C + 0.5%	± 1.0 °C +0.4%
R	0 a 1450	± 1.5 °C +0.25%	± 0.6 °C + 0.1%
S	0 a 1450	± 1.5 °C + 0.25%	± 0.6 °C +0.1%

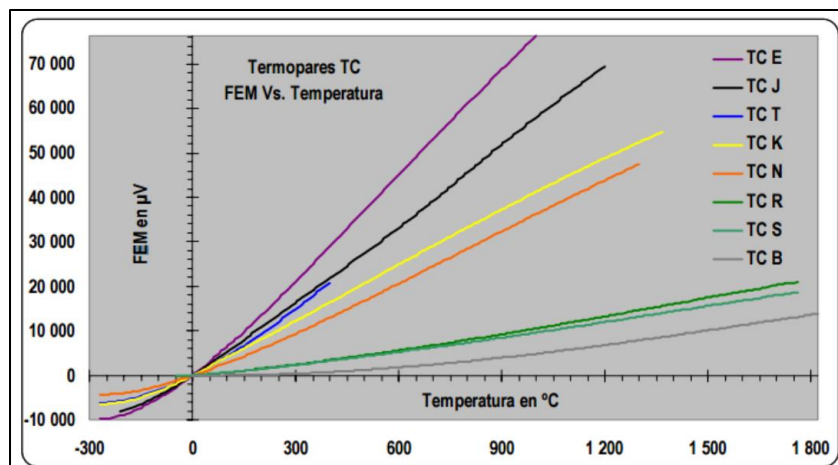


Figura 3.12. Temperatura Vs. FEM termopares (sensibilidad) [d].

A continuación se muestran las ventajas y las desventajas más relevantes para esta aplicación (Tabla 3.4):

Tabla 3.4. Ventajas y desventajas de los termopares.

Ventajas del Termopar	Desventajas del Termopar
Gran Variedad de termopares.	No es completamente lineal.
Comportamiento del termopar tipo "J", "K" "N" es casi lineal hasta los 300 °C.	Necesita de una referencia.
Es más económico que una RTD de tipo industrial.	
No tiene problemas con el auto-calentamiento.	
No es afectado por vibraciones y choques mecánicos	

Para elegir el sensor de temperatura, se realizó la comparación entre las características de algunos sensores comerciales (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Comparativa de rangos de temperatura.

Parámetro	Termopar tipo "J"	Termopar tipo "K"	RTD	LM35
Rango	0 – 760 °C	0 – 1260 °C	0 – 800 °C	0 – 150 °C

Esta aplicación tiene un rango de medición de 150°C a 300 °C, razón por la que el sensor LM35 no fue el óptimo para el sensado.

Por otro lado, en el sistema existe una vibración considerable debido al movimiento constante de los actuadores lo que puede generar problemas con el RTD, además de ser más costoso que los demás sensores (LM35 y Termopar).

Además, se realizó una investigación de campo para verificar cual es el sensor elegido por excelencia en procesos similares al presentado en este proyecto y este fue el termopar. El termopar tipo "J" y el tipo "K" son los dos sensores más usados en las maquinarias extrusoras de

plástico. El termopar tipo "J" por lo general se utiliza en maquinarias con bajo rango de temperatura (0 – 760 °C), como es el caso del proceso de "soplo" mientras que el termopar tipo "K" se utiliza en maquinarias de inyección y extrusión de plástico que requieren de una temperatura más elevada (0 – 1260 °C) para llevar a cabo su proceso.

Derivado del estudio de las características de cada sensor y de la investigación realizada, se eligió como sensor para esta aplicación al termopar tipo "J". Debido a las siguientes características:

- Alta inmunidad al ruido debido a que está recubierto por una vaina metálica.
- Alta inmunidad a las vibraciones mecánicas.
- Más económico que el termopar tipo "K" y la RTD.
- Mayor sensibilidad que un termopar tipo "K".
- Rango de temperatura adecuado para la aplicación.
- Casi lineal en el rango de temperatura de la aplicación.

3.4.2. CONTROL DE TEMPERATURA TIPO ENCENDIDO/APAGADO (ON/OFF).

Para controlar la temperatura del proceso con la mayor precisión posible, se requiere de un dispositivo que se encargue del monitoreo y control de la temperatura. Este dispositivo deberá comparar la temperatura del proceso con la temperatura deseada (por medio de un sensor RTD o Termopar) activando o desactivando una señal de control que gobernará un elemento de salida (relevador mecánico o relevador de estado sólido).

Un controlador ON/OFF (Fig. 3.13) es la forma más simple de regulador de temperatura. La salida del dispositivo está encendida o apagada, sin un estado medio. Un controlador ON/OFF cambia la salida sólo cuando la temperatura atraviesa el punto de ajuste (set point), lo que ocasiona que la temperatura del proceso oscile continuamente en torno al punto de ajuste. En los casos en los que esta frecuencia de conmutación se produce "rápidamente" se añade un diferencial de encendido y apagado "histéresis" para evitar daños en los contactores, alargando así su periodo de vida. Un diferencial ON/OFF impide que se produzcan cambios rápidos de conmutación en la salida de control. Debido a la necesidad de esta histéresis habrá siempre un sobrepaso y un suboscilación, lo que provoca que la temperatura se exceda del punto de ajuste por una cierta cantidad antes de que la salida de control se active o desactive de nuevo.

El control ON/OFF se utiliza generalmente cuando el control de temperatura preciso no es necesario. Este control de temperatura nos permitirá implementar un control de temperatura regular, es decir, permite controlar la temperatura con un rango de temperatura de +/- 15 °C.

Las características relevantes para esta aplicación del controlador ON/OFF se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Características pirómetro (ON/OFF).

Consumo de energía	10VA
Protección	Contra ruptura de termopar
Inmunidad ante vibraciones mecánicas	Si
Modo de control	Proporcional
Presición de ajuste	+/- 2% del intervalo
Voltaje de entrada	120 – 220VCA; 50 – 60 Hz.
Histéresis	1%
Salida	1 a Relevador 1P2T
Rango de temperatura	50 – 450 °C.
Tipo de sensor	"J"
Entrada	Solo termopar
Contactos de salida	3 @ 127VCA/220VCA.
Selector de temperatura	Mediante perilla
Tipo	Análogo

**Figura 3.13.** Pirómetro.

3.4.3. CONTROL DE TEMPERATURA TIPO PID.

Los controladores se usan ampliamente en sistemas de control industrial para ajustar o mantener las salidas deseadas de los procesos específicos dentro de un rango. Los controles de temperatura se usan en gran variedad de industrias y son herramientas importantes para obtener los resultados deseados para el control (Autonics, 2016).

- **ON/OFF.** Descrito en la sección 3.4.2.
- **ACCIÓN PROPORCIONAL EN EL TIEMPO.** Existen procesos que requieren un control más preciso que el que ofrece un control ON/OFF. El control proporcional trabaja de manera similar al control ON/OFF mientras la temperatura del proceso está por debajo del set point (banda proporcional). El control proporcional comienza a actuar en la región de conmutación ON/OFF. En la parte baja de la banda proporcional el tiempo de encendido (*ON*) es mucho mayor en el tiempo que el tiempo de apagado (*OFF*). A medida que la temperatura se acerca al punto de ajuste, el tiempo de encendido disminuye y el tiempo de apagado aumenta. Esto cambia la potencia efectiva y ocasiona una disminución de la velocidad a la cual la temperatura del proceso aumenta. En este punto se obtiene el control. A la diferencia entre el punto de ajuste y el punto de control se llama "*DROP*" (caída o error).
- **ACCIÓN INTEGRAL.** Si el error del control proporcional en el tiempo no se puede tolerar en el proceso, se debe agregar la función integral de control. La función integral que se encuentra en los controladores de corte automática emplea un algoritmo matemático para calcular la magnitud del error y luego ajustar a salida y llevarla más cerca del punto de ajuste. Esta acción de corte automático tiene efecto únicamente dentro de la banda proporcional. Si esta acción se efectúa fuera de la banda proporcional el sistema se hace inestable.

- **ACCIÓN DERIVATIVA.** El sobrepaso de temperatura, ocurre cuando ésta sobrepasa el punto de ajuste. Este sobre paso puede ser pequeño e insignificante o lo bastante grande para causar problemas con el proceso. El sobre paso puede ser perjudicial en muchos procesos por lo que debe ser evitado.

La función derivativa puede ser usada en estos casos para prevenir el exceso de temperatura. La función derivativa anticipa con qué rapidez se llega la temperatura al punto de ajuste. Esto lo hace midiendo la velocidad de cambio de la temperatura del proceso y forzando al control a entrar antes en una acción proporcional disminuyendo la velocidad del cambio de la temperatura del proceso. Esto resulta en una temperatura que llega al punto de ajuste de forma suave, previniendo el sobre paso excesivo durante los cambios del sistema.

Comúnmente el sistema más exacto es aquel que es proporcional, tiene control integral automático y es derivado. Este tipo de control se conoce como PID (Fig. 3.14). Para este trabajo se eligió el control de temperatura Serie TCN4S. A continuación se presentan las características más relevantes para este trabajo (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Características TCN4S.

Alimentación	100 – 240 VCA
Rango de voltaje disponible	90 – 110% de voltaje nominal
Consumo de alimentación	5VA (100 – 240VCA 50/60 Hz.)
Método display	7 segmentos rojo
Tamaño de caracter	W7xH7mm
Tipo de entrada	RTD, TC
Salida de control	Relé, SSR
Salida auxiliar	Salida a relé AL1,AL2
Método de control	ON-OFF, y control P,PD,PI,PID
Histéresis	1 a 100 °C.
Banda proporcional (P)	0.1 – 999.9 °C.
Tiempo integral (I)	9999s.
Tiempo derivativo(D)	9999s.
Periodo de control	0.5 – 120s.
Periodo de muestreo	100mS.
Rigidez dieléctrica	2000VCA 50/60 Hz, por min.
Resistencia de aislamiento	100Mohms
Retención de memoria	10 años
Periodo de muestreo	100mS
Ciclo de vida del relé	10,000,000 min.



Figura 3.14. TCN4S [j].

Haciendo una comparación analítica de las características que hay entre un controlador ON/OFF y un controlador PID se determinó que las prestaciones del controlador PID son superiores. Para la elaboración de este trabajo y dadas las características del proceso bastaría

con un controlador ON/OFF, sin embargo, con la finalidad de realizar un control más “fino” de la temperatura, se eligió el controlador PID.

3.4.4. RELÉ DE ESTADO SÓLIDO SR1- 1215.

Los relés de estado sólido o SSR (Solid State Relays) (Fig. 3.15) son dispositivos que usan transistores y tiristores en sustitución de contactos metálicos para controlar elevadas cargas de potencia a partir de señales de control de bajo voltaje e intensidad (Autonics, 2016).

El SR1 – 1215 es un relé de estado sólido aplicable a varios campos como cargas de calefacción, maquinaria industrial y controles de motor con un voltaje de resistencia superior de 4000 VCA.

Las características relevantes para esta aplicación así como sus ventajas y desventajas se muestran en las Tablas 3.8 y 3.9 respectivamente.

Tabla 3.8. Características SR1-1215.

Voltaje de entrada	4 – 30 VCD
Voltaje de carga nominal	24 a 240 VAC.
Corriente de carga nominal	25A.
Función de cruce por cero	Si.
Corriente máxima de entrada	9 mA.
Pico de voltaje no repetitivo	600 VCA.
Resistencia de aislamiento	100 MOhm.
Caida de voltaje a la salida	1.6VCA.
Estado de desconexión dv/dt	500V/μS.
Rigidez dieléctrica	4000VCA 50/60 Hz.
Indicación de entrada	LED verde.



Figura 3.15. SR1-1215.

Tabla 3.9. Ventajas y desventajas del SR1-1215.

Ventajas del SR1-1215	Desventajas del SR1-1215
Alta inmunidad a la vibración.	Más costosos que un relevador mecánico.
Generan muy pocas interferencias.	Requiere de un disipador (en ocasiones).
Conmutan altas corrientes y voltajes.	Son dispositivos de una sola conmutación.
No producen arcos ni rebotes.	
Aislamiento entre la carga y la salida.	
No hay desgaste de partes metálicas.	
Rápida velocidad de conmutación.	
Confiables, Silenciosos, Livianos.	

3.4.5. RELEVADOR DE POTENCIA.

El relevador de potencia electromecánico es un dispositivo mecánico de conexión controlado mediante un electroimán y con funcionamiento ON/OFF (Fig. 3.16). Cuando entre las terminales de la bobina del relevador se le aplica un voltaje sus contactos se cierran, estableciendo a través de sus polos un circuito entre la red de alimentación y la carga receptora. Cuando se interrumpe

la alimentación de la bobina, el circuito magnético se desmagnetiza y los contactos del relevador se abren por defecto de resortes o gravedad.

Los relevadores electromecánicos son dispositivos de menor costo comparados con los SSR. El problema con los relevadores de potencia es que la continua conmutación del mismo, resulta en una vida relativamente corta de sus contactos. Según el consumo de potencia de la carga es como se selecciona el relevador de potencia (20 A, 30 A o más). Las características relevantes para esta aplicación así como sus ventajas y desventajas se muestran en las Tablas 3.10 y 3.11 respectivamente.

Tabla 3.10. Características del relevador de potencia.

Voltaje nominal	600VCA.
Material de contacto	Ag, AgCdO, W
Aislamiento dieléctrico	2000V
Resistencia de aislamiento inicial	100Mohm
Rango de voltaje de la bobina	6 – 110VCD. 6 – 480 VCA.
Frecuencia de operación	7200 ops/h



Figura 3.16. Relevador de potencia.

Tabla 3.11. Ventajas y desventajas del relevador de potencia.

Ventajas del Relevador de Potencia	Desventajas del Relevador de Potencia
Más económicos que un SSR.	Producen arcos y rebotes.
No necesitan disipador.	Desgaste de las partes metálicas.
Gran número de contactos.	Vida útil menor que los SSR.
Conmutan altas corrientes y voltajes.	
Rápida velocidad de conmutación.	
Confiables.	

Siguiendo la misma metodología, al realizar la comparación de las ventajas y desventajas anteriormente detalladas entre el SSR y el relevador de potencia, se determinó que el SSR presenta mejores características y por lo tanto, se eligió como dispositivo de conexión entre la carga (resistencia eléctrica) y el controlador del proceso de calentamiento.

3.5. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE GOBIERNO DE MOVIMIENTO MECÁNICO.

El sistema de gobierno de movimiento mecánico tiene los siguientes requerimientos (Tabla 3.12):

Tabla 3.12. Requerimientos del sistema de gobierno de movimiento mecánico.

Entradas	Dispositivo de Procesamiento	Salidas
Sensores Inductivos, fotoeléctricos, de límite mecánicos, pulsadores	PLC	Electroválvulas - Pistones

3.5.1. SENSOR INDUCTIVO PRL18 – 8DP.

Los sensores de proximidad (Fig. 3.17) son los más comunes para la detección de objetos que no se pueden tocar. El sensor de proximidad comúnmente más usado es de tipo inductivo, el cual genera un campo electromagnético y detecta los objetos de metal que pasan cerca de su cara. El PRL18 – 8DP es un sensor de proximidad inductivo (Autonics, 2016). Las características relevantes para esta aplicación así como sus ventajas y desventajas se muestran en las Tablas 3.13 y 3.14 respectivamente.

Tabla 3.13. Características PRL18-8DP.

Distancia de detección nominal	8mm +- 10%.
Histéresis	10% de la distancia de detección.
Alimentación de voltaje	24 VCC (15 a 30VCC).
Resistencia de aislamiento	50 MOhm.
Frecuencia de respuesta	350 Hz.
Salida de control	2 a 100 mA.
Rigidez dieléctrica	1500 VCA/min
Temperatura de operación	- 25 a 70 °C.



Figura 3.17. PRL18-8DP [h].

Tabla 3.14. Ventajas y desventajas del PRL18-8DP.

Ventajas del PRL18_8DP	Desventajas del PRL18_8DP
Resistencia al ruido con un circuito integrado.	Alimentación y señal de salida VCD. (El nivel de operación para no requerir acoplamiento con el PLC es de 127VCA).
Circuito de protección: Contra inversión de polaridad picos de voltaje y sobre corriente.	
Operación sencilla.	
Indicador de status con LED.	
Protección a prueba de agua.	
No se necesita tocar el objeto a sensor para poder detectarlo.	
Reemplazo para micro interruptores de límite.	

3.5.2. SENSOR FOTOELÉCTRICO.

La detección fotoeléctrica utiliza un haz de luz para detectar la presencia o ausencia de un objeto. Esta tecnología es una alternativa para los sensores de proximidad inductivos cuando las distancias de detección son mayores o cuando el objeto a detectar no es metálico.

El sensor fotoeléctrico serie BJ (Fig. 3.18) realiza una detección de largas distancias debido al desarrollo de sus lentes ópticos, un algoritmo de detección avanzado y una mejorada resistencia al ruido (Autonics, 2016). Este sensor es el óptimo para detectar la posición del parison en esta aplicación. Las características relevantes para esta aplicación así como sus ventajas y desventajas se muestran en las Tablas 3.15 y 3.16 respectivamente.

Tabla 3.15. Características sensor fotoeléctrico.

Tipo de detección	Difuso reflectivo.
Objetos detectados	Material opaco, Material traslucido.
Fuente de luz	LED rojo
Tiempo de respuesta	1mS.
Alimentación	12 – 24VCD.
Consumo de energía	Max. 30mA.
Resistencia a la vibración	1.5mm o 300mm Frec. 10 – 55hz
Resistencia a los choques	500 m/s2
Circuito de protección	Corto circuito, inversión de polaridad, interferencia mutua
Salida de control	NPN o PNP.
Ajuste de sensibilidad	Trimpot integrado
Modo de operación	ON Dark, ON Light seleccionable
Distancia de sensado	0.3 m
Resistencia de aislamiento	20 MOhm.



Figura 3.18. Sensor fotoeléctrico [i].

Tabla 3.16. Ventajas y desventajas del sensor fotoeléctrico.

Ventajas del Sensor Fotoeléctrico BJ	Desventajas del Sensor Fotoeléctrico BJ
Permite sensar el objeto en cuestión sin tocarlo.	Alimentación y señal de salida VCD. (El nivel de operación para no requerir acoplamiento con el PLC es de 127VCA).
Detección de vidrio y objetos transparentes.	
Detección de larga distancia.	
Ajuste de sensibilidad incorporado.	
Detección estrecha y punto visible.	

3.5.3. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

En esta sección se abordará el tema de la selección del PLC que se utilizará para la automatización del proceso de manufactura. Antes de iniciar con la descripción de los equipos PLC para determinar cuál es el óptimo, es necesario conocer los requerimientos que tiene esta aplicación, estos se describirán a continuación (Tabla 3.17):

Tabla 3.17. Requerimientos del PLC.

Alimentación	110 - 220VCA	
Entradas	15 Entradas digitales	Inicio, paro de emergencia, selección Automático/Manual, sensor de cierre de prensa, sensor de posición de pistón de sople, sensor de posición de prensa izquierda, sensor de posición de prensa derecho, sensor de detección de parison, botón de cierre de prensa, botón desplazamiento de prensa,

		botón de corte de parison, botón de activación de soplo, botón de pistón de soplo.
Salidas	5 salidas a Relé	Pistón soplo, carro, prensa, soplo, corte de parison

A continuación se presenta la descripción de los equipos PLC que fueron considerados para resolver las necesidades de la automatización.

3.5.3.1. SIEMENS LOGO! 230 RC.

LOGO! Es el módulo lógico universal de Siemens (Fig. 3.19), un controlador programable, permite que sin intervención humana las máquinas realicen un trabajo. "LOGO! Permite solucionar aplicaciones cotidianas con un mayor confort y menores gastos. Mediante LOGO! Se solucionan cometidos en las técnicas de instalaciones en edificios y en la construcción de máquinas y aparatos" (Siemens, 2003). Las características relevantes para esta aplicación se muestran en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Características del LOGO! 230 RC.

Alimentación	115VCA/CD... 240VCA/CD. Margen admisible: 85... 265 VCA.
Frecuencia	50/60 Hz.
Entradas	8 entradas digitales.
Salidas	4 relés de 10 A.
Características Físicas	Display y teclado.
Expandible	Si.
Software de Programación	LOGO!Soft Comfort (fig. 3.20).
Tipos de programación	Diagrama de funciones (FUP), Esquema de contactos (KOP), Diagrama UDF (UDF).



Figura 3.19. LOGO! 230 RC [1].

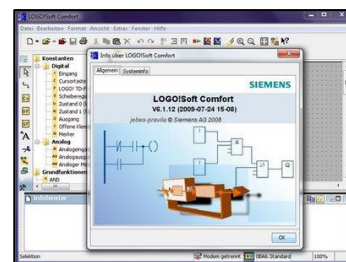


Figura 3.20. LOGO!Soft Comfort [1].

El LOGO!Soft Comfort permite simular el programa para realizar la depuración y corrección antes de descargarlo al módulo.

3.5.3.2. SCHNEIDER ELECTRIC ZELIO LOGIC SR3B261FU.

El SR3B261FU (Fig. 3.21) pertenece a la serie modular de Zelio Logic. Los módulos de Zelio Logic están destinados para la automatización de sistemas de control. Son usados en diferentes áreas de tecnología industrial. Con un amplio rango de aplicaciones como la automatización de

pequeñas máquinas para el acabado final, fabricación, ensamblado y empaclado (Schneider Electric, 2016). Las características relevantes para esta aplicación se muestran en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Características del SR3B261FU.

Alimentación	115VCA/CD... 240VCA/CD. Margen admisible: 85... 265 VCA.
Frecuencia	50/60 Hz.
Entradas	16 entradas digitales.
Salidas	10 relés Q1-Q8 8 A, Q9-QA 5 A.
Características Físicas	Display y teclado.
Expandible	Si.
Software de Programación	Zelio Soft 2 (fig. 3.22).
Tipos de programación	Ladder, BDF



Figura 3.21. Zelio SR3B261FU [m].

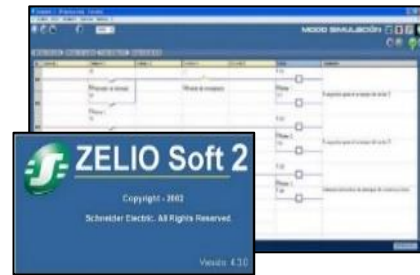


Figura 3.22. Zelio Soft 2 [m].

Zelio Soft 2 permite realizar el monitoreo del programa una vez que fue descargado al PLC, lo que es de gran ayuda para depurar en tiempo real, determinar fallos y realizar ajustes requeridos por el proceso.

El PLC LOGO! 230RC, cumple con todas las características que requiere esta aplicación excepto en el número de entradas disponibles; sin embargo, esta deficiencia se puede compensar mediante el uso de un módulo de expansión de entradas y salidas (Fig. 3.23).



Figura 3.23. Módulo de expansión [I].

Ambos equipos cumplen físicamente con los requerimientos de la aplicación, sin embargo, al añadirle un módulo de expansión al PLC LOGO! el costo económico del es mayor que el PLC Zelio Logic.

Por otro lado, comparando los ambientes de programación de cada módulo, se observa que ambos tienen por lo menos dos formas de programación diferentes, ambos permiten construir programas y realizar una simulación, definitivamente, el LOGO!Soft Comfort tiene mayores características de programación como funciones preestablecidas que le permiten al usuario diseñar un programa con mayor libertad y facilidad, haciendo posible seguir un diagrama Grafcet de manera correcta y ordenada debido a que este software admite el número de contactos requeridos por el programa en un solo escalón del diagrama de escalera, a diferencia del Zelio Soft 2, el cual es restrictivo en su ambiente de programación y limita al usuario a seguir una forma de programación preestablecida por el mismo software, condicionando al usuario a tener mayor dominio para poder realizar una programación eficiente y adecuada.

Finalmente, teniendo presentes los alcances y las limitaciones de cada PLC, se eligió el Zelio Logic SR3B261FU de Schneider Electric de acuerdo a los requerimientos del proceso y las siguientes razones:

- La combinación LOGO! 230 RC y su módulo de expansión de Siemens es más costoso que el módulo de Schneider Electric.
- El software de programación del Zelio Logic SR3B261FU de Schneider Electric, permite realizar una comunicación directa con el programa que se está ejecutando en el PLC consintiendo el monitoreo en tiempo real de las entradas y las salidas del módulo.

3.5.4. ELECTROVÁLVULAS.

Como se mencionó en la Sección 2.10, las válvulas son elementos de mando e información que tratan o dirigen el caudal de presión del aire comprimido, que para este trabajo se eligió de accionamiento eléctrico. Estas electroválvulas (Fig. 3.24) serán las encargadas de dirigir el aire comprimido para realizar los movimientos de los pistones según se requiera en el proceso (Fig. 3.25). A continuación se presentan los criterios de selección (Tabla 3.20):

Tabla 3.20. Características de las electroválvulas.

Número de vías y posiciones	5/2
Tipo de Mando	Eléctrico.
Tamaño de conector	1/4"
Montaje	Válvulas con montaje múltiple
Alimentación de selenoide	120 VCA.



Figura 3.24. Electroválvula.

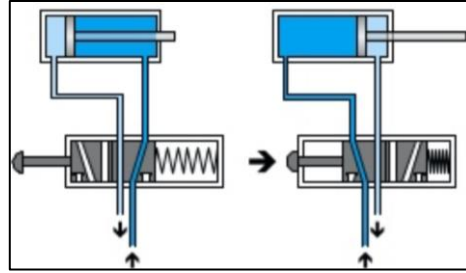


Figura 3.25. Control de movimientos de pistones.

3.6. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES.

El sistema de monitorización de variables tiene los siguientes requerimientos (Tabla 3.21):

Tabla 3.21. Requerimientos del sistema de monitorización de variables.

Entradas	Requerimientos	Aplicación
Sensor de Presión	Rango: 1 Mpa Salida: Analógica	Medir y registrar la magnitud de las oscilaciones de presión de aire que presenta la alimentación del sistema neumático con la finalidad de encontrar medidas preventivas y correctivas.
Sensor de Corriente	Rango: 30 A. Salida: Analógica	Medir y registrar la cantidad promedio de corriente que circula a través de las resistencias de calefacción con la finalidad de calcular y mejorar el consumo de potencia.
Sensor de Temperatura	Rango: 300 °C. Salida: Analógica	Medir y registrar la temperatura del proceso con la finalidad de analizar la eficiencia del control de temperatura del proceso.
Sensor de voltaje	Rango: 110 VCA Salida: Analógica	Medir y registrar el voltaje aplicado a las resistencias de calefacción con la finalidad de calcular y mejorar la potencia consumida.
Red de comunicación	Nodos: 5 Por el momento, sin embargo, se plantea la posibilidad de agregar más nodos a la red.	Comunicar y compartir la información entre los nodos que integran la red.
Pantalla de desplegado	Touch Screen	Desplegar los valores provenientes de la red de comunicación y manipular las características mecánicas del prototipo.

3.6.1. SENSOR DE PRESIÓN PSAN-1CV.

El PSAN de Autonics, es un sensor de presión de aire diseñado para su uso en aplicaciones industriales (Fig. 3.26). Cuenta con un tamaño compacto, una pantalla LED y una salida analógica para aplicaciones de monitoreo y control (Fig. 3.27) (Autonics, 2016). A continuación se muestran las características del PSAN -1CV (Tabla 3.22), así como las ventajas y desventajas más relevantes para este trabajo (Tabla 3.23).

Tabla 3.22. Características PSAN -1CV.

Resolución	Alta resolución de 1/2000 para indicación.
Salidas	2 salidas independientes y selección de salida N.A y N.C.
Salida analógica	Voltaje 1-5V, Corriente de 4-20mA
Funciones	Ajuste de cero, monitoreo pico, contra interferencia, HOLD
Salida de control	NPN
Rango	0 – 1Mpa
Rango de temperatura de operación	-14 °C a 122 °C
Alimentación	12 – 24 VCD
Conexión de proceso	1/8" NPT
Tiempo de respuesta	Seleccionable: Seleccionable 2,5 ms, 5ms, 100 ms, 500ms, 1000ms.
Display	4 dígitos LED 4 segmentos
Impedancia de salida	1 KOhm
Error de repetición	+/- 2% F.S.
Aplicaciones	Monitorización y Control



Figura 3.26. PSAN-1CV [e].

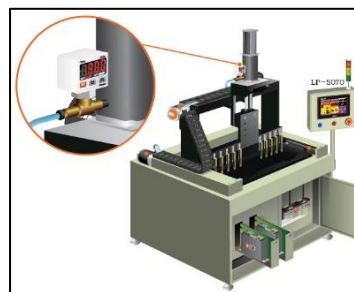


Figura 3.27. Aplicación PSAN-1CV [e].

Tabla 3.23. Ventajas y desventajas del PSAN -1CV.

Ventajas del PSAN-1CV	Ventajas del PSAN-1CV
Amplio rango de alimentación.	Costo alto comparado con otros sensores.
Salida analógica de 0 - 5VCD.	Voltaje de alimentación y salida VCD.
Amplio rango de medición.	

3.6.2. SENSOR DE CORRIENTE SCT-013-030.

El SCT- 013-030 es un sensor de corriente no invasivo basado en un transformador (Fig. 3.28). Este sensor es adecuado para la medición de corriente alterna en aplicaciones de monitoreo y de protección de motores de C.A., equipos de iluminación, compresores de aire etc. Produce una salida de tensión lineal proporcional a la corriente que circula a través de él (Silio MX. 2016). Las características relevantes para esta aplicación así como sus ventajas y desventajas se muestran en las Tablas 3.24 y 3.25 respectivamente.

Tabla 3.24. Características del SCT-013-030.

Alimentación	0V.
No linealidad	+/- 3%
Rigidez dieléctrica	6000VAC/min.
Corriente de entrada	30 A.
Material del núcleo	Ferrita
Temperatura de trabajo	-25 a 70 °C.
Resistencia RL	62 Ohm.
Salida	0 – 1VCA.



Figura 3.28. SCT-013-030 [f].

Tabla 3.25. Ventajas y desventajas del SCT-013-030.

Ventajas del SCT-013-030	Desventajas del SCT-013-030
Es un dispositivo de sensado no invasivo.	Nivel de voltaje de salida bajo.
	Nivel de sensado de corriente bajo.

3.6.3. SENSOR DE VOLTAJE.

El sensor de voltaje se obtuvo de un transformador de voltaje, el cual es un dispositivo que consta de un bobinado primario, bobinado secundario y un núcleo magnético (Fig. 3.29). Una corriente alterna, se aplica en el bobina primario, produciendo un campo magnético alrededor del núcleo, induciendo un voltaje de alterna (VCA). Las características relevantes para esta aplicación se muestran en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26. Características del sensor de voltaje.

Voltaje Bobinado Primario	110 VCA.
Voltaje Bobinado Secundario	6 VCA
Corriente de Salida	120 mA
Tap Central	Si

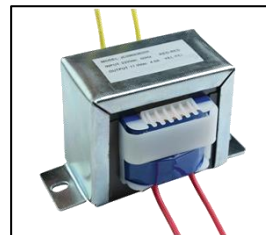


Figura 3.29. Transformador de voltaje.

3.6.4. SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN.

La comunicación en la industria moderna se ha hecho imprescindible. Cada vez es más frecuente encontrar sistemas de comunicación que permitan interconectar módulos y células de fabricación entre sí y con las diferentes áreas de la industria, lo que permite tener la información de manera inmediata y de ser capaz de detectar, corregir o modificar los diferentes parámetros de los procesos para mejorar la toma de decisiones.

A continuación se presentan en las Tablas 3.27 y 3.28 las ventajas, las desventajas y las características de la comunicación alámbrica e inalámbrica de las redes más usadas (SASE 2013).

Tabla 3.27. Cableado vs Inalámbrico [16].

Cable	Inalámbrico
El tipo de cable define el ancho de banda.	Hay tanto ancho de banda en el aire, que permite enviar mucha información o enviar información a muchos destinos, pero no al mismo tiempo.
La distribución del cableado puede ser complejo.	Solo se debe tener en cuenta la distancia y los obstáculos entre los dispositivos.
Insertar nuevos dispositivos puede ser complejo.	Inserción de dispositivos simple y automático.
Punto a punto puede ser simple.	Punto a punto es simple.
Multipunto con complejidad creciente en cableado y protocolo.	Multipunto es simple.
Costo del cableado es significativo.	Aire no tiene costo.
Cambio de red implica cambio de cable y de hardware.	Cambio de red implica cambio de módulos.
La falla de un nodo puede significar la pérdida de comunicación de todo el sistema.	La falla de un nodo no afecta la comunicación del sistema.

Tabla 3.28. Características de redes [16].

Red	Topología	Alcance	Data Rate	Nodos
ALÁMBRICAS				
RS-232	Punto a punto	15 m	9600 bps	1
RS-485	Multipunto	12 m/1200 m	1000 k/100 kbps	32
RS-422	Multipunto	1200 m	100 kbps	32
CAN	Multipunto	40 m/300 m/600 m/1000 m	1000 k/500 k/100 K/50 kbps	2048
ETHERNET	Multipunto	100 m	10/100/1000 Mbps	1023
MODBUS	Multipunto	1000 m	9600bps	32/247
INALÁMBRICAS				
BLUETOOTH	Multipunto	10 m	1 Mbps	8
WIFI	Multipunto	100 m	54 Mbps	2007
802.15.4	Multipunto	90 m/1600 m	250 Kbps	64000
ZIGBEE	Mesh	120 m/3200 m	250 Kbps	64000
DIGIMESH 2.4	Mesh	90 m/1600 m	250 Kbps	500

DIGIMESH 900	Mesh	4/14 km	200/10 kbps	500
-----------------	------	---------	-------------	-----

Como se puede apreciar de las tablas anteriores las redes alámbricas tienen magníficas prestaciones en cuanto a la transmisión de datos, conectividad de otros nodos a la red y alcance de transmisión.

Por otra parte, las redes inalámbricas han crecido en los últimos años en diferentes campos a causa del desarrollo de aplicaciones científicas, industriales y médicas (ISM band) por lo que ofrecen enormes oportunidades para la implementación de redes de comunicación industrial. Además, al igual que las redes alámbricas, las redes inalámbricas ofrecen diferentes estándares que se diferencian por sus velocidades de transmisión de datos, rangos de comunicación, dominios de aplicación, etc.

Las tres redes inalámbricas que presentan un mayor desarrollo en diferentes campos de investigación por su relativa facilidad de conexión son: Wi-Fi, Bluetooth (BT) y Zig-Bee (ZB). Algunas de estas diferencias son las siguientes:

- **Wi-Fi.** Ofrece una mayor velocidad de transmisión y recepción de datos que BT y ZB en la banda de frecuencia de 2.4 Ghz y es compatible con dispositivos con una fuente de alimentación sustancial debido a que es el protocolo que mayor requerimientos de energía requiere.
- **Bluetooth (BT).** Está destinada para la comunicación entre periféricos de corto alcance diseñados para funcionar mejor en una red uno a uno. BT funciona con una banda de frecuencia de 2.4 Ghz y en realidad solo funciona bien a distancias cortas sin obstáculos. BT consume mucho menos energía para la transmisión que WIFI.
- **Zig-Bee (ZB).** Está diseñado para aplicaciones con una tasa de transmisión de datos baja y cuyos nodos estén comprometidos a tener un consumo de energía mínimo, con un alcance de 50m a 100m con obstáculos sin repetición. ZB opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz. Y es el protocolo de comunicación que menos consumo de energía consume para la transmisión de datos.

Como resultado de la anterior comparación entre las redes alámbricas e inalámbricas y el requerimiento de la aplicación diseñada para este trabajo (brindar al operador de libertad de movimiento), el protocolo elegido para realizar la red de comunicación fue ZB debido a su bajo consumo de energía, no sin antes haber probado redes como CAN, RS-485, Wi-Fi y Bluetooth, a continuación se describirá más a detalle el protocolo ZB.

3.6.4.1. PROTOCOLO Zig-Bee.

ZB es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la Zig-Bee Alliance. ZB está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal y tiene como

objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Características que incluye el protocolo ZB:

- Soporte para múltiples topologías de red como punto a punto, punto a multipunto y redes de malla.
- Soporta hasta 65,000 nodos por red.
- Prevención de colisiones, reintentos y reconocimientos.
- Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y domésticos.

3.6.4.2. NODOS Zig-Bee.

El protocolo ZB define tres tipos de nodos: *Coordinador*, *Router*, *End Devices*, con el requerimiento de un Coordinador por Red.

- **COORDINADOR:** El coordinador es el más capaz de los tres tipos de nodos. Hay exactamente un coordinador en cada red y es el dispositivo que establece la red originalmente. El coordinador almacena la información de la red, incluyendo claves de seguridad.
- **ROUTER:** El *router* actúa como nodo intermedio para la retransmisión de datos entre otros dispositivos y el coordinador. Los *routers* se utilizan comúnmente para extender la red.
- **END DEVICES:** Los *End Devices* son usualmente sensores. Tienen la suficiente funcionalidad para hablar con su dispositivo padre, ya sea el coordinador o un *router*, y no puede transmitir datos a otros dispositivos.

3.6.4.3. MÓDULOS X-Bee

X-BEE es el nombre comercial de una familia de módulos de RF producidos por Digi (Fig. 3.30). Los módulos X-Bee RF son productos modulares que conforman el despliegue de la tecnología inalámbrica fácil y rentable. Estos módulos trabajan bajo el estándar Zig-Bee.

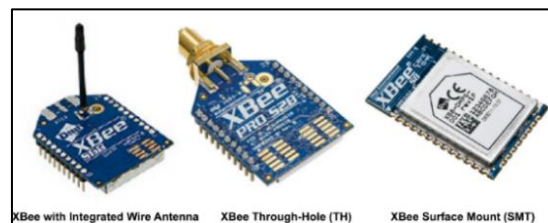


Figura 3.30. Módulos X-Bee [16].

3.6.4.4. MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS DE RADIO.

El modo de funcionamiento de un módulo de radio X-Bee establece la forma en que un usuario o cualquier microcontrolador conectado al X-Bee se comunica con él a través del UART (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*) o interfaz serial. Dependiendo del firmware y su

configuración el módulo de radio puede trabajar en tres diferentes modos de operación: modo de operación AT (ATtention - Atención), modo de operación API (Application Programming Interface – Interfaz de Programación de Aplicaciones) y modo de operación API escaped.

3.6.4.5. MODO DE OPERACIÓN AT (ATtention).

En el modo de funcionamiento AT transparente, todos los datos serie recibidos por el módulo de radio se ponen en cola para la transmisión RF. Cuando los datos RF son recibidos por el módulo, los datos se envían hacia fuera a través de la interfaz serial (Fig. 3.31).

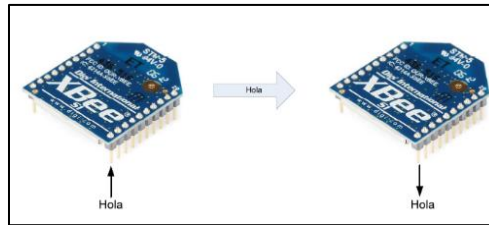


Figura 3.31. Comunicación con comandos AT [16].

La Tabla 3.29 presenta algunas de las ventajas y las desventajas de emplear los comandos AT para realizar la comunicación entre los módulos X-Bee.

Tabla 3.29. Ventajas y desventajas del empleo de comandos AT [16].

Ventajas	Desventajas
Simple	Se configura utilizando comandos AT.
Transparente, lo que se recibe se envía	Se debe entrar en modo de comando para cambiar el destino con un comando AT.
	En la recepción no se indica el origen
	El modo comando es lento y tedioso

3.6.4.6. MODO DE OPERACIÓN API (Application Programming Interface).

En el modo de funcionamiento API, se requiere que la comunicación con el módulo se realice de forma estructurada, en otras palabras, los datos son comunicados en tramas de la API.

La API especifica cómo se envían y se reciben utilizando la interfaz serie los comandos, respuestas de mando y los mensajes de estado del módulo (Fig. 3.32). El modo de funcionamiento API permite muchas operaciones como las siguientes:

- Configuración del módulo X-BEE por sí mismo.
- Configuración de los módulos remotos de la red.
- Gestión de datos y transmisión de múltiples destinos.
- Conocer el estado de éxito / fracaso de cada paquete de RF transmitido.
- Indicar la dirección de cada paquete recibido.

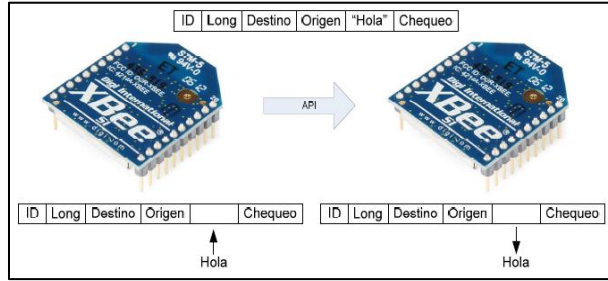


Figura 3.32. Comunicación con comandos API [16].

La Tabla 3.30 presenta algunas de las ventajas y las desventajas de emplear los comandos API para realizar la comunicación entre los módulos X-BEE.

Tabla 3.30. Ventajas y desventajas del empleo de comandos API.

Ventajas	Desventajas
Simple cambio de destino	Se debe armar la trama para transmitir
Hay indicación de origen y destino de dato	Se debe leer toda la trama para llegar al dato
Los datos pueden contener comandos AT	En la recepción no se indica el origen
Permite configuración remota	El modo comando es lento y tedioso
Permite monitoreo remoto	

3.6.4.7. TRAMAS API.

En una trama API se envían y reciben los datos de forma estructurada a través de la interfaz serial del módulo de radio cuando este se configura en modo de operación API. Las tramas API (Fig. 3.33) se utilizan para comunicarse con el módulo o los módulos en la red. Una trama API tiene la siguiente estructura:

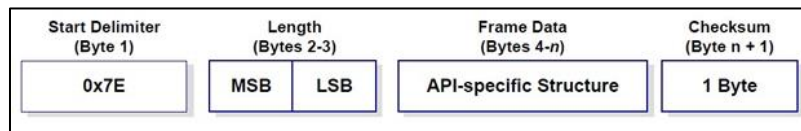


Figura 3.33. Tramas API [16].

Donde:

- **START DELIMITER:** Este campo siempre será 0x7E.
- **LENGTH:** El campo de longitud tiene un valor de dos bytes que especifica el número de bytes que estarán contenidos el campo de datos de la trama. No incluye el campo del checksum.
- **FRAME DATA:** El contenido de este campo se compone por el identificador API y el identificador de datos específicos API. Dependiendo del identificador API (también llamado tipo de trama API), el contenido de los datos puede cambiar.
- **CHECKSUM:** Byte que contiene la suma de los bytes de la trama API.

3.7. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.

El sistema de control de velocidad tiene los siguientes requerimientos (Tabla 3.31):

Tabla 3.31. Requerimientos del sistema de control de velocidad.

Motor	Voltaje: 220 VCA. Número de Fases: 3
Variador de Velocidad	Capacidad: 3HP
Dispositivos de Protección	Contactador, Protección Termomagnética.

3.7.1. MOTOR ELÉCTRICO.

Para la selección del motor eléctrico (Fig. 3.34) se tomaron en cuenta las características mencionadas en la sección 2.14. Las características requeridas por este proceso en particular se citan a continuación (Tabla 3.32):

Tabla 3.32. Requerimientos del motor.

Voltaje	220 VCA
Velocidad	1800 RPM
Número de fases	3
Elevación de temperatura ambiente	30°C.
Carcasa	Serie T
Frecuencia	10 – 60Hz.
Tamaño de carcasa	182T
Intensidad de corriente	10 A. – 12 A.
Potencia	3 HP
Factor de potencia	0.8 (estimado)



Fig. 3.34 Motor Eléctrico.

Las características anteriores se obtuvieron a través de un análisis comparativo de maquinarias con cargas similares a la de este prototipo. Por otro lado, para corroborar que los parámetros de selección fueran los adecuados se hizo el debido estudio e investigación según las clasificaciones generales de las normas NEMA en la literatura "el ABC de las instalaciones eléctricas industriales" de Harper Enríquez.

3.7.2. VARIADOR DE VELOCIDAD.

Son dispositivos electrónicos que permiten controlar la velocidad de motores asíncronos trifásicos mediante la variación de frecuencia aplicada (Fig. 3.35).

Algunas de las ventajas y desventajas obtenidas por el uso de variadores de velocidad se citan a continuación (Tabla 3.33):

Tabla 3.33. Ventajas y desventajas del variador de velocidad.

Ventajas	Desventajas
Permite controlar la velocidad del párison lo que brinda flexibilidad a la máquina.	Derivación de ruidos e interferencias a la red eléctrica.
El arranque control suave evita la demanda de picos de corriente.	
Un menor esfuerzo en el motor y en el equipo mecánico.	
Corrección del factor de potencia del motor.	



Figura 3.35. Variador de velocidad.

3.8. INSTALACIONES.

La instalación de los componentes es uno de los factores más importantes para integrar los sistemas, eléctricos, neumáticos, electrónicos, etc. La planeación de las instalaciones (mangueras, conectores, tuberías, cables, dispositivos de protección, etc.) debe tener como objetivo garantizar el correcto funcionamiento de los componentes que integran los sistemas y debe asegurar la capacidad para la adaptación a cambios futuros.

Además, se tiene que ver como un proceso estratégico y de economía debido a que las señales o la energía necesaria para realizar las acciones de los sistemas (movimientos, envío y recepción de datos, etc.) dependen en todo momento de su adecuada distribución, finalmente, el gasto económico de cualquier instalación es proporcional a la longitud de esta.

3.8.1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

La instalación eléctrica es una parte fundamental en la construcción de cualquier instalación industrial o residencial. La selección del tipo de voltaje (monofásico, bifásico o trifásico) y la cantidad de corriente de consumo son factores fundamentales para la selección de los componentes eléctricos como son: conductores eléctricos, motores, resistencias, variadores de frecuencia, fusibles, etc (Harper Enríquez, 2014).

3.8.1.2 CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS PARA RESISTENCIAS.

El cálculo para la selección de conductores eléctricos de las resistencias de calentamiento (14 Ohms) al tratarse de un elemento resistivo y conociendo en todo momento el voltaje de alimentación (220 VAC), se puede obtener la corriente utilizando la ley de Ohm y un vez obtenido el valor de la corriente se puede seleccionar el conductor adecuado usando tablas de capacidad de conducción de corriente para conductores.

Por otro lado se debe tener una consideración especial durante la selección del conductor debido a que no solo conducirá la corriente de alimentación, también soportará temperaturas hasta de 300 °C Por lo anterior se utilizó un cable con forro de alta temperatura de teflón + fibra de vidrio que soporta hasta 300 °C y una corriente de 20 A, en este caso se eligió el calibre 12 (Fig. 3.36).



Figura 3.36. Cable alta temperatura.

La Tabla 3.34 muestra la capacidad de conducción de corriente de algunos conductores de diferentes calibres a diferentes temperaturas.

Tabla 3.34. Capacidad de conductores a diferentes temperaturas [5].

°C °F	60 °C	75 °C	90 °C	110 °C	125 °C	220 °C	250 °C
	140 °F	167 °F	194 °F	230 °F	257 °F	392 °F	482 °F
T I P O S							
CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG MCM	T TW	RH RHW RUH THW THWN	TA TBS RHH RHHN	AVA AVL	AIA	A AA	TFE
18			21				
16			22				
14	15	15	25	30	30	30	40
12	20	20	30	35	40	40	55
10	30	30	40	45	50	55	75
8	40	45	50	60	65	75	95

3.8.1.3. CÁLCULO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS PARA MOTOR ELÉCTRICO.

Alimentando el motor eléctrico de forma individual, se recomienda utilizar conductores para el circuito derivado (switch) cuya capacidad de corriente soporten al menos el 125% de la corriente a plena carga o nominal del motor.

En este caso para un motor trifásico de 3HP alimentado a 220 VAC cuya corriente nominal es de 10 A el conductor se calcula para:

$$I = 1.25 \times I(\text{nominal}) \quad \text{Ec.... (1).}$$

$$I = 1.25 \times 10 \text{ A.} = 12.5 \text{ A.}$$

Usando tablas de capacidad de conducción de corriente permisible para conductores aislados para tres conductores en tubo conduit con una corriente de 12.5 A se requiere un conductor THW 14, sin embargo, se utilizará un conductor THW 12 para asegurar en todo momento que la capacidad de conducción de corriente no se vea rebasada.

3.8.1.4. MEDIOS DE DESCONEXIÓN DEL CIRCUITO DERIVADO DEL MOTOR.

En general, los motores que se arrancan directamente de la línea tienen una corriente de arranque relativamente alta, para algunos motores esta corriente alcanza desde 2 hasta 8 veces el valor de su corriente nominal (a plena carga), este valor se representa cuando el motor parte del reposo hasta alcanzar su velocidad nominal, en este punto decae al valor de su corriente nominal.

Se requieren dos tipos de protección contra sobre carga. Si el dispositivo de protección contra sobre carga del circuito de derivación es un fusible o un interruptor termomagnético y estos son

suficientemente grandes y permiten el paso de las corrientes de arranque, esto indica que pueden ser demasiado grandes y permitir que el motor se sobrecargue.

Para proteger al motor se requiere que se separe la protección contra sobrecorriente, se puede observar que se requieren los dos tipos de protección, contra sobrecarga, en el alimentador y en el motor.

Para la selección de los medios de desconexión se hizo uso de Tablas 3.35 y 3.36, estas permiten dimensionar estos componentes de forma adecuada de acuerdo a la capacidad de corriente a plena carga del motor seleccionado:

Tabla 3.35 [5]

MOTORES A 220 V.

POTENCIA [H.P.]	CORRIENTE [A] PLENA CARGA	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
2	7.1	20
3	10	30
7 1/2	23	50
10	29	50
15	44	70
20	56	100
25	71	100

Tabla 3.36 [5]

DESCONECTADORES (SWITCHES) PARA MOTORES EN BAJA TENSIÓN C.A.

	127 Volts	220 Volts
15 Amper.	1/2 H.P.	2 H.P.
20 Amper.	1 H.P.	2 H.P.
30 Amper.	2 H.P.	3 H.P.

Como se puede apreciar para la protección del motor se deben seleccionar dos dispositivos de desconexión perfectamente dimensionados:

- Switch 30 A.
- Interruptor termomagnético de 30 A.

Los valores de las tablas anteriormente utilizadas obedecen a los valores las ecuaciones de capacidades de corriente para los diferentes dispositivos.

Para la proteccion de un circuito derivado del motor se tiene la siguiente relación:

$$I = 2.5 * I_{pc} \quad \text{Ec.... (2).}$$

donde I_{pc} = corriente a plena carga.

$$I = 2.5 \times 10 = 25$$

Del resultado anterior se desprende que la elección del circuito de protección derivado, debe de tener por lo menos una capacidad de 25 A. Para garantizar que el circuito de protección funcione de manera adecuada se selecciona un circuito con un valor mayor inmediato, en ese caso 30 A. Se puede observar que el valor obtenido para la capacidad de corriente del circuito derivado, es congruente con el valor asignado en la Tabla 3.37.

Tabla 3.37 [5].

DATOS PARA MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN Y ELEMENTOS DEL CIRCUITO DERIVADO

CAP. MAX.		CORRIENTE NOMINAL [A]	INTERRUPTOR		ARRANCADOR TAMAÑO NEMA	CONDUCTOR TW [AWG o MCM]	DIÁMETRO TUBO CONDUIT	
HP	V		AMP.	MARCO			mm.	Pulg.
1/4	220	1	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
	440	1	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
1/2	220	2	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
	440	2	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
3/4	220	2.8	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
	440	2.8	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
1	220	3.5	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
	440	1.8	15	TEF	00	3 No. 12	13	1/2
1 1/2	220	5	15	TE	00	3 No. 12	13	1/2
	440	2.5	15	TEF	00	3 No. 12	13	1/2
2	220	6.5	20	TE	00	3 No. 12	13	1/2
	440	3.3	15	TEF	00	3 No. 12	13	1/2
3	220	10	30	TE	0	3 No. 12	13	1/2
	440	5	15	TEF	0	3 No. 12	13	1/2
5	220	15	30	TE	1	3 No. 12	13	1/2
	440	7.5	20	TEF	0	3 No. 12	13	1/2
7 1/2	220	22	50	TE	1	3 No. 10	19	3/4
	440	11	20	TEF	1	3 No. 12	13	1/2

3.8.2. INSTALACIÓN NEUMÁTICA.

Para la selección de los actuadores neumáticos es importante considerar por lo menos cuatro variables:

- Fuerza del cilindro.
- La carga.
- Consumo de aire.
- Velocidad del pistón.

3.8.2.1. FUERZA DEL CILINDRO.

La fuerza del cilindro es una función de su diámetro, la presión del aire y del roce del émbolo. La fuerza depende de la velocidad del émbolo y se toma en el momento de arranque. La fuerza que el aire ejerce sobre el pistón es (Creus Antonio, 2011):

$$F = P_{aire} * \text{área del pistón} \quad \text{Ec.... (3)}.$$

Trabajando en unidades del Sistema Internacional de Unidades (S.I.), la fuerza se utiliza en Newton (N) y el diámetro en (mm). Como el Pascal (Pa) es una unidad muy pequeña se utiliza el bar equivalente a 100,000 pascal. De modo que la Ec. 3 pasa a ser:

$$F = P_{aire}(bar) * 100,000 * \frac{\text{Área pistón}(mm^2)}{1,000,000} = \frac{P_{aire}(bar) * \text{Área pistón}(mm^2)}{10} \quad \text{Ec.... (4)}.$$

Para los cilindros o diafragmas de simple efecto, la fuerza es la diferencia entre la fuerza del aire y la del muelle.

$$F = \frac{P_{aire}(bar) * \text{Área pistón} (mm^2)}{10} - f_{muelle} \quad \text{Ec.... (5)}.$$

Por otro lado, el área útil del pistón está dada por:

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Por lo tanto la ecuación queda de la siguiente manera:

$$F = P_{aire}(bar) * \frac{\pi * D^2}{40} - f_{muelle} \quad \text{Ec.... (6)}.$$

Con:

- F= Fuerza en [Newton].
- D=Diámetro cilindro [mm].
- P_{aire} = Presión del aire [bar].
- F_{muelle} = Fuerza muelle [Newton].

Los cilindros de doble efecto no cuentan con un resorte para volver a su posición de equilibrio, por lo que su fuerza no disminuye en la carrera de avance, pero sí en su carrera de retroceso, debido a la disminución del área del émbolo por la existencia del vástago (d). Las expresiones matemáticas correspondientes son (Creus Antonio, 2011):

$$F_{avance} = P_{aire}(bar) * \frac{\pi * D^2}{40} \quad \text{Ec.... (7)}. \quad F_{retroceso} = P_{aire}(bar) * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{40} \quad \text{Ec.... (8)}.$$

El rozamiento del pistón en su movimiento equivale a un valor comprendido entre el 3% y el 10% de la fuerza calculada.

La figura 3.37 permite obtener la fuerza que ejerce el pistón de un cilindro determinado o bien seleccionar un cilindro para que dé una fuerza a una presión de aire fijada.

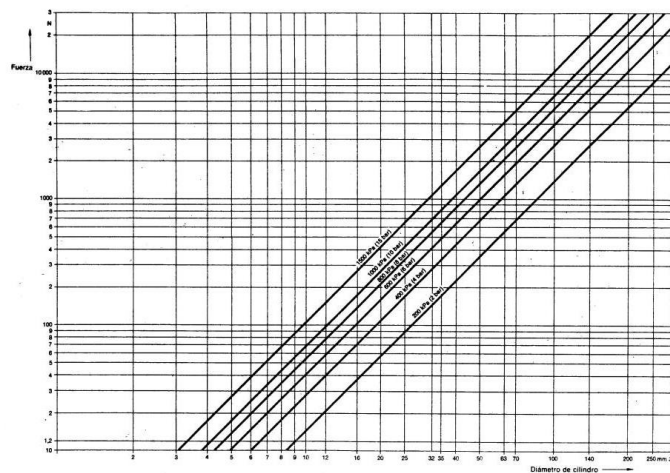


Figura 3.37. Gráfica de selección de fuerza del pistón [4]

3.8.2.2. FUERZA DE CARGA DEL CILINDRO.

La carga depende de las formas de montaje del cilindro, que son básicamente tres (Creus Antonio, 2011) (Fig. 3.38):

- **Grupo 1.** Montaje fijo que absorbe la fuerza del cilindro en la línea central. Es el mejor sistema ya que las fuerzas equilibradas y los elementos de fijación (tornillos, etc.) solo están sometidos a un simple tensión.
- **Grupo 2.** El montaje absorbe la fuerza de carga del cilindro en la línea central y permite el movimiento en un plano. Se emplea cuando la maquinaria donde están montados siguen una línea curva.
- **Grupo 3.** El montaje no absorbe la fuerza del cilindro en la línea central y el plano de las superficies de montaje no coincide con dicha línea, por lo que al aplicar la fuerza se produce un momento de giro que tiende a hacer girar al cilindro alrededor de los pernos de montaje.

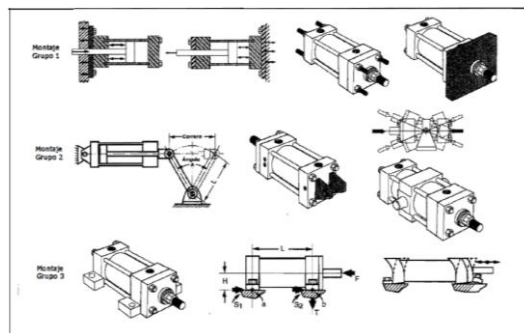


Figura 3.38. Tipos de montaje [4].

El tipo de montaje es importante ya que además de determinar la fuerza de carga del cilindro también determina la selección del vástago del pistón, el factor de pandeo (Fig. 3.40) y la conexión del extremo del vástago, lo que es fundamental para evitar el riesgo del pandeo, tal como se observa en la Figura 3.39.

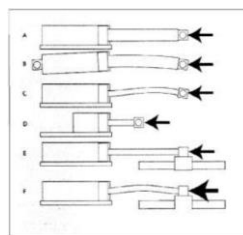


Figura 3.39. Efecto de pandeo [4].

La longitud básica del vástago se calcula mediante la expresión:

$$\text{Longitud básica} = \text{Carrera actual} * \text{Factor de pandeo}$$

La carga del cilindro se determina mediante la expresión:

$$F_{avance} = P_{aire}(bar) * \frac{\pi * D^2}{40}$$

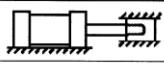
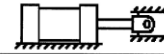
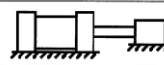
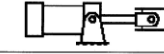

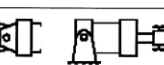
Tipos de montaje	Conexión del extremo del vástago	Tipo de conexión	Factor de pandeo
Grupos 1 o 3 - Los cilindros de gran longitud de carrera deben montarse usando en un extremo una base rígida y alineada para soportar la fuerza principal y en el extremo opuesto un soporte parecido. Se aconseja un soporte intermedio para el caso de carreras muy largas	Fijo y guiado rígido	I 	0,5
	Pivote y guiado rígido	II 	0,7
	Soporte sin guiado rígido	III 	2
Grupo 2	Pivote y guiado rígido	IV 	1
	Pivote y guiado rígido	V 	1,5
	Pivote y guiado rígido	VI 	2

Figura 3.40. Factor de pandeo [4].

3.8.2.3. CONSUMO DE AIRE.

El consumo de aire es función de la relación de compresión, del área del pistón y de la carrera, según la fórmula:

$$\text{Consumo de aire} = \text{Relación de compresión} * \text{área pistón} * \text{carrera} * \text{ciclos/minuto}.$$

La relación de compresión referida al nivel del mar está dada por:

$$\frac{0.987 + P_{aire}(bar)}{0.987} \quad \text{Ec.... (9)}.$$

El volumen de aire requerido para una carrera del pistón expresado en cm^3 es:

$$V(dm^3) = \frac{\pi}{4} * \frac{D^2(mm)}{10,000} * \frac{l(mm)}{100} = \frac{\pi * D^2 * l}{4,000,000} \quad \text{Ec.... (10)}.$$

$$Q = 2 * \frac{0.987 + P_{aire}(bar)}{0.987} * \frac{\pi * D^2 * l}{4,000,000} * n \quad \text{Ec.... (11)}.$$

Siendo:

- Q = Consumo de aire total en $[dm^3/min]$.
- D = Diámetro cilindro $[mm]$.
- l = Carrera en $[mm]$.
- n = Ciclos por minuto.

La Figura 3.41 permite obtener el consumo de aire de un pistón determinado según la presión de aire de la alimentación.

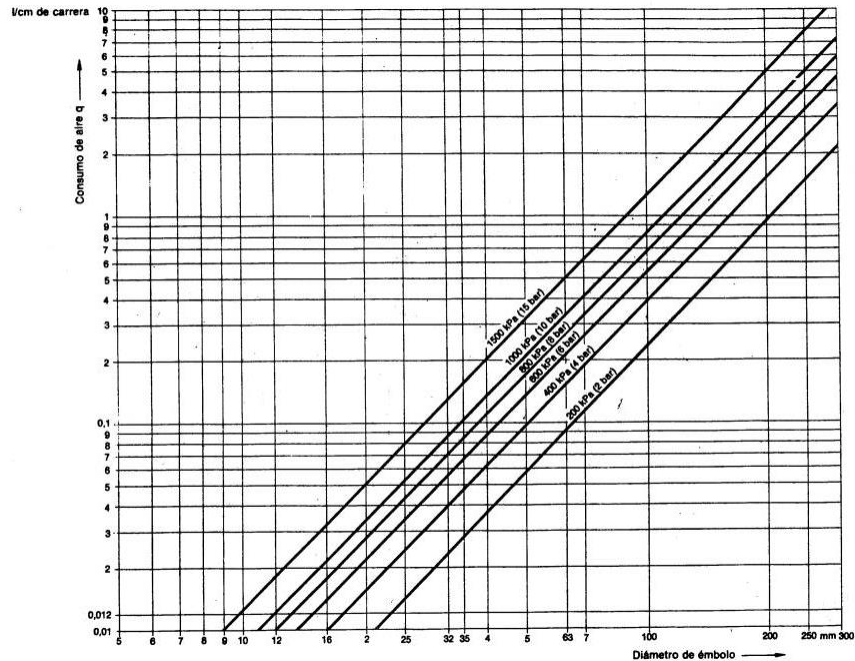


Figura 3.41. Consumo de aire [4].

3.8.2.4. VELOCIDAD DEL PISTÓN.

La velocidad del pistón se obtiene dividiendo el caudal por la sección del pistón.

$$Velocidad_{(dm/min)} = \frac{0.987 + P_{aire}(bar)}{0.987} * \frac{l * n}{100} \quad Ec.... (12).$$

Esta velocidad sería algo menor debido a los espacios muertos en los cilindros (posiciones finales de los cilindros y tuberías de alimentación), la fuerza del muelle antagonista, la pérdida de carga provocada por la longitud, la sección de las tuberías y por las válvulas de mando y de escape.

La velocidad media del émbolo en los cilindros estándar se establece ente 0.5 y 1.5 m/s.

Utilizando las fórmulas anteriormente expuestas se obtuvieron las respectivas características para cada uno de los pistones de desplazamiento y cierre respectivamente (Tabla 3.38).

Tabla 3.38. Características de los Pistones.

Pistón 1 Avance de carro	Pistón 2 Cierre de prensa
Datos: D=40mm. d=12mm. P(aire)= 10 bar. l=165 mm. n=2	Datos: D=80mm. d=22.5mm. P(aire)= 10 bar. l=101.6 mm n=2
F(avance)=1.25 kN.	F(avance) =5.02 kN.
F(retroceso)=1.14 kN.	F(retroceso) =4.63kN.
Longitud Básica = 330mm. (Fact. Pandeo =2)	Longitud Básica = 203.2mm. (Fact. Pandeo =2).

V[dm ³]=0.207	V[dm ³]=0.5106
Q= 9.232 [dm ³ /min].	Q= 22.739 [dm ³ /min].
Velocidad(dm/min) = 36.734 = 0.0630 m/s	Velocidad(dm/min) = 22.619 = 0.0381 m/s

Se tiene una carga fija de 75 kg, una carga variable máxima de 15 kg y una carga mínima de 10 kg, para el cálculo de la carga total se utilizó el peso mayor, es decir, 15 kg, para tener una carga total de 90 kg.

Teniendo en cuenta que esta carga cuenta con cuatro baleros que facilitan su desplazamiento sobre una guía metálica, que se realiza un desplazamiento lineal y asumiendo que 1 kg es igual a 1 kgf y que a su vez 1 kgf es igual a 9.8076 N. se tiene que:

$$F(\text{total}) = 90 \times 9.8076 = 882.7 \text{ N.}$$

El pistón de avance de carro ofrece una fuerza mínima de 1.14 KN. Por lo que supera fácilmente el requerimiento de carga que se necesita para hacer avanzar y retroceder el carro.

Por otro lado, se tiene que 5020 N equivalen a 0.51 Ton de fuerza, se requieren 0.4 Ton de fuerza para cerrar por completo la prensa que contiene el molde de soplado y evitar que se abra con la presión del aire al inflar la figura plástica. Para determinar la correcta operación de la prensa se eligió en los cálculos 5020 N y no 4630 N debido a que la importancia de este pistón radica elementalmente en la fuerza del cierre y no en la fuerza de apertura.

3.9. SISTEMAS INTEGRADOS.

A continuación se muestran los sistemas integrados con sus componentes seleccionados (Fig. 3.42) respectivamente:



Figura 3.42. Conformación de sistemas.

IV. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

4.1. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

En la actualidad es posible encontrar desperdicios metálicos de aquello que alguna vez sirvió como maquinaria, en este punto la tarea importante se centró en la búsqueda de estos desperdicios para evaluar la posibilidad de “revivir” viejas estructuras para analizar la viabilidad de rehabilitar, modificar o iniciar desde cero la fabricación de la estructura del prototipo.

Este análisis inicia inspeccionando todos y cada uno de los puntos de unión de soldadura, verificando que no existan fracturas o partes corroídas por óxido y de ser así, determinar la posibilidad de restaurar, reemplazar o desechar el área afectada.

No es difícil encontrar estructuras de maquinaria antigua u obsoleta en empresas dedicadas a la manufactura de plástico (Fig. 4.1 y Fig. 4.2). Encontrar una máquina con suficientes partes rescatables y a buen precio de reventa es la tarea complicada.

Se determinaron cuatro factores importantes a considerar que influyen de manera directa en el precio:

- Estado y tiempo de vida de los elementos que conforma la maquinaria.
- Nivel de uso o desuso (considerado como estorbo, basura o destinada para refacciones)
- Costo de reparación de los componentes (actuadores, resistencias, pirómetros, mecánica, etc).
- Cambio de giro de la empresa.



Figura 4.1. Carcasa maquinaria 1.



Figura 4.2. Carcasa maquinaria 2.

¿Porque analizar la posibilidad de “revivir” maquinaria obsoleta y no construirla desde cero?

Este proyecto plantea la posibilidad de actualizar maquinaria existente que permita elevar la productividad de micro, pequeñas y medianas empresas que poseen maquinaria de operación manual y “automatizada”. Esto implica que se debe estudiar la factibilidad costo - beneficio que se obtendrá al actualizar el sistema de producción.

4.2. ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE ACTUADORES DEL PROTOTIPO.

La colocación de los actuadores es una parte fundamental para el adecuado funcionamiento de los movimientos de las partes del sistema. Es importante mencionar que una inadecuada colocación de éstos, ocasionará movimientos forzados e ineficientes provocando un rápido deterioro de los actuadores y averías entre componentes del mismo sistema. A continuación se presenta el esquema donde se ilustra la posición de los actuadores empleados en el Prototipo (Fig. 4.3):

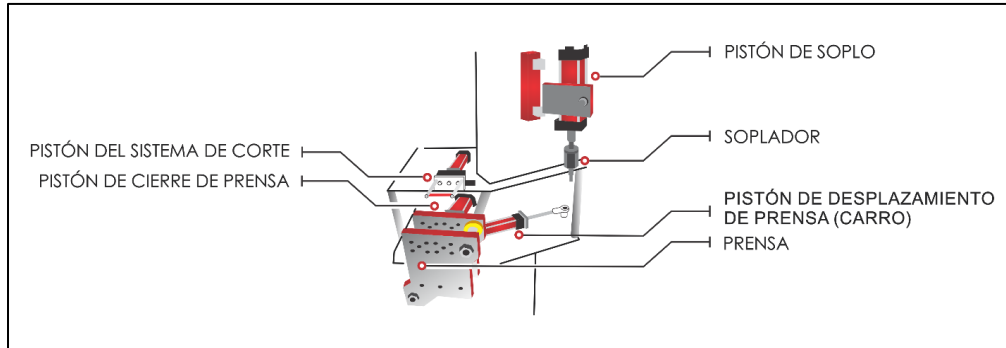


Figura 4.3. Colocación de actuadores.

4.3. ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE SENSORES DEL PROTOTIPO I Y EL PROTOTIPO II.

La colocación de los sensores es la parte complementaria del sistema de gobierno de movimientos mecánicos. Estos determinan la posición de las piezas móviles del sistema e informan al dispositivo de mando que una acción de movimiento ha sido completada para poder seguir con una secuencia de movimientos programados, en caso contrario el sistema esperará hasta que el sensor envíe la señal de presencia de la pieza móvil. Es importante mencionar que la adecuada distancia y colocación de los sensores son factores que deben ser valorados con detenimiento con la finalidad de lograr la mejor ubicación de éstos y evitar en toda ocasión que sean ineficientes o en el peor de los casos que puedan resultar dañados por impactos de las partes móviles del sistema. En la Figura 4.4 se presenta el esquema de colocación de los sensores en el Prototipo:

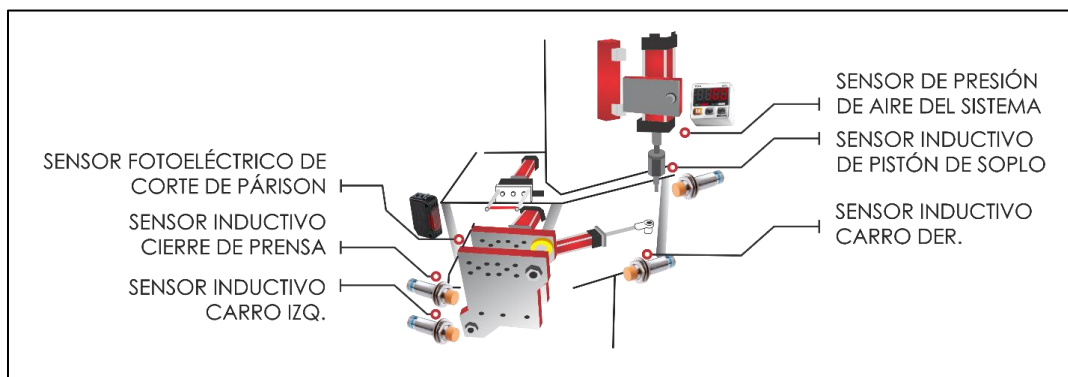


Figura 4.4. Colocación de sensores.

4.4. ESQUEMAS DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL PROTOTIPO I Y PROTOTIPO II.

Uno de los objetivos principales de este trabajo es la construcción de un prototipo que permita automatizar el proceso de manufactura. Durante el proceso de diseño se realizaron dos propuestas (Prototipo I y Prototipo II) que satisfacen los objetivos de este trabajo y cuyos esquemas se presentan a continuación (Fig. 4.5).

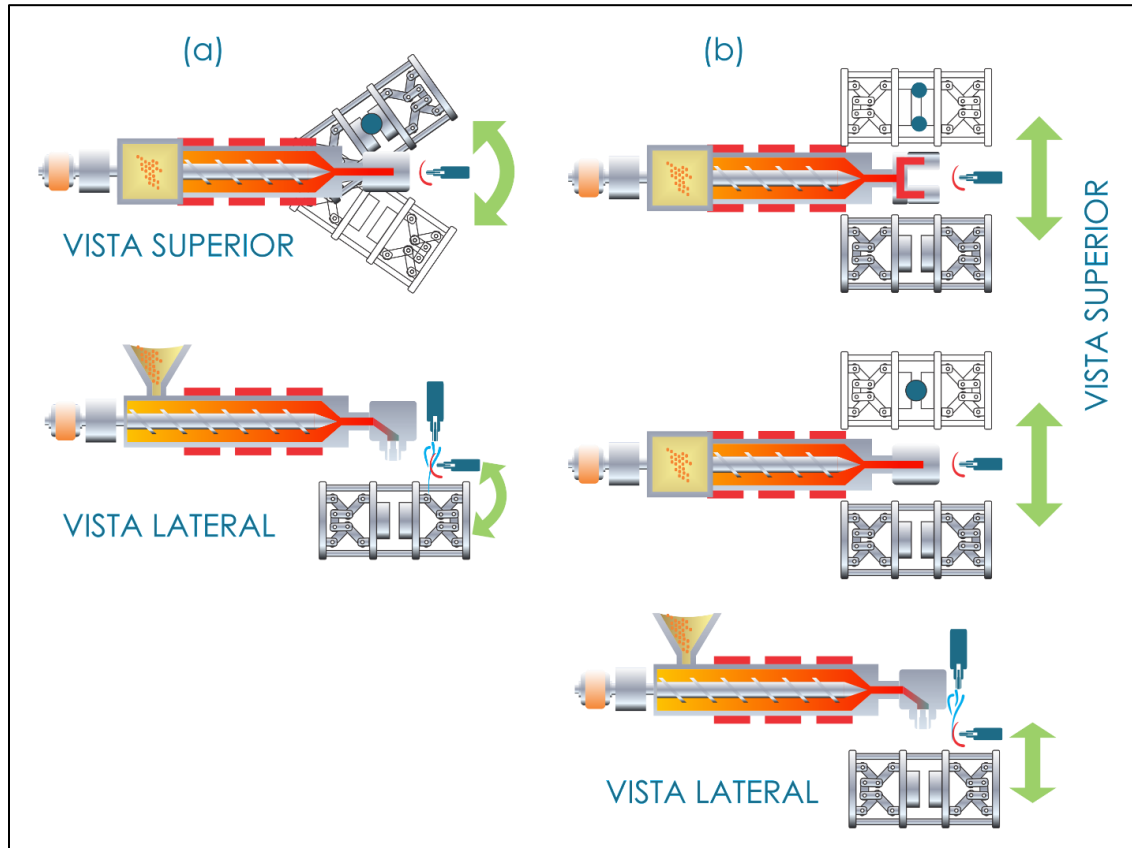


Figura 4.5. Prototipo I (a) Prototipo II (b).

La Figura 4.5 (a) muestra el esquema del prototipo I, el cual cuenta con un cabezal fijo para trabajar con moldes de una cavidad, el desplazamiento de la prensa (carro) se realiza en forma elíptica lo que le permite ocupar menor espacio durante su operación, todos los movimientos de la prensa (cierre y desplazamiento), corte de parison y pistón de soplo se realizan a través de pistones neumáticos. La ventaja de este prototipo radica en su velocidad de operación.

La Figura 4.5 (b) muestra el esquema del prototipo II, el cual cuenta con un cabezal intercambiable para trabajar con moldes de una o dos cavidades según los requerimientos de la producción, el desplazamiento de la prensa (carro) se realiza en línea recta permitiendo tener mejor estabilidad que el prototipo I, todos los movimientos de la prensa (cierre y desplazamiento), corte de parison y pistón de soplo se realizan a través de pistones neumáticos. La ventaja de este prototipo radica en la versatilidad de su cabezal permitiéndole acortar tiempos de producción.

4.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO BÁSICO.

A continuación se describirá el proceso de automatización, esto es necesario para la elaboración del GRAFCET.

Se trata de controlar los movimientos mecánicos de una maquinaria, para que realice las acciones representadas en la figura 4.6.

En un inicio, la prensa de cierre se encuentra en la posición 1 y pasa a la posición 2. Después de una temporización, el sistema de corte pasa de la posición 4 a la posición 3 y finalmente regresa a la posición 4. La prensa que se encuentra en la posición 2, se desplaza a la derecha para quedar en la posición 5. El pistón de soplado se encuentra actualmente en la posición 7, ya posicionada la prensa del lado derecho, el pistón de soplado baja ocupando la posición 6, en ese momento el sistema de soplado se activa, pasando de la posición 8 a la 9 (la electroválvula). Después de una temporización, se desactiva el aire pasando de la posición 9 a la 8 (la electroválvula), la prensa se abre, pasando de la posición 2 a 1. El pistón de soplado sube, pasando de la posición 6 a la 7. Finalmente la prensa se desplaza a la izquierda pasando de la posición 5 a la 1 y el ciclo se reinicia de forma automática.

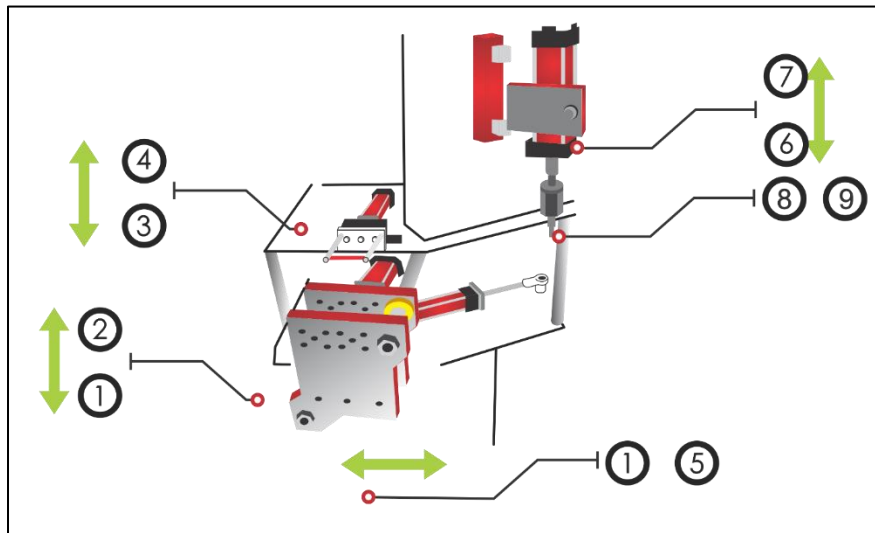


Figura 4.6. Prototipo.

4.6. COMENTARIO SOBRE EL GRAFCET.

El ciclo comienza al presionar el botón de inicio (0). Una vez que se ha presionado el botón inicio y asegurándose de que el botón de paro de emergencia no se encuentra presionado, se debe elegir entre la operación manual o automática, posicionando el selector en la opción deseada. Si se eligió la opción de operación automática, el sistema verifica mediante una red de sensores que los componentes mecánicos se encuentren en posición de "HOME" a continuación se tiene una temporización (1). Cuando esta concluye la prensa que contiene el molde cierra (2), a continuación se tiene una temporización y al mismo tiempo se verifica que el sistema de soplado se encuentre en la posición correcta (3), posteriormente se acciona el sistema de corte y a

continuación se tiene una temporización (4), después se desactiva el sistema de corte y se tiene una temporización (5). En la siguiente acción la prensa tiene un desplazamiento a la derecha (6), se verifica que la prensa se encuentre en la posición indicada y a continuación se tiene una temporización (7), luego baja el pistón de sople y a continuación se tiene una temporización (8), posteriormente se activa el aire y a continuación se tiene una temporización (9). En la siguiente acción se desactiva el aire y a continuación se tiene una temporización (10), después la prensa que contiene el molde se abre y a continuación se tiene una temporización (11), luego el pistón de sople se desactiva, se verifica que el sistema de sople se encuentre en la posición de "HOME" y a continuación se tiene una temporización (12). Finalmente la prensa tiene un desplazamiento a la izquierda (13).

Si la opción elegida por el selector fue la de operación manual, el sistema espera a que el usuario presione los botones correspondientes a las siguientes acciones: Cierre de molde (14), Desplazamiento de prensa (15), Corte (16), Pistón de sople (17), Aire (18).

El sistema esperará a que el usuario presione y libere el botón correspondiente a la acción deseada, mientras no se presione ningún botón el sistema esperará a recibir la orden del usuario.

Todas las acciones antes descritas se realizarán según sean requeridas por los diferentes modos de operación (manual o automático) si el botón de paro de emergencia NO se encuentra presionado.

A continuación se muestran en las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9 los tres niveles de GRAFCET respectivamente, derivado del proceso básico descrito en la sección anterior (4.5), así como las Tablas de asignación de las variables.

4.6.1. GRAFCET NIVEL 1.

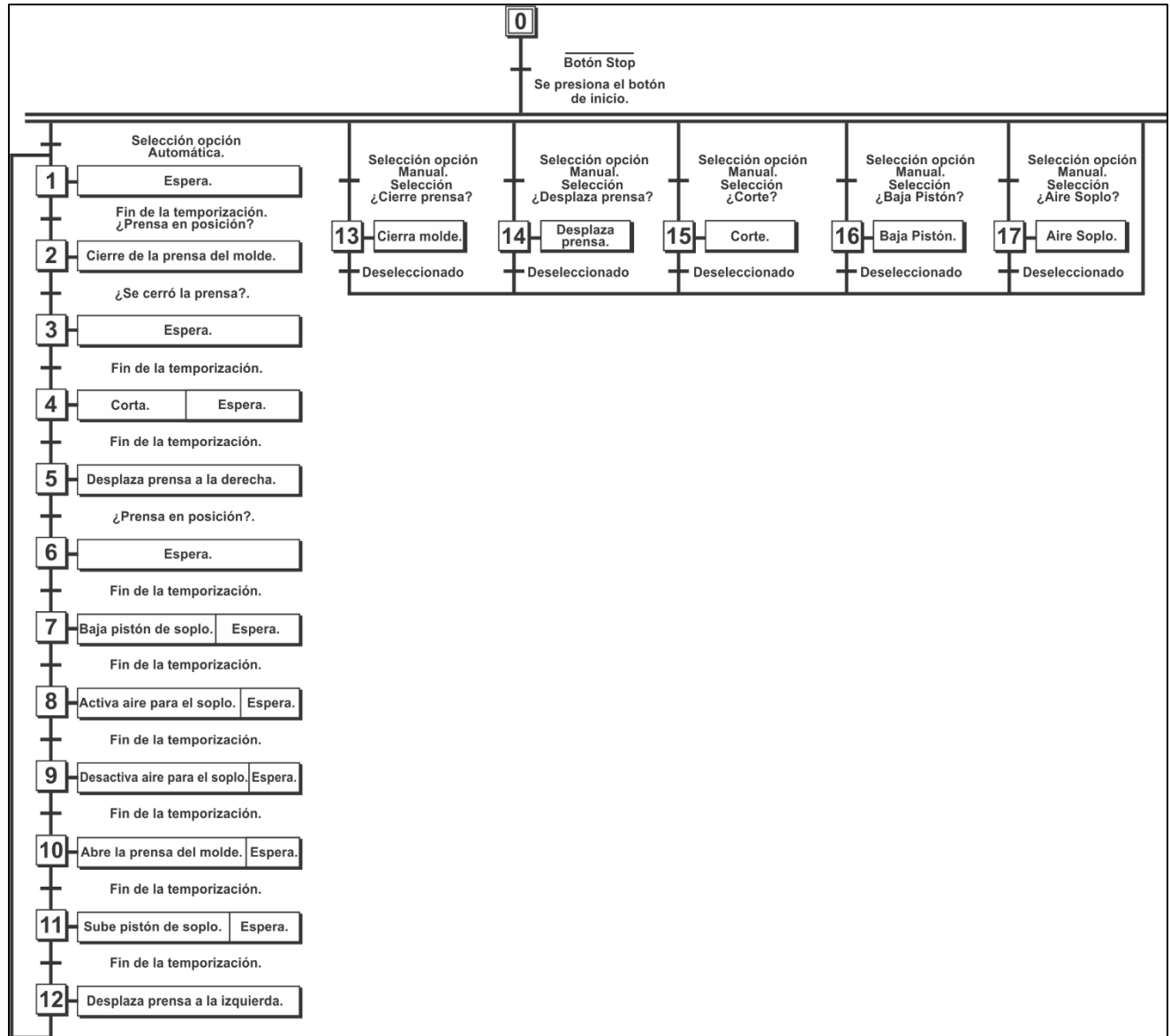


Figura 4.7. GRAFCET nivel 1.

4.6.2. GRAFCET NIVEL 2.

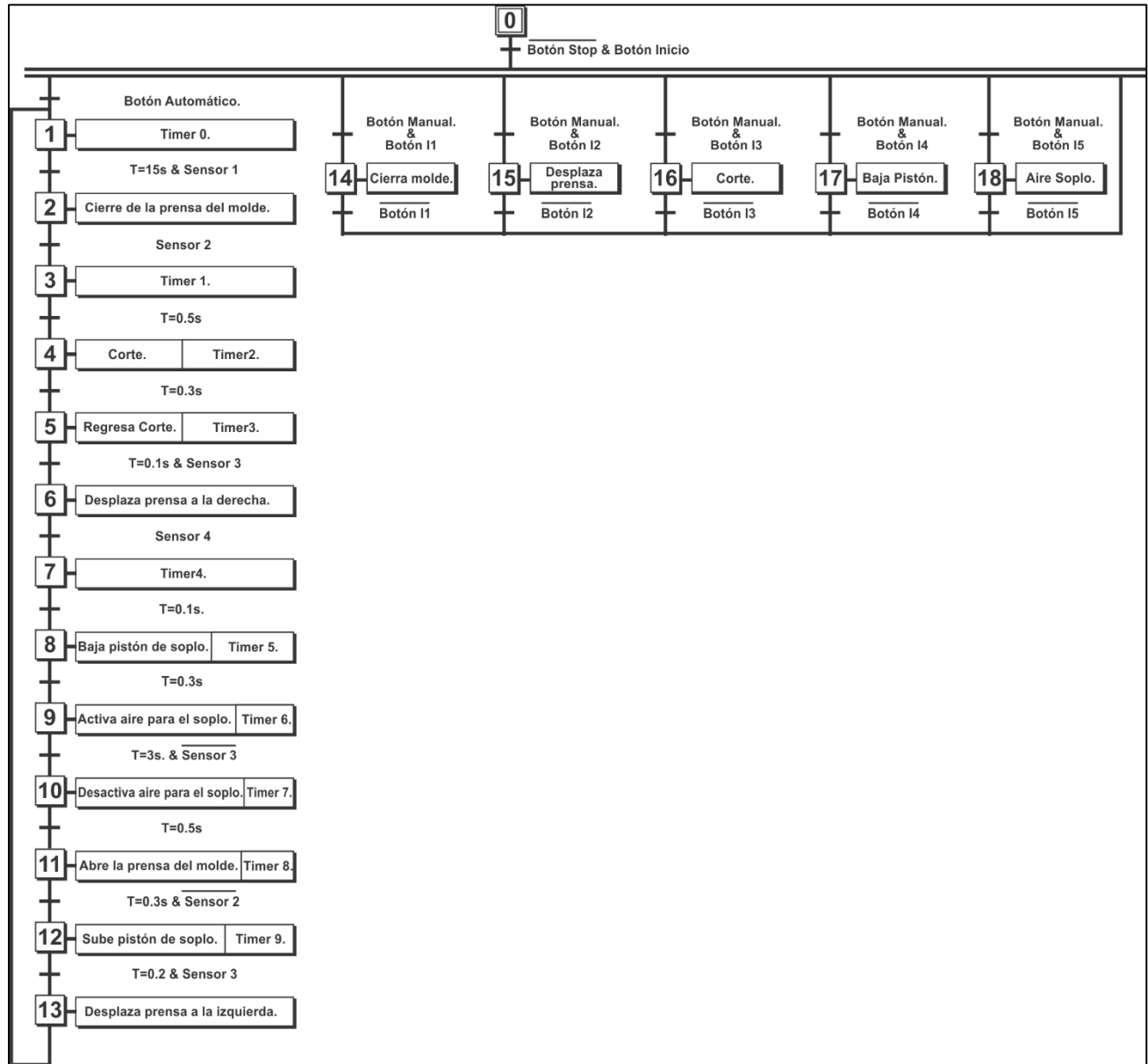


Figura 4.8. GRAFCET nivel 2.

4.6.3. GRAFCET NIVEL 3.

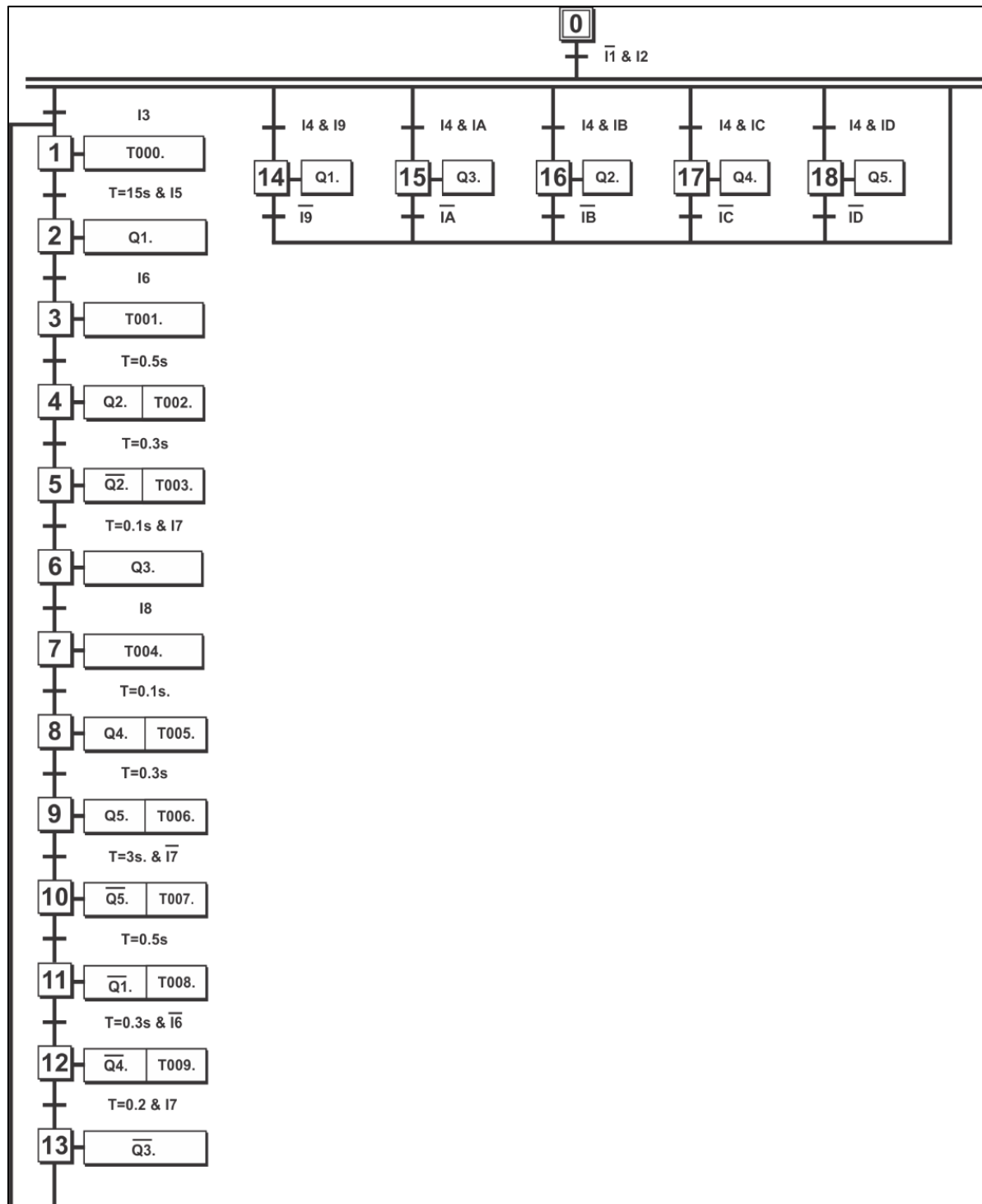


Figura 4.9. GRAFCET nivel 3.

En la Tabla 4.1 se identifican las variables de entrada del sistema y su conexión física a las entradas del PLC.

TABLA 4.1. Asignación de Entradas del PLC.

Variables de entrada		Entrada al PLC
Botón [stop]	B1	I1
Botón [start]	B2	I2
Selector 1 (Manual)	S1	I3
Selector 2 (Automático)	S2	I4
Sensor Inductivo Pistón sopro	S11	I5
Sensor Inductivo Pistón cierre	S12	I6
Sensor Inductivo Carro Derecha	S13	I7
Sensor Inductivo Carro Izquierda	S14	I8
Botón	B3	I9
Botón	B4	IA
Botón	B5	IB
Botón	B6	IC
Botón	B7	ID
Sensor Fotoeléctrico	SFE1*	IE

En la Tabla 4.2 se identifican las acciones del sistema y la asignación de las salidas físicas del PLC.

TABLA 4.2. Asignación de salidas del PLC.

Acciones del sistema	Salida del PLC
Pistón de cierre de prensa	Q1
Pistón de corte	Q2
Pistón de desplazamiento de prensa	Q3
Pistón de sopro	Q4
Electroválvula para sopro de aire	Q5

En la Tabla 4.23 se identifican las acciones del sistema y la activación de los relés internos del PLC.

TABLA 4.3. Asignación de Relés Internos.

Acciones	Relés Internos de Memoria del PLC
Inicio	[M1]
Automático	[M1]&[M2]&/[M3]
Manual	[M1] & [M3] & /[M2]
Cierre Manual de Prensa	[M5] & /[M6] & /[M7]
Corte Manual	[M6] & /[M7]
Desplazamiento Manual de Prensa	[M7] & /[M6]
Pistón Manual de Sopro	[M8] & /[M6] & /[M7]
Sopro Manual	[M9]
Cierre Prensa Auto	[MA] & /[MB] & /[MC]
Corte Auto	[MB] & /[MC]
Desplazamiento Prensa Auto	[MC] & / [MD]
Pistón Sopro Auto	[MD] & /[MC]
Sopro Automático	[ME]

Tiempo Soplo	[M4]
--------------	------

4.7. PROGRAMACIÓN DEL PLC.

Como se describió en la Sección 3.5.3 (Selección del controlador lógico programable) el programa para el control del proceso se escribió en LOGO Soft Comfort! y en Zelio Soft 2.

En esta sección se realizó la respectiva programación en ambos ambientes de trabajo y las respectivas simulaciones en cada software para comprobar sus prestaciones y su adecuado desempeño como se muestra en las Figuras 4.10 y 4.11.

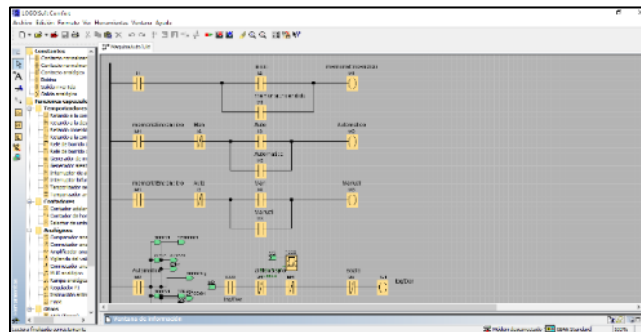


Figura 4.10. Programación Logo! Soft Comfort.

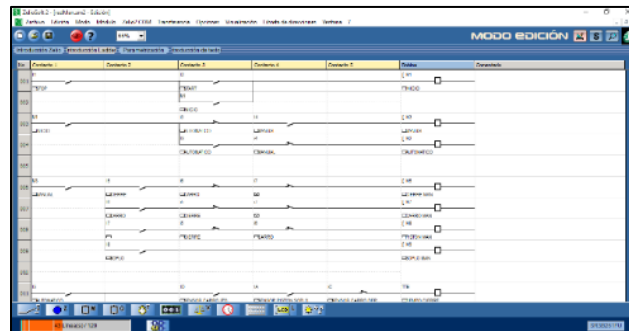


Figura 4.11. Programación Zelio Soft 2.

En la programación se tuvieron en cuenta cuatro compromisos:

- Realizar una programación estructurada como se indicó en el GRAFCET.
- Realizar un programa con parámetros fáciles de modificar por el usuario del sistema (Tiempos, contadores, etc.).
- Realizar un programa que permitiera mejorar el proceso de producción, al reducir tiempo de ciclo posible.
- Reducir los ajustes de parámetros entre cambio de productos (Pre-soplo, Velocidad de cierre de prensa, etc).

4.8. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL DEL PROTOTIPO (SIMULACIÓN).

Siguiendo con el análisis y al tener acceso a los dos PLC comparados en la sección 3.5.3, se construyó un tablero de simulación para cada uno (Fig. 4.12 y Fig. 4.13), se evaluó de forma física los tiempos de respuesta, requerimientos de acoplamiento de entradas de diferentes sensores (mecánico, inductivo, capacitivo). Este punto permitió seleccionar los tipos de sensores a utilizar para el desarrollo del prototipo y los dispositivos de protección de las salidas del PLC.



Figura 4.12. Tablero simulación PLC Logo!.



Figura 4.13. Tablero simulación PLC Zelio.

4.9. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL DEL PROTOTIPO.

El tablero de control está constituido por un gabinete con ventana que incluye los todos los elementos de control del proceso como:

- PLC.
- Controladores de temperatura.
- Variador de Velocidad.
- SSR's.

Este tablero es el encargado de recibir todas las señales provenientes de los sensores y del tablero de usuario, las interpreta y las procesa. Además, es el responsable de enviar todas las señales de salida de control en forma y orden adecuado.

Dotado de indicadores luminosos por parte de los controladores de temperatura, los SSR y los relevadores de protección a la salida del PLC, permite conocer en todo momento si dichas salidas de control se están enviando en el momento en que son requeridas o bien si alguna de ellas no está presente al ser solicitada. Esta característica definitivamente presenta una enorme ventaja al momento de presentarse una avería.

Por otro lado, en el desarrollo de este tablero se tomaron en cuenta las medidas de seguridad necesarias para salvaguardar la integridad de los componentes en el caso de un corto circuito o sobrecorriente mediante fusibles de protección integrados en las clemas de conexión de la línea que alimenta el sistema. Además de integrar una protección bimetálica y de sobre corriente que permite garantizar en todo momento la seguridad del variador de velocidad conectado al equipo (Fig. 4.14).

Adaptaciones: Originalmente, el gabinete presentó una ventana de vidrio, el cual fue sustituido por un acrílico transparente de 5 mm de espesor por seguridad. Esta modificación fue necesaria para colocar los controladores de temperatura al alcance del usuario y para optimizar el espacio dentro del mismo gabinete, misma que se aprecia en la Figura 4.15.



Figura 4.14. Tablero Zelio.



Figura 4.15. Adaptación ventana gabinete.

4.10. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE USUARIO DEL PROTOTIPO.

En este proyecto se propuso la implementación de un segundo tablero denominado Tablero de Usuario (Fig. 4.17 y Fig. 4.18). Este tablero es el encargado de interactuar con el usuario. Además es responsable de enviar todas las señales de entrada provenientes de los sensores y del usuario al tablero de control.

Dotado de indicadores luminosos por parte de los acoplamientos de voltaje de los sensores y de las luces piloto (Fig. 4.16), permite conocer en todo momento si las entradas de control están siendo enviadas por los sensores y por las acciones del usuario en todo momento. De igual manera esta característica presenta una enorme ventaja al momento de presentarse una avería.

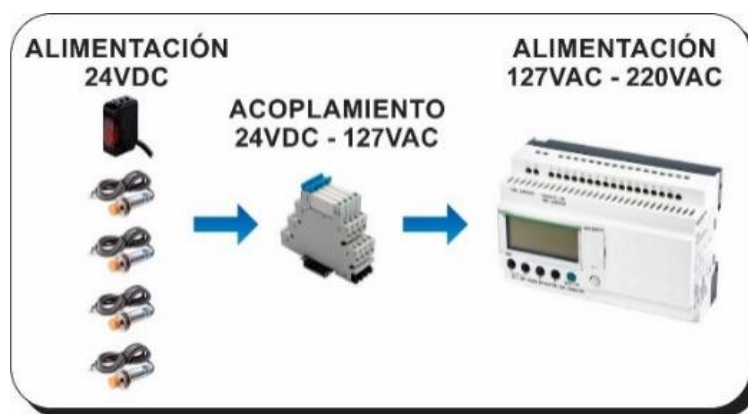


Figura 4.16. Acoplamiento de voltajes entre sensores y PLC.

Este tablero permite cambiar entre dos formas de operación del prototipo:

- **MODO AUTOMÁTICO.** Permite al usuario echar en marcha el prototipo sin la necesidad de ejecutar alguna operación física de su parte, es decir, el prototipo es capaz de funcionar de manera autónoma en este modo de operación.
- **MODO MANUAL.** Permite al usuario realizar ajustes de calibración. El operador puede interactuar con todos los mecanismos de movimiento del prototipo. Por otro lado, este modo de funcionamiento permite realizar el ciclo completo de producción en caso de hacer falta o de estar dañado algún sensor.

De igual manera que en el tablero de control se tomaron en cuenta las medidas de seguridad necesarias para salvaguardar la integridad de los componentes en el caso de un corto circuito o sobrecorriente mediante fusibles de protección integrados en las clemas de conexión de la línea que alimenta el sistema (Fig. 4.17). Además, se integraron botones de paro de emergencia para seguridad del usuario y para protección de los mecanismos eléctricos y mecánicos del prototipo (Fig. 4.18).



Figura 4.17. Tablero usuario vista interior.

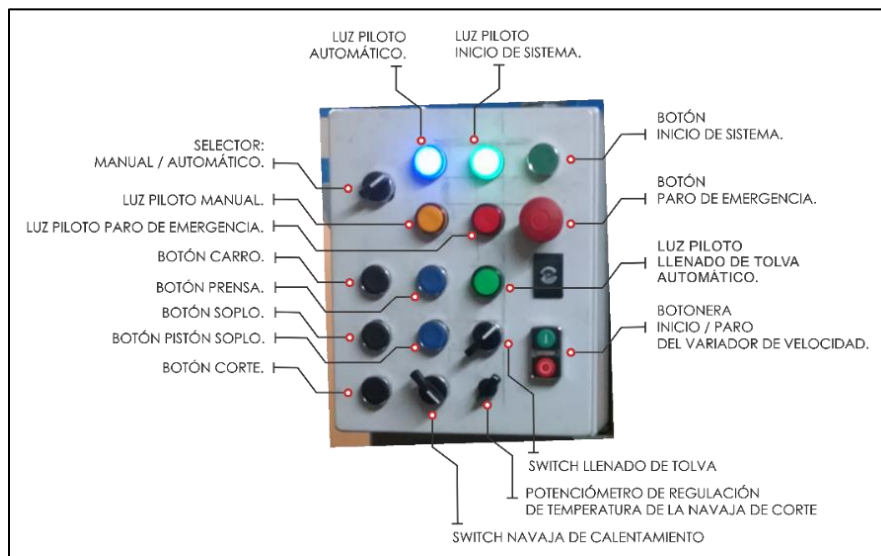


Figura 4.18. Tablero usuario vista exterior.

Una vez construido el tablero prototipo I y probado su funcionalidad, se construyó un tablero adicional para el prototipo II, se integraron los dos tableros (usuario y control) en uno solo como los mostrados en las Figuras 4.19 y 4.20. En este punto se realizó la modernización no solo de la parte mecánica y de los actuadores, sino de la parte de mando y de control. Disminuyendo tamaños de los antiguos gabinetes como los de las Figuras 4.21 y 4.22. Además, se agregaron más funciones como: regulador de temperatura de la navaja de corte, encendido manual de la navaja de corte, operación manual del prototipo, entre otras. Al contar con dos prototipos complementemente funcionales, se logró hacer un estudio de repetibilidad y se comprobó la eficiencia de los componentes actualmente instalados.

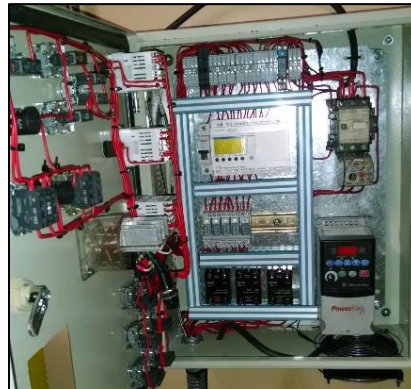


Figura 4.19. Tablero prototipo II vista interior.

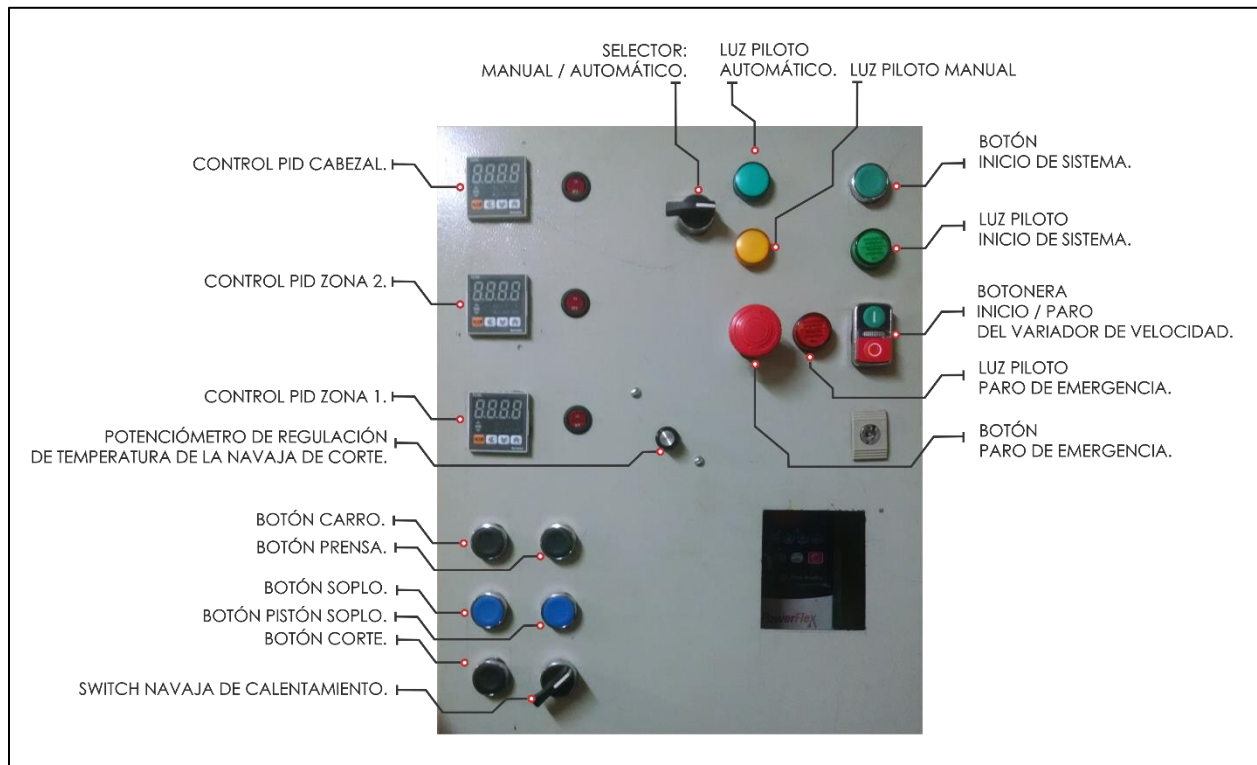


Figura 4.20. Tablero prototipo II vista exterior.

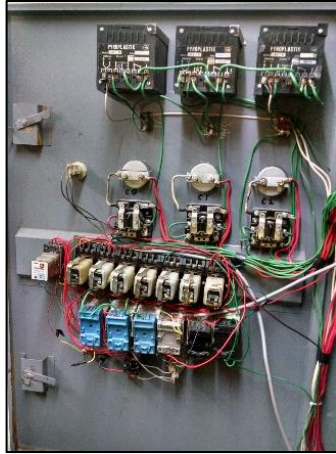


Figura 4.21. Tablero anterior usuario vista interior.





Figura 4.22. Tablero anterior usuario vista exterior.

4.1.1. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN MECÁNICA (PROTOTIPO I, PROTOTIPO II).

A continuación se describirá el proceso (resumido) de re-construcción mecánica del primer, y segundo prototipo (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Bitácora de proceso simplificada.

<p>Inspección de estructura. Como se describió con anterioridad en este punto se realizó una inspección detallada de todas las uniones de soldadura. También se realiza la inspección de todas las partes en busca de piezas corroidas por óxido, rotas, defectuosas o que no sean funcionales para el nuevo diseño.</p>	
<p>Modificaciones estructurales. Una vez detectadas las piezas defectuosas, se sustituyen y refuerzan las uniones de soldadura modificando todas las partes de la estructura que no sean funcionales, se da un acabado (esmerilado) a todos los bordes puntiagudos. Se añaden partes faltantes a la estructura y se le dio un baño de pintura.</p>	

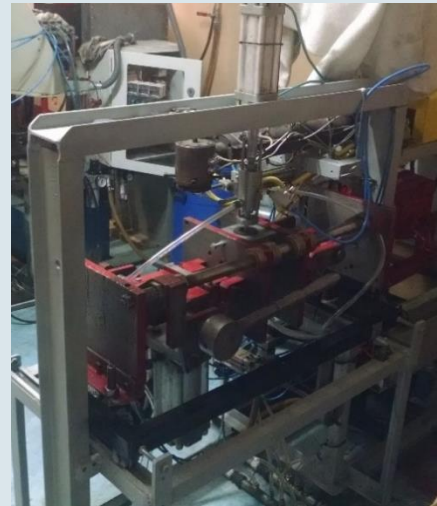
<p>Cañón de calentamiento. Una de las piezas mas costosas del prototipo. La (construcción) selección, inspección, nivelado y sujeción de esta pieza es imprescindible para el correcto funcionamiento y un adecuado tiempo de ciclo de producción. Esta pieza en conjunto con el husillo son los elementos que mayor precisión requieren al ser críticos para la operación de la maquinaria.</p>	
<p>Pruebas de medidas para resistencias de calentamiento, para determinar las zonas de calentamiento.</p>	
<p>Colocación de resistencias de calentamiento por zonas.</p>	
<p>Selección del husillo (sin fin). Como ya se mencionó esta pieza es una de las importantes para el funcionamiento de la maquinaria, así que se debe tener especial cuidado al seleccionar las características de esta pieza (paso, material, acabado, etc). El husillo en conjunto con el cañón dictarán en gran medida el precio de una maquinaria "reconstruida".</p>	
<p>Reciclaje de actuadores y conexiones neumáticas. Inspección de piezas que pueden ser reutilizadas para la fabricación del prototipo.</p>	
<p>Restauración de actuadores neumáticos. En esta ocasión solo se pudieron restaurar algunos actuadores neumáticos, a los cuales se les realizó un mantenimiento correctivo, además de un baño de pintura.</p>	

<p>Recuperación de piezas mecánicas. En cuanto a las piezas mecánicas no fueron muchas las que pudieron ser restauradas o aprovechadas ya que su forma y tamaño no era el adecuado para el nuevo diseño del prototipo.</p>	
<p>Fabricación y armado de una prensa sencilla.</p>	
<p>Se hizo uso de las piezas restauradas, en este caso un pistón multiposición, se realizaron las adecuaciones para montar la prensa y ejecutar la función de cierre de molde, además, se colocó un pistón de arrastre para realizar la función de desplazamiento de carro.</p>	
<p>Construcción de mecanismo de corte de párison.</p>	
<p>Construcción del mecanismo de soplado.</p>	

Primer Prototipo Finalizado.



Segundo Prototipo Finalizado.



4.12. PROCESO DE INSTALACIÓN NEUMÁTICA.

A continuación se muestra el proceso (resumido) de instalación neumática en los prototipos I y II (Tabla 4.5):

Tabla. 4.5. Instalación neumática.

Pistón de Cierre de Prensa Prototipo II (Montaje Definitivo)



Colocación en la Estructura Metálica para Cierre de Prensa.

Pistón de Arrastre de Carro Prototipo II (Montaje Definitivo)



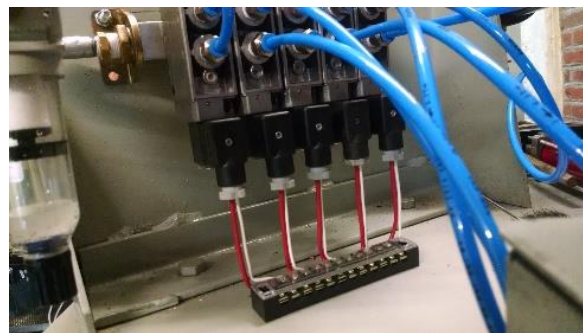
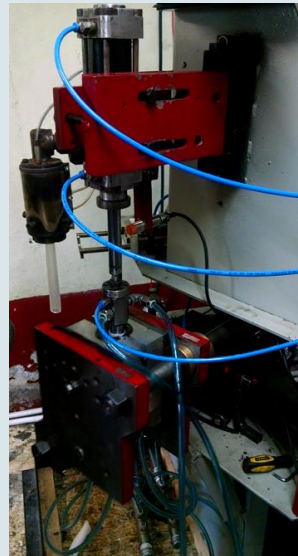
Colocación en Estructura Metálica para el Movimiento de Carro.

Colocación de Mangueras, Conectores, Manifold, Electroválvulas y Unidad FRL del Prototipo II



Conectores 1/4" Salida a Manguera No. 6. Manguera Festo No. 6. Manifold 5 Electroválvulas.

Instalaciones Neumáticas Prototipo I Y II



4.13. DIAGRAMA DE CONEXIONES NEUMÁTICAS.

En la Figura 4.23 se puede apreciar el diagrama de conexiones neumáticas entre los distintos elementos que la componen:

- Pistón amortiguado de cierre de prensa, pistón amortiguado de arrastre de carro, pistón amortiguado de soplo, pistón amortiguado de corte.
- Reguladores de presión en el avance y retroceso de cada pistón.
- Válvulas distribuidoras 5 vías 2 posiciones de accionamiento eléctrico con regreso mecánico.
- Unidad de mantenimiento Filtro Regulador Lubricador.
- Unidad de suministro de energía (Compresor).

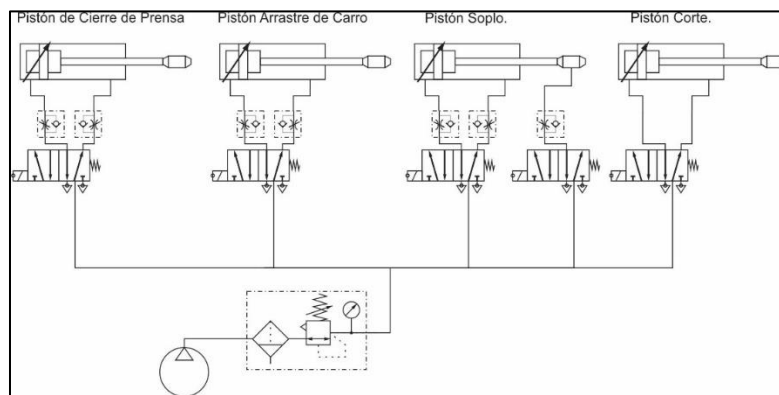


Figura 4.23. Simulación de la instalación neumática.

4.14. SIMULACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO.

La simulación del sistema neumático se realizó en el software FluidSim-P (Fig. 4.24), el cual permite comprobar si la instalación de los componentes eléctricos – neumáticos se realizó de manera adecuada.

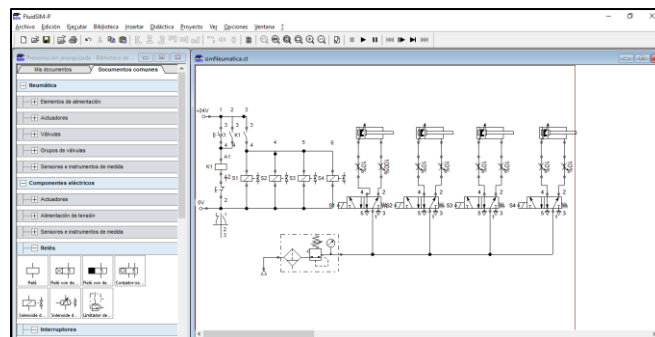


Figura 4.24. FluidSim-P.

En las Figuras 4.25 y 4.26 se puede apreciar el funcionamiento de la instalación eléctrica (mediante el cambio de color a rojo, indicando el flujo de corriente a través de éstas), y el desempeño de la electroválvula (electroválvula 5/2) pasando por sus dos posiciones.

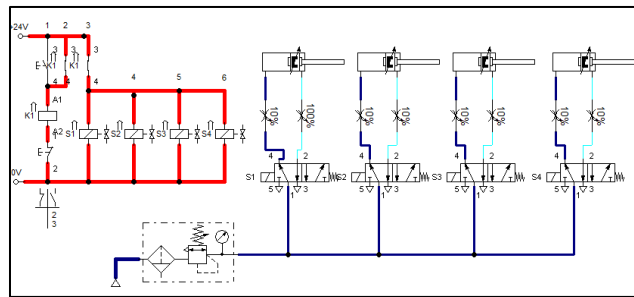


Figura 4.25. Simulación posición 1.

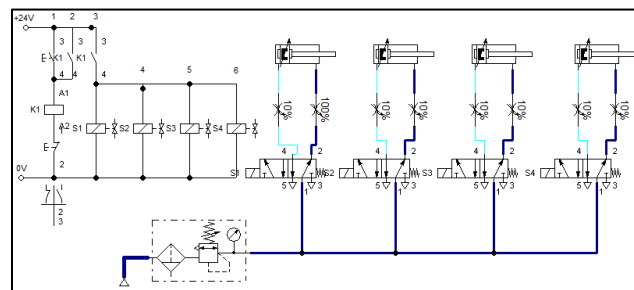


Figura 4.26. Simulación posición 2.

Los criterios de selección de las electroválvulas (Fig. 4.27) fueron los siguientes:

- Número de vías y posiciones: 5/2.
- Tipo de mando: Eléctrico.
- Tamaño (según el tamaño del actuador): 1/4 ''.
- Montaje: Válvulas con base de montaje múltiple.
- Alimentación de solenoide: 120 VAC.

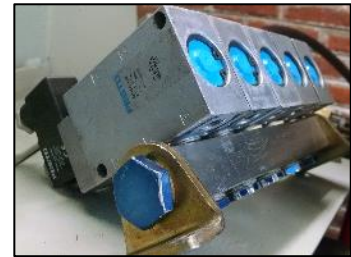


Figura 4.27. Electroválvulas.

4.15. SELECCIÓN DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

La instalación electromecánica consta de los componentes seleccionados en las secciones 3.7.1 (selección del motor eléctrico) y 3.8.1 (instalación eléctrica): (switch, contactor, protección Termomagnética, Motor, etc.). En las Figuras 4.28, 4.29 y 4.30 se muestran, el esquema de mando, el esquema de potencia y el diagrama de conexión respectivamente.

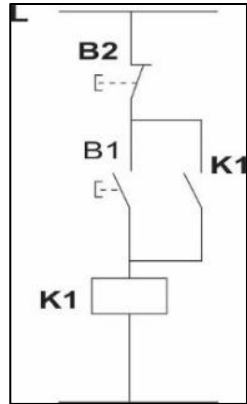


Figura 4.28. Esquema de mando conexión motor.

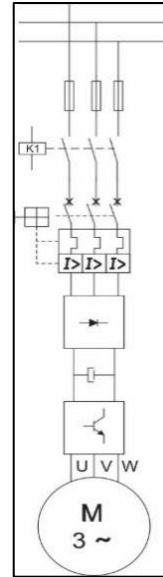


Figura 4.29. Esquema de potencia conexión motor.

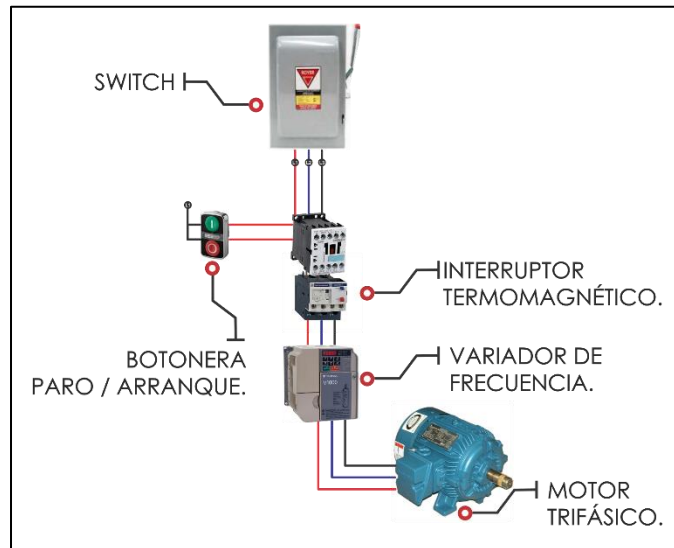


Figura 4.30. Diagrama de conexión motor.

La instalación eléctrica de los controladores de temperatura, relevadores de estado sólido, resistencias de calentamiento consta de los elementos seleccionados en las secciones 3.8.1.2 (cálculo de conductores eléctricos para resistencias), 3.4.4 (relevador de estado sólido), 3.4.3 (control de temperatura) a continuación se presentan en las Figuras 4.31 y 4.32, el esquema de conexión y el diagrama de conexión respectivamente.

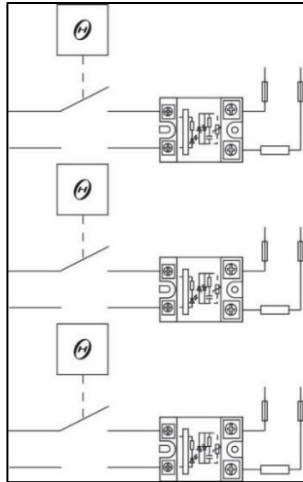


Figura 4.31. Esquema de conexión de resistencias.

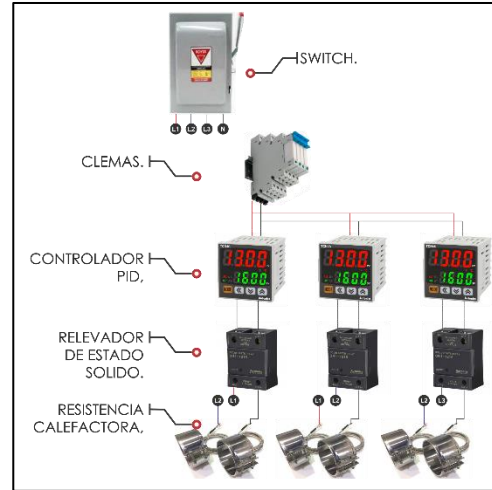


Figura 4.32. Diagrama de conexión de resistencias.

La instalación eléctrica del dispositivo de mando PLC, sensores, consta de los elementos seleccionados en secciones 3.5.1 (Sensor inductivo), 3.5.2 (sensor fotoeléctrico), 3.5.3.2 (Zelio Logic) a continuación se presentan en las Figuras 4.33 y 4.34 el diagrama de conexión y el esquema de conexión respectivamente.

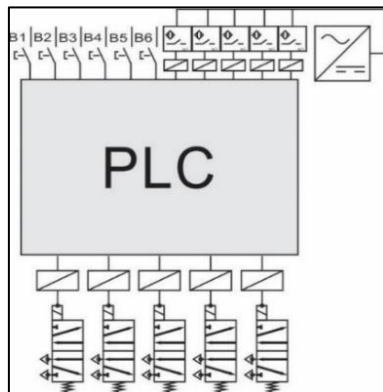


Figura 4.33.

Esquema de conexión circuito de mando.

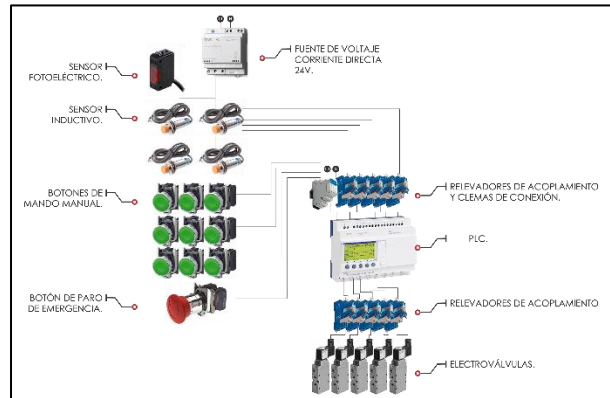


Figura 4.34.

Diagrama de conexión circuito de mando.

4.16. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA.

En la sección 3.6.4 se definieron las características, los alcances y las ventajas que tiene una red inalámbrica de área local.

La comunicación entre los módulos inalámbricos se realizó utilizando tramas API (cuya estructura se explica en la sección 3.6.4.7), que a pesar de ser más complejas ofrecen ventajas como permitir la configuración remota de los nodos de la red o el simple cambio de destino de envío y recepción de los datos a través de la misma trama (Fig. 4.35).

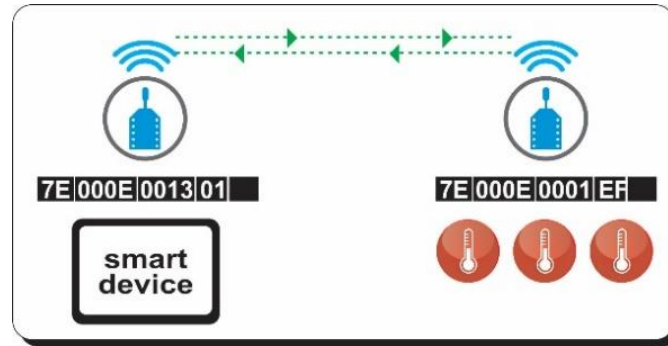


Figura 4.35. Comunicación con trama de datos API.

La red está compuesta por cuatro módulos configurados como *router* y un módulo configurado como *coordinador*.

Para realizar la respectiva configuración de cada módulo se utiliza la aplicación X-CTU proporcionado por DIGI (Fig. 4.36).

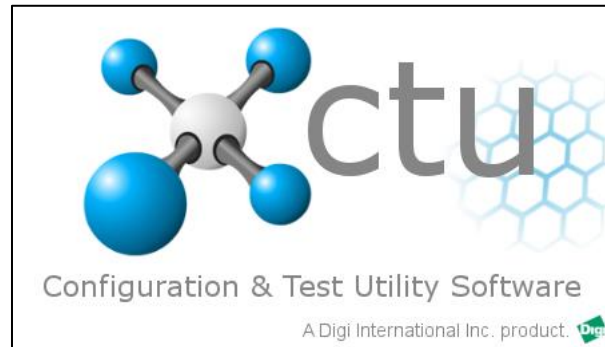


Figura 4.36. X-CTU.

X-CTU es una aplicación multiplataforma diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con módulos DIGI RF. Algunas características destacadas son:

- Puede administrar y configurar varios dispositivos RF incluso de forma remota (Fig. 4.37).
- Incluye un conjunto de herramientas embebidas que pueden ser ejecutadas sin tener ningún módulo RF conectado.
- Generador de tramas: Permite generar fácilmente cualquier tipo de trama API.
- Decodifica una trama de datos API y permite ver sus valores específicos.
- Prueba de rango: Permite realizar una prueba de rango entre dos módulos de la misma red.



Figura 4.37. Configuración radio.

4.16.1. CONFIGURACIÓN MODO COORDINADOR.

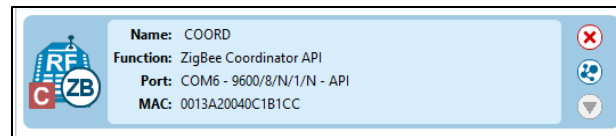


Figura 4.38. Configuración modo coordinador.

Una vez decidido trabajar en modo API (Fig. 4.48) y especificado la función del radio (*coordinador, router, end device*), el primer paso es definir en la sección de *NETWORKING* (Fig. 4.39) el PAN ID, es muy importante que este PAN ID sea definido por el módulo al que se le asignará la tarea de COORDINAR de la red.

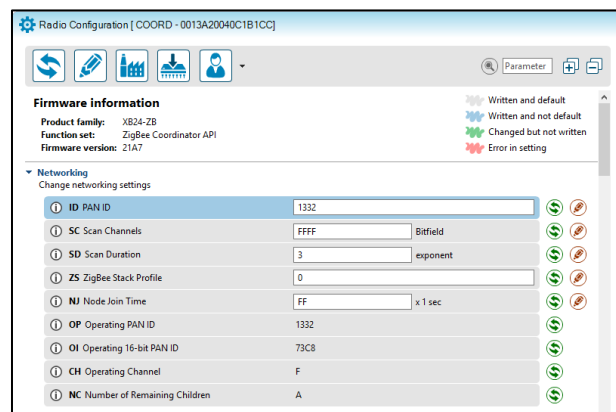


Figura 4.39. Configuración sección *Networking* Coordinador.

Una vez definido el **PAN ID**, el siguiente paso es colocar un identificador de nodo (aunque se puede trabajar sin tener uno) en este caso es COOR.

En la Figura 4.40 se puede apreciar que las opciones *DH* y *DL* permanecen sin cambios y esto se debe al hecho de que no se tiene una dirección única de transmisión, en modo API se puede realizar la transmisión de datos y especificar la dirección destino en la misma trama.

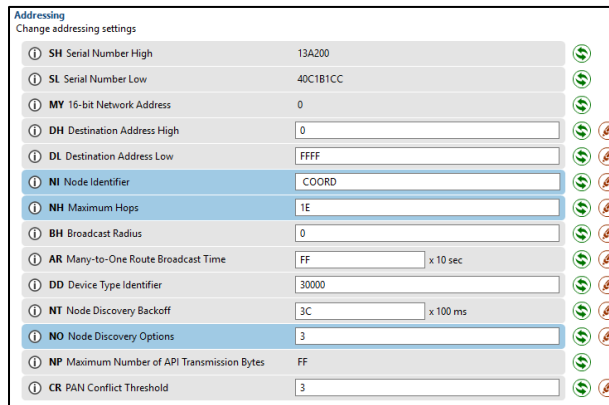


Figura 4.40. Configuración sección Addressing Coordinador.

Finalmente en la sección de Serial Interfacing (Fig. 4.41) se configuran los parámetros de transmisión, en este caso a una velocidad de 9600 baudios, sin paridad, con un bit de stop.

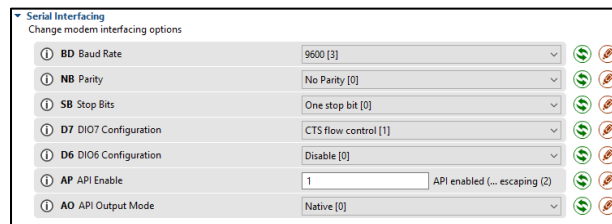


Figura 4.41. Configuración sección serial Interfacing Coordinador.

Existen otras secciones de configuración (*Sleep Modes*, *I/O settings*, *RF Interfacing*, etc), si bien, de ser necesarios, se realizará la petición vía trama API.

4.16.2. CONFIGURACIÓN MODO ROUTER.

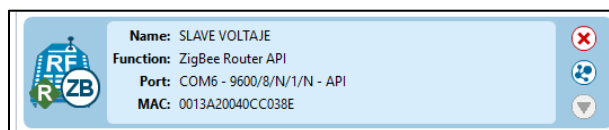


Figura 4.42. Configuración modo Router.

Una vez decidido trabajar en modo API (Fig. 4.42) y especificada la función del radio (*coordinador*, *router*, *end device*), de nueva cuenta el primer paso es definir en la sección de *NETWORKING* (Fig. 4.43) el PAN ID y es muy importante que este PAN ID sea el mismo que el definido por el COORDINADOR ya que solo se puede hacer la operación de envío y recepción de datos entre los módulos que tengan el mismo PAN ID.

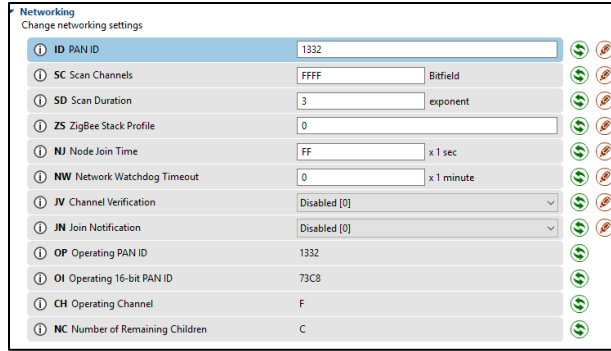


Figura 4.43. Configuración sección *Networking Router*.

De igual manera que en la configuración del módulo COORDINADOR las casillas del ROUTER de las direcciones *DH* y *DL* permanecen sin cambios, si se desea se le puede asignar un nombre al nodo en la casilla *Node Identifier*. En este proyecto se le agregó un identificador (Fig. 4.44) a todos los nodos que pertenecen a la red ya que es más sencillo reconocerlos de esta forma que por medio de su número de serie (ej. 0013A200 40C1B1CC).

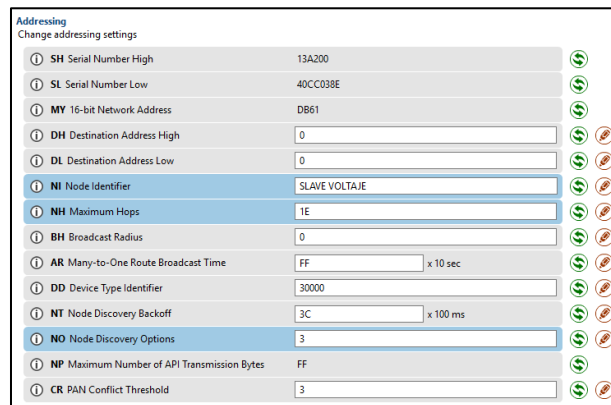


Figura 4.44. Configuración sección *Addressing Router*.

Finalmente en la sección de Serial Interfacing se configuran los parámetros de transmisión, en este caso a una velocidad de 9600 baudios, sin paridad, con un bit de stop.

Una vez configuradas las características de los módulos que conforman la red inalámbrica se realizaron pruebas de envío y recepción de datos con cada uno de los módulos para corroborar que se atendieran las peticiones del módulo COORDINADOR de manera correcta.

Para lo anterior se utilizó nuevamente la aplicación X-CTU (Fig 4.45) y la aplicación RCOM (Fig. 4.46). Estas aplicaciones permiten armar las tramas, enviarlas y recibirlas.

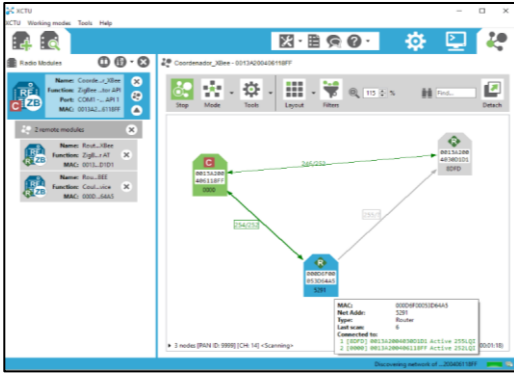


Figura 4.45. Conexión inalámbrica de los nodos.

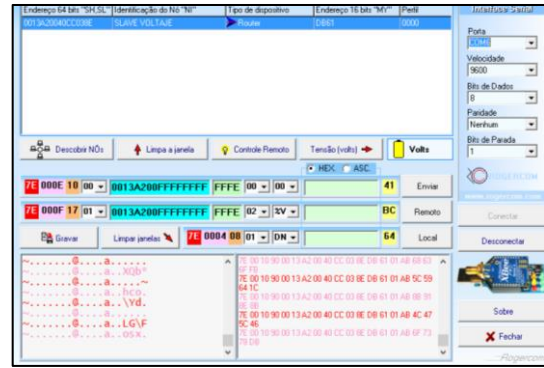


Figura 4.46. Recepción y envío de tramas.

La primera de estas aplicaciones permite verificar que la conexión inalámbrica se esté llevando a cabo de manera correcta entre los módulos que integran la red, mientras que la otra aplicación permite recibir las tramas de datos e identificar de donde provienen, también posibilita enviar datos y visualizar en todo momento la información de la trama enviada, lo que facilita el manejo de las tramas API.

Para comprobar la conexión de todos los módulos de forma simultanea, se realizó el diseño y la construcción de los respectivos PCB's (Fig. 4.47) que permitieran tener una "independencia" de los ROUTERS de la PC, mientras que el COORDINADOR se conectó por medio de una placa Explorer X-Bee a la PC (Fig. 4.48).

Estos PCB's permiten tener a los módulos a una distancia lo suficientemente separados unos de otros, lo que posibilita realizar pruebas de alcance y de esta forma comprobar sus verdaderas limitaciones en el ambiente de trabajo.

En el diseño de los PCB's consideró la posibilidad de la carencia de conexiones eléctricas cercanas, así que se diseñaron para poder ser alimentadas mediante baterías o cargadores comerciales de baja potencia.



Figura 4.47. Nodo Router.



Figura 4.48. Nodo Coordinador.

Finalmente se asignaron los diferentes tipos de variables a sensor (voltaje, corriente, presión, temperatura) para cada módulo y el número de variables que admitirá cada uno de ellos (Tabla 4.6), siendo la distribución como se muestra en la Fig. 4.49:

Tabla 4.6. Distribución de variables.

Nodo	Variable a sensor	Número de Variables
Voltaje	Voltaje	3 (U,V,W)
Corriente	Corriente	3 (U,V,W)
Presión	Presión	1
Temperatura	Temperatura	3 (zona 1, zona 2, cabezal)
Mecánica	Acción	5 (corte, prensa, carro, pistón, soplo)

Nota: Las temperaturas obtenidas por el nodo de Temperatura, serán las de las resistencias colocadas a lo largo del cañón.

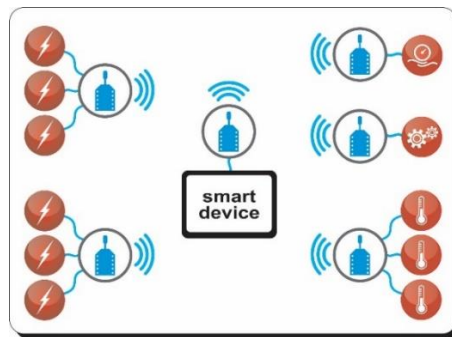
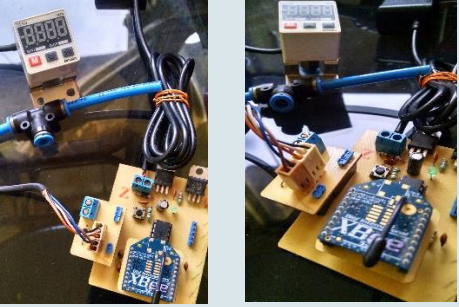
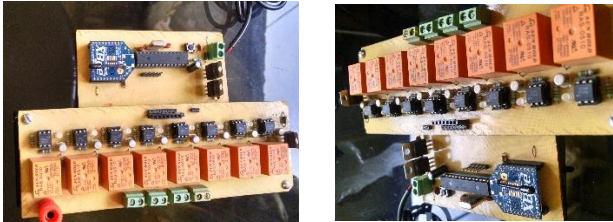
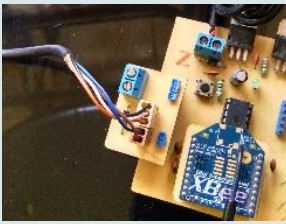


Figura 4.49. Red inalámbrica.

En la tabla 4.7 se muestran los nodos que componen a la red inalámbrica:

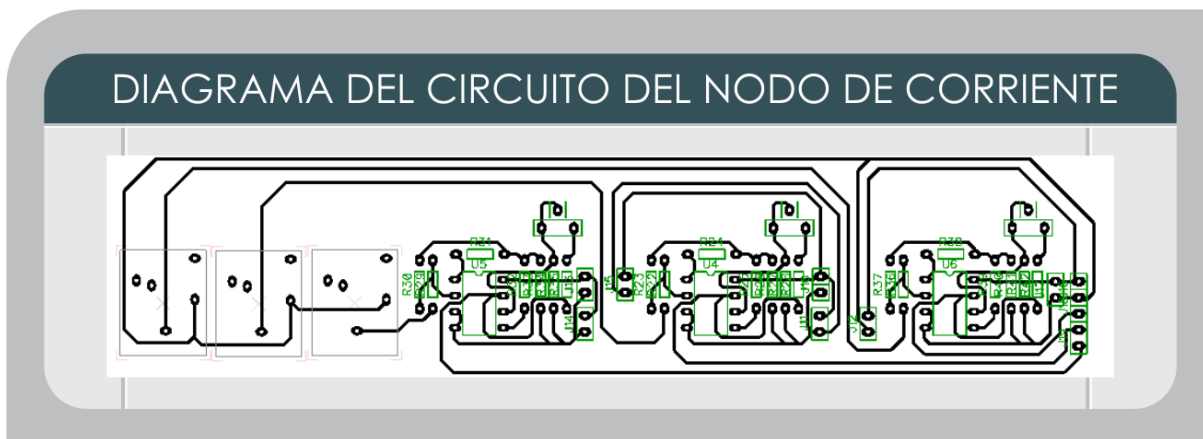
Tabla 4.7. Red inalámbrica.

NODO VOLTAJE.	
NODO CORRIENTE.	

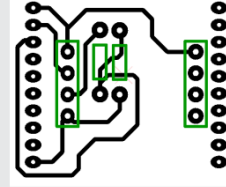
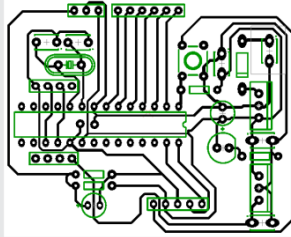
<p>NODO PRESIÓN.</p>	
<p>NODO MECÁNICA.</p>	
<p>NODO TEMPERATURA.</p>	

A continuación se muestran (Tabla 4.8) los circuitos de los nodos que componen a la red inalámbrica:

Tabla 4.8. Circuitos de la Red inalámbrica.



DIAGRAMAS DE LOS CIRCUITOS DEL PIC Y X-BEE



DIAGRAMAS DE LOS CIRCUITOS NODO TEMP Y PRESIÓN

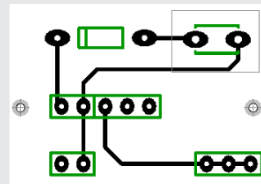
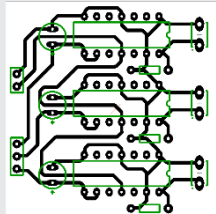


DIAGRAMA DEL CIRCUITO DEL NODO MECÁNICA

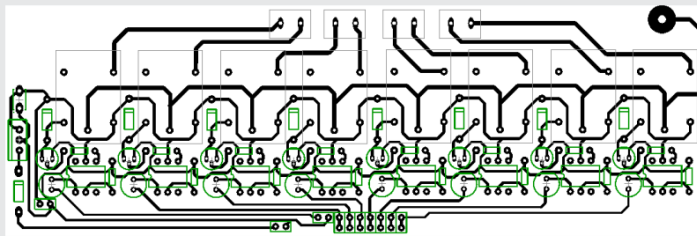
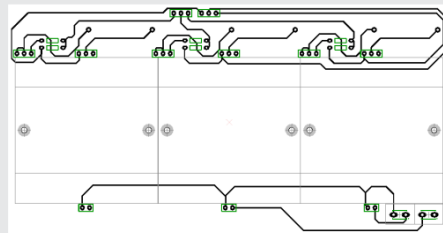


DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE VOLTAJE



4.17. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA.

Se construyó una interfaz de monitoreo para cada una de las variables en la plataforma LabVIEW y finalmente se integraron todas estas en una sola interfaz de tal forma que su uso fuera fácil e intuitivo para el usuario.

A continuación se muestran y se describen las interfaces de cada variable:

4.17.1. SISTEMA DE PROTECCIÓN CON CONTRASEÑA.

El sistema de protección con contraseña permite ingresar al sistema únicamente si el usuario proporciona la contraseña adecuada, de no ser así el sistema no permitirá que se acceda a las funciones del mismo. El objetivo de esta interfaz, es limitar el acceso a personal ajeno, carente de conocimiento o sin privilegios del sistema (Fig. 4.50).

La seguridad del sistema consta de dos niveles:

- Supervisor. Tiene el acceso completo al sistema, puede realizar modificaciones a través de sección de ajustes mecánicos (operación manual) y monitoreo en el momento en que lo considere necesario (Fig. 4.51).
- Usuario. Tiene acceso limitado al sistema permitiendo realizar solo el monitoreo de las variables del sistema.

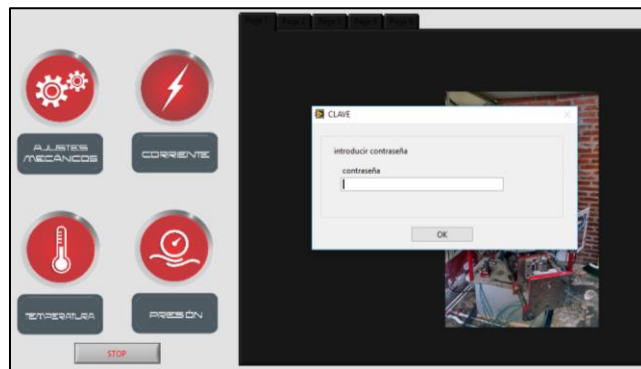


Figura 4.50. Mensaje de contraseña.

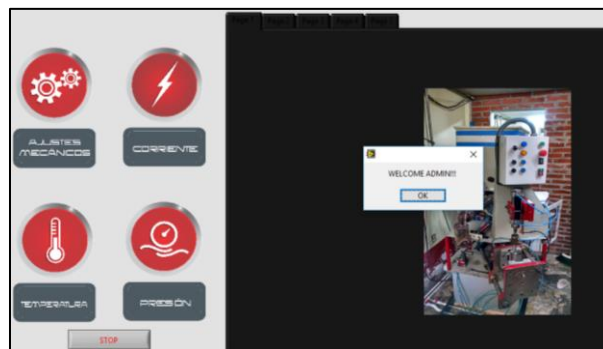


Figura. 4.51. Mensaje de bienvenida.

En caso de no contar con una contraseña el sistema envía un mensaje de error impidiendo el acceso al sistema (Fig. 4.52).

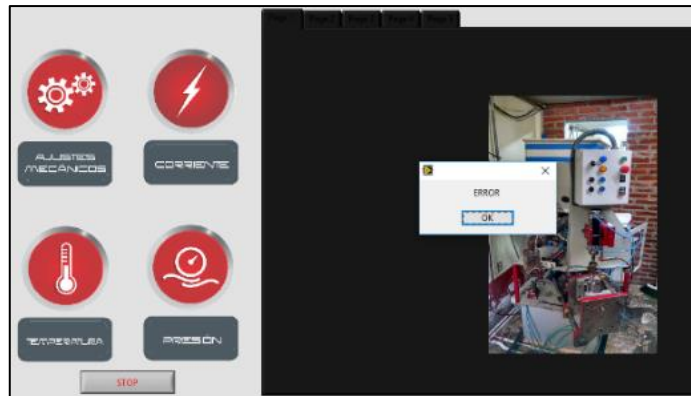


Figura 4.52. Mensaje de error.

4.17.2. INTERFAZ DE MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA.

Esta interfaz (Fig. 4.53 Fig. 4.54) tiene como objetivo adquirir las variables de temperatura del prototipo para analizarlas (el envío de la información se realiza cada minuto) o bien almacenarlas para su posterior análisis. Incluye las siguientes características:

- Monitorización de las tres zonas de calentamiento del cañón del prototipo y desplegado en pantalla de forma gráfica.
- Almacenamiento de las variables en forma de datos en una tabla en la misma interfaz para su análisis inmediato.
- Almacenamiento de los datos de trabajo en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis.
- Almacenamiento de los datos adquiridos de las variables en cualquier ubicación del equipo o medios extraíbles.
- Envío de estos datos vía correo electrónico a otros dispositivos.

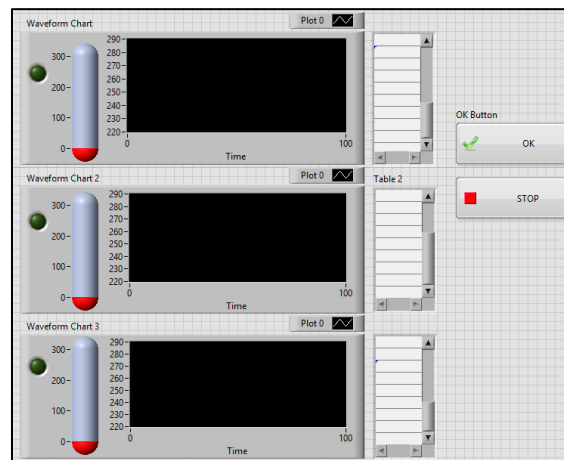


Figura 4.53. Interfaz de monitorización temperatura.

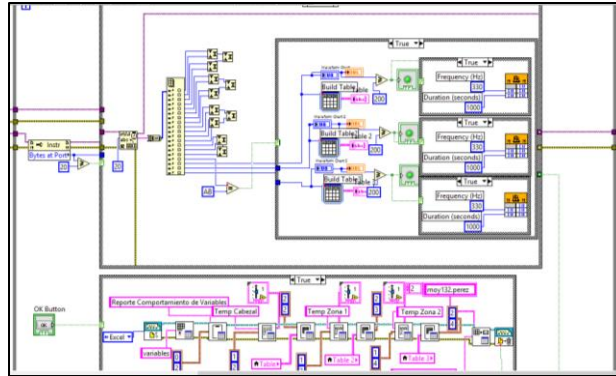


Figura 4.54. Interfaz de monitorización de temperatura diagrama de bloques.

La construcción de esta interfaz es un tanto compleja debido a la necesidad de separar los datos de cada una de las zonas. El hecho de emplear los comandos API implica que se debe de leer toda la trama de datos y separarla para poder interpretar los datos de forma correcta y así evitar algún error en la recepción o transmisión de la información.

La complejidad de esta forma de leer los datos se ve compensada con la simplificación del medio transmisión así como en la seguridad de la recepción de los datos, ya que de no recibir completa la trama de datos, esta no se leerá hasta que esta vuelva a ser transmitida en su totalidad de forma completa adecuada.

Lo anterior se logra de la siguiente manera:

- Se predefine el número de bytes que deben de llegar al buffer de entrada, si la cantidad de bytes no es exacta, no se permite que se ejecute ninguna función y esto implica que se debe de enviar nuevamente la trama de datos.
- Se predefine un identificador de trama de datos que se asigna de tal forma que permita identificar la procedencia de los datos. En este punto se debe recordar que los datos provendrán de los nodos que conforman la red de sensores inalámbricos.
- Verificación del *Checksum* esta operación permite reforzar la seguridad en la recepción y envío de datos, discrimina las tramas que contengan el número de bytes y tramas con el identificador predefinido, si la suma de verificación de datos no coincide en alguna de las partes de recepción o envío, la acción no se lleva a cabo.

4.17.3. INTERFAZ DE MONITORIZACIÓN DE PRESIÓN.

Esta interfaz tiene como objetivo adquirir la variable de presión de aire (el envío de la información se realiza cada dos minutos) (Fig. 4.55 y Fig. 4.56), incluye las siguientes características:

- a) Monitorización de la presión en la alimentación de aire del prototipo y desplegado en pantalla de forma gráfica.

- b) Almacenamiento de las variables en forma de datos en una tabla en la misma interfaz para su análisis inmediato.
- c) Almacenamiento de los datos de trabajo en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis.
- d) Almacenamiento de los datos adquiridos de las variables en cualquier ubicación del equipo, medios extraíbles.
- e) Envío de estos datos vía correo electrónico a otros dispositivos.

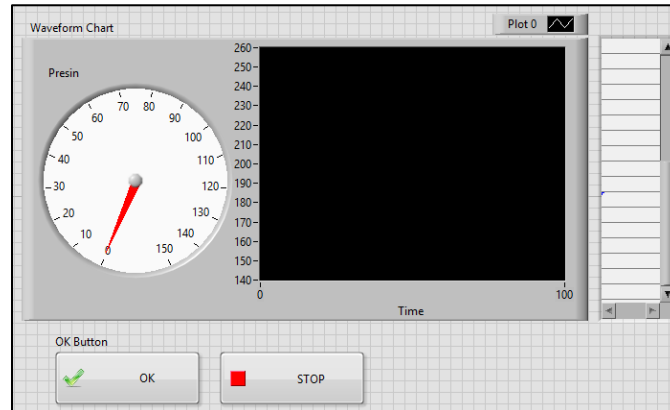


Figura 4.55. Interfaz de monitorización de presión.

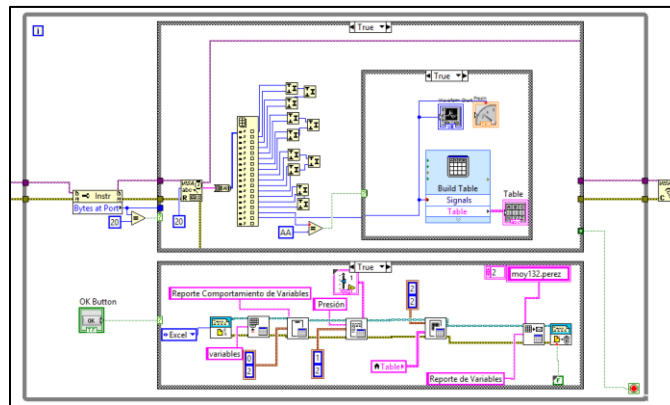


Figura 4.56. Interfaz monitorización de presión diagrama de bloques.

4.17.4. INTERFAZ DE MONITORIZACIÓN DE CORRIENTE.

Esta interfaz tiene como objetivo adquirir las variables de corriente de alimentación de cada resistencia (el envío de la información se realiza cada minuto) (Fig. 4.57 y Fig. 4.58), incluye las siguientes características:

- Monitorización de la corriente suministrada a cada una de las tres zonas de calentamiento del prototipo y desplegado en pantalla de forma gráfica.
- Almacenamiento de las variables en forma de datos en una tabla en la misma interfaz para su análisis inmediato.

- Almacenamiento de los datos de trabajo en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis.
- Almacenamiento de los datos adquiridos de las variables en cualquier ubicación del equipo, medios extraíbles.
- Envío de estos datos vía correo electrónico a otros dispositivos.



Figura 4.57. Interfaz de monitoreo corriente.

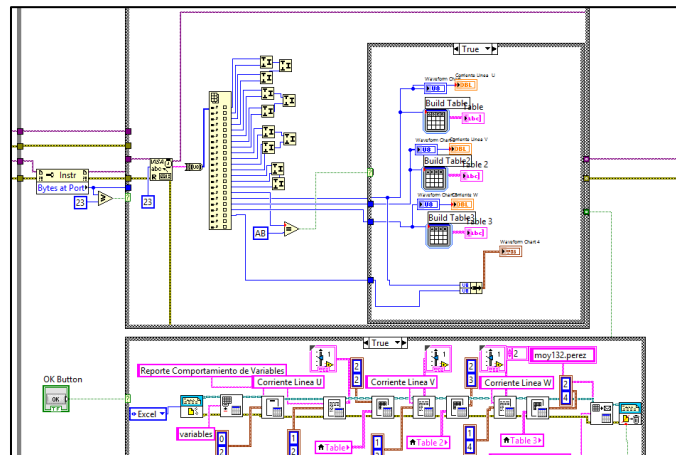


Figura 4.58. Interfaz de monitorización corriente diagrama de bloques.

4.17.5. INTERFAZ DE MONITORIZACIÓN DE VOLTAJE.

Esta interfaz (fig. 4.59 y fig. 4.60) tiene como objetivo adquirir las variables de voltaje de alimentación de prototipo real (el envío de la información se realiza cada minuto), incluye las siguientes características:

- Monitoreo del voltaje suministrado al prototipo y desplegado en pantalla de forma gráfica.
- Almacenamiento de las variables en forma de datos en una tabla en la misma interfaz para su análisis inmediato.

- Almacenamiento de los datos de trabajo en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis.
- Almacenamiento de los datos adquiridos de las variables en cualquier ubicación del equipo, medios extraíbles.
- Envío de estos datos vía correo electrónico a otros dispositivos.



Figura 4.59. Interfaz de monitorización voltaje.

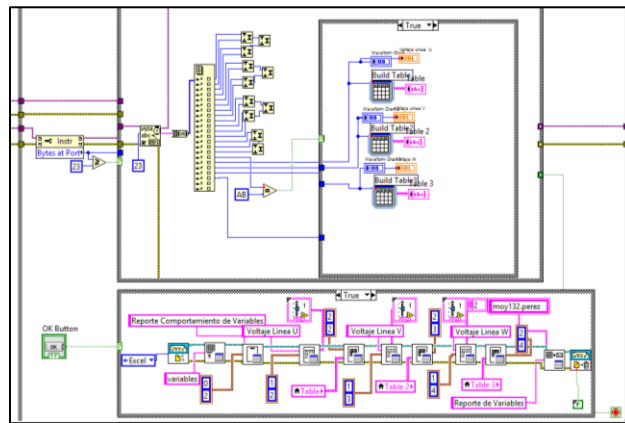


Figura 4.60. Interfaz de monitorización de voltaje diagrama de bloques.

4.17.6. INTERFAZ DE CONTROL MANUAL DEL PROTOTIPO.

Esta interfaz (Fig. 4.61 y Fig. 4.62) tiene como objetivo controlar las acciones del prototipo en modo manual (a petición del nodo Coordinador), permitiendo:

- La operación del prototipo con el mínimo esfuerzo por parte del usuario. Este modo de operación permite que el operador manipular el prototipo, si alguno de los sensores falla. De esta manera el proceso de producción se no se verá afectado por completo.
- Los ajustes para la operación en modo automático. En el caso de haberse realizado algún cambio de aditamento (molde, soplador, campana, corazón) para la producción de un producto diferente, este modo de operación permitirá realizar los ajustes para la correcta operación del prototipo.



Figura 4.61. Interfaz de control manual.

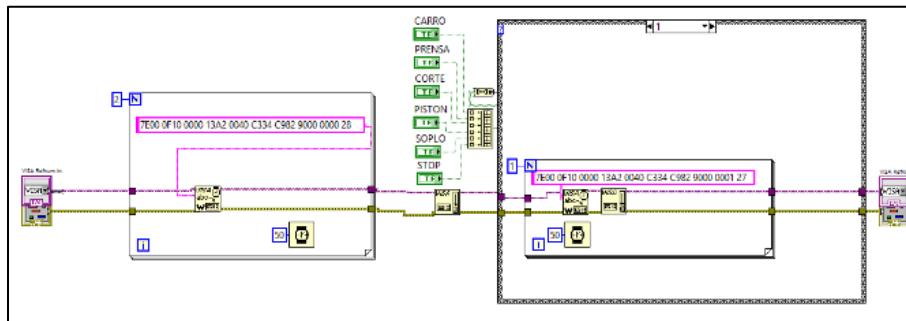


Figura 4.62. Interfaz de control manual diagrama de bloques.

4.17.7. INTERFAZ DE CONTROL INTEGRADA.

Esta interfaz tiene como objetivo agrupar a todas las interfaces descritas anteriormente incluyendo la protección por contraseña (Fig. 4.63).

La integración de todas las interfaces en una sola interfaz se realizó convirtiendo en sub VI las interfaces anteriores (Fig. 4.64).

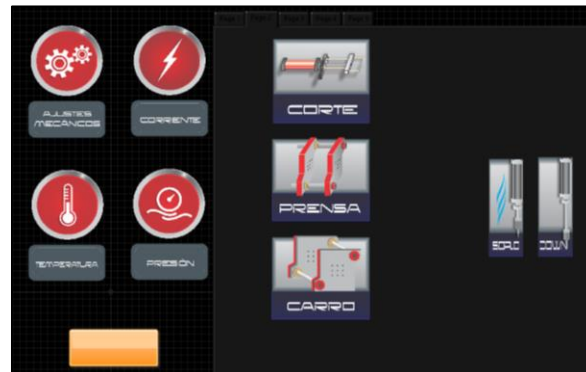


Figura 4.63. Interfaz de control Integrada.

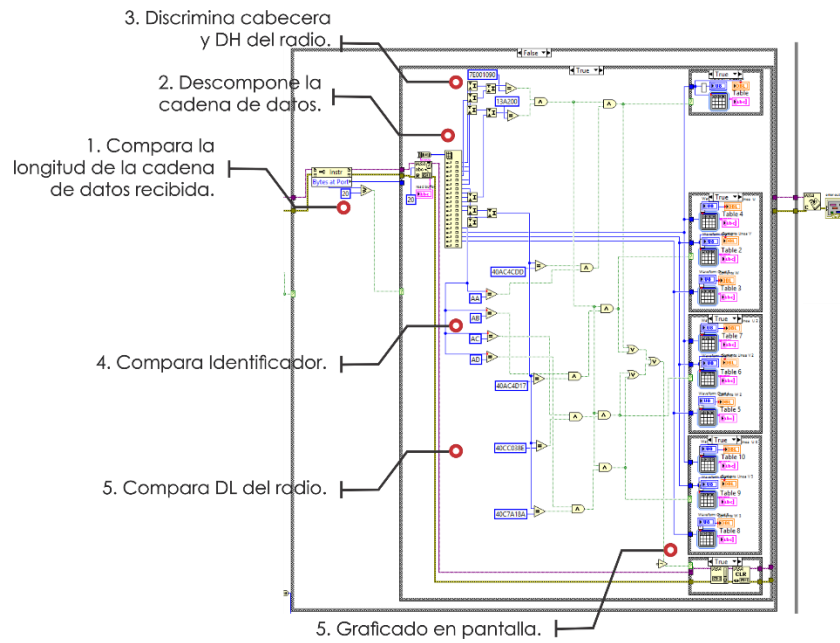


Figura 4.64. Interfaz de control integrada diagrama de bloques.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la lógica de los programas que les permite a los microcontroladores interactuar con la interfaz de control integrada (Fig. 4.65).

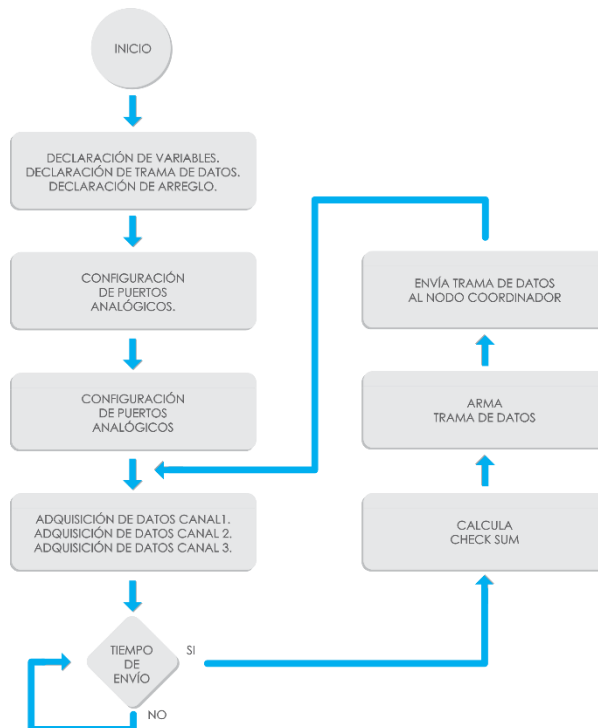


Figura 4.65. Diagrama de flujo de los programas de los microcontroladores.

Otro punto a destacar es que estas interfaces están diseñadas para poder ser operadas ya sea en un equipo de escritorio, un equipo portátil o bien un equipo dotado con pantalla táctil, que soporte la aplicación desarrollada o mediante el *Data Dash Board* de *National Instruments*.

El uso de estas interfaces por medio de un equipo portátil con pantalla táctil permite al usuario tener “libertad” para realizar otras acciones o bien, ejecutar correcciones o pruebas de funcionamiento del equipo sin la necesidad de estar al pie del prototipo en todo momento.

Una de las ventajas sobresalientes es el hecho de poder realizar la supervisión por toda la planta sin perder de vista el estado del proceso actual, lo que permite responder de manera inmediata ante cualquier circunstancia.

4.18 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.

Para obtener las señales, poder procesarlas y presentarlas por los respectivos microcontroladores de cada nodo, fue necesario acondicionarlas a niveles adecuados usando técnicas de amplificación, rectificación, linealización etc. A continuación se presentan los circuitos de acondicionamiento de señal utilizado en cada uno de los diferentes casos para cada variable.

4.18.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE CORRIENTE.

Dado que la señal de salida de voltaje del sensor SCT- 013-030 varía entre 0 VCA -1 VCA, el uso de un rectificador a través de un puente de diodos fue descartada, debido a que la caída de voltaje de un diodo es de 0.7 V, la cual es su principal desventaja ya que no son capaces de rectificar señales menores a 0.6 V.

- Rectificación: La rectificación de la señal de voltaje se realizó a través de un rectificador de precisión de media onda lineal con salida positiva, a través de un amplificador operacional (LM358), este circuito es capaz de rectificar señales de entrada de unos cuantos milivolts.
- Amplificación: La acción de amplificación se llevó a cabo a través de una simple configuración no inversora (LM358) con una ganancia variable de $3 V_{in}$ (Fig. 4.66).

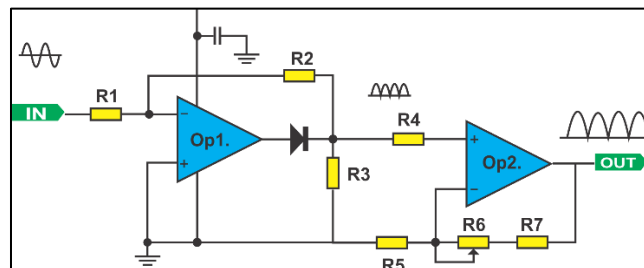


Figura 4.66. Acondicionamiento de la señal de corriente.

4.18.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE VOLTAJE.

La señal de voltaje se obtuvo de un transformador cuya salida es de 1.5 VCA.

Rectificación: La rectificación de la señal de voltaje se realizó a través de un rectificador de precisión de media onda lineal con salida positiva (Fig. 4.67), aunque la señal proveniente del transformador tiene la suficiente amplitud como para utilizar un rectificador a través de un puente de diodos, se decidió utilizar un rectificador de precisión para aprovechar el acoplamiento de impedancia que un amplificador operacional (LM358) ofrece.

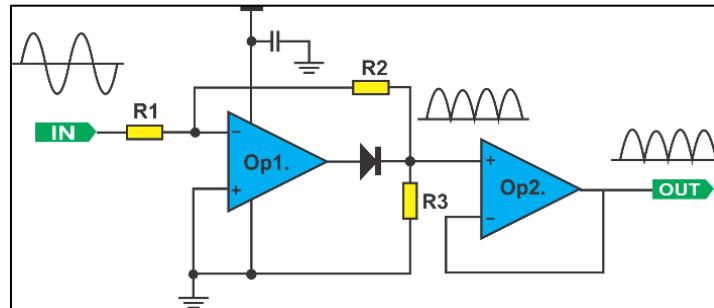


Figura 4.67. Acondicionamiento de la señal de voltaje.

4.18.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE TEMPERATURA.

La señal de temperatura fue acondicionada a través del integrado AD594 (Fig. 4.68), el cual es un amplificador de instrumentación con compensador de punta fría, combinando la referencia de punta fría con su amplificador pre calibrado se obtiene una salida lineal de 10 mV/°C haciendo fácil la adquisición de la señal de salida por un micro controlador.

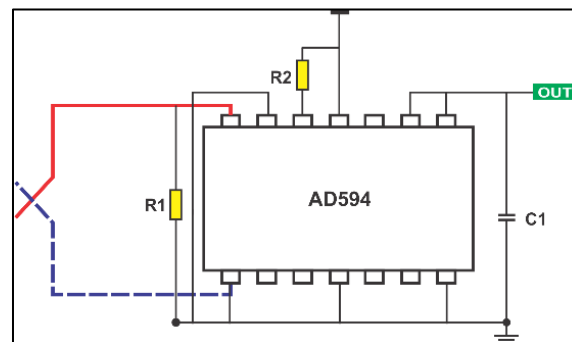


Figura 4.68. Acondicionamiento de la señal de temperatura.

4.19. DISTRIBUCIÓN o LAYOUT.

La palabra *LAYUOT* es traducida del idioma inglés como "distribución". Su objetivo principal se basa en el óptimo ordenamiento físico de los elementos (maquinaria, personal, herramientas y áreas de trabajo, etc.) de tal manera que garantice un flujo de trabajo uniforme para minimizar el consumo de la mano de obra, los movimientos innecesarios, los almacenamientos etc. Para alcanzar un determinado nivel de producción, manteniendo niveles aceptables de costos de inventarios, sueldos y gastos generales.

4.19.1. OBJETIVOS DE LA DISTRIBUCIÓN.

Se procurará realizar la mejor distribución de equipos y de áreas de trabajo para que se logre un equilibrio entre lo eficiente, económico y seguro para el personal, siguiendo los objetivos básicos para una buena distribución de una planta (BARRIA PEREZ, 2009):

- Unidad. Se pretende alcanzar la integración de todos los elementos (personal, materia prima, maquinaria, etc.) de tal manera que no haya sensación de pertenecer a unidades distintas y de tal modo que resulte en un mejor compromiso entre todas las partes.
- Circulación mínima. Implica minimizar de manera óptima los recorridos del personal y de los materiales entre las diferentes áreas para economizar sus movimientos.
- Seguridad. La seguridad en el movimiento del material, personal y de su trabajo es una exigencia en cualquier diseño de distribución de la planta, consiguiéndose un trabajo más satisfactorio para el personal y la disminución en el índice de accidentes.
- Flexibilidad. Se refiere a la necesidad de realizar el diseño de tal forma que se atiendan o se contemplen los posibles cambios que puedan ocurrir a corto y mediano plazo, de tal forma que la planta se pueda adaptar con rapidez y economía.

4.19.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.

Como se mencionó previamente, la óptima distribución para una planta es aquella que logra el equilibrio entre los factores anteriormente citados y que puede adaptarse a las necesidades y requerimientos de esta. De aquí se desprenden otros factores que tienen gran influencia en la distribución y que tienen que ver con las características de cada planta como son:

- Los materiales. El objetivo fundamental de una empresa es la obtención de bienes y servicios que requiere el mercado, la distribución de los factores productivos dependerá de las características de los materiales con los que se tenga que trabajar. Por lo tanto es de suma importancia conocer las diversas características de estos, las que influyen en los procesos de producción, en las formas de manipulación y en el almacenamiento.
- La maquinaria. Para obtener una adecuada distribución en la planta, se debe tener la información de los procesos, la maquinaria y equipos necesarios, grado de utilización y requerimientos de los mismos. En lo que se refiere a la maquinaria se tendrá que considerar su tipología y el número existente de cada clase, espacio que ocupa (largo, ancho, altura), peso, número de operadores y los riesgos para cada uno, etc.
- La mano de obra. Involucra la mano de obra directa, la mano de obra indirecta, actividades auxiliares, etc. Debe considerarse la seguridad de los empleados, junto con los factores de luminosidad, ventilación, temperatura, etc. De igual forma habrá que

estudiarse la cualificación y flexibilidad del personal requerido, así como el número de trabajadores requeridos y necesarios en cada momento.

- El movimiento. Hay que tener presente que los movimientos de material no son operaciones productivas y por lo tanto no añaden valor al producto. Debido a ello, hay que intentar que sean mínimos y que su realización se combine con otras operaciones que agreguen valor al producto, sin perder de vista la eliminación de manejos innecesarios.
- Los tiempos de espera. Uno de los objetivos a conseguir al estudiar la distribución de la planta es que la circulación de materiales sea de manera fluida, evitando así el costo que suponen las esperas.
- Los servicios auxiliares. Permiten facilitar la actividad principal que se desarrolla en la planta. Entre estos se puede encontrar aquellos relacionados con el personal (supervisión, control de calidad, vías de acceso, protección contra incendios, etc.) y los relacionados a la maquinaria (mantenimiento, distribución de líneas auxiliares, etc.).
- El edificio. La infraestructura del edificio siempre es un factor fundamental en el diseño del *LAYOUT* (número de pisos, forma de la planta, localización de puertas y ventanas, resistencia de los pisos, altura de pisos, etc.) y lo es más, si esta ya existe al momento de proyectar la nueva distribución, lo cual se presenta como una limitación a la propia distribución.
- Los cambios. Uno de los objetivos que se persiguen con la distribución de la planta, es su flexibilidad, por lo tanto, es imperativo prever las variaciones futuras, para ello habrá que comenzar por la identificación de posibles cambios y su magnitud, buscando una distribución capaz de adaptarse dentro de unos límites establecidos.

4.19.3. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.

La forma de organización del proceso productivo resulta determinante para la elección del tipo de distribución de la planta. En función de las características antes mencionadas suelen identificarse tres formas básicas de distribución de la planta:

- **ORIENTADAS AL PRODUCTO.** La distribución por producto en la planta es adoptada cuando la producción está organizada de forma continua o repetitiva, siendo el caso de las cadenas de montaje (electrodomésticos, vehículos de tracción mecánica, cadenas de lavado de vehículos, etc.), la fabricación del producto está colocado de acuerdo con la secuencia de operaciones y se trata de colocar el producto de acuerdo a la secuencia de operaciones. La distribución por producto se utiliza cuando se tiene que elaborar gran cantidad de piezas

- **ORIENTADAS AL PROCESO.** Las operaciones de un mismo tipo se realizan dentro de un mismo sector. Se pueden manejar en forma simultánea una amplia variedad de productos y servicios. Resulta más eficiente cuando se elaboran productos con distintos requerimientos o cuando se manejan clientes o consumidores con distintas necesidades.
- **POSICIÓN FIJA.** En el caso de la distribución fija los hombres y la maquinaria confluyen hacia él, este tipo de distribución es apropiada cuando no es posible mover el producto debido su peso, tamaño, forma, volumen o alguna característica particular que lo impida.

Basado en los tipos de distribución de la planta y tomando en consideración los factores que afectan la distribución, se decidió seleccionar la distribución por proceso al ser la que mejor resuelve la características de movilidad y la que mejor se adapta al proceso de manufactura en cuestión.

En la Figura 4.69 se puede observar la distribución anterior de los elementos. Es necesario mencionar que esta "distribución" se adaptó según las necesidades de crecimiento de la empresa, siendo este motivo en conjunto con la infraestructura del edificio los que generaron problemas de movilidad y un mayor desplazamiento tanto de las materias primas como del producto terminado, ocasionando congestiones debido a la reducción de las áreas destinadas a la circulación del personal.

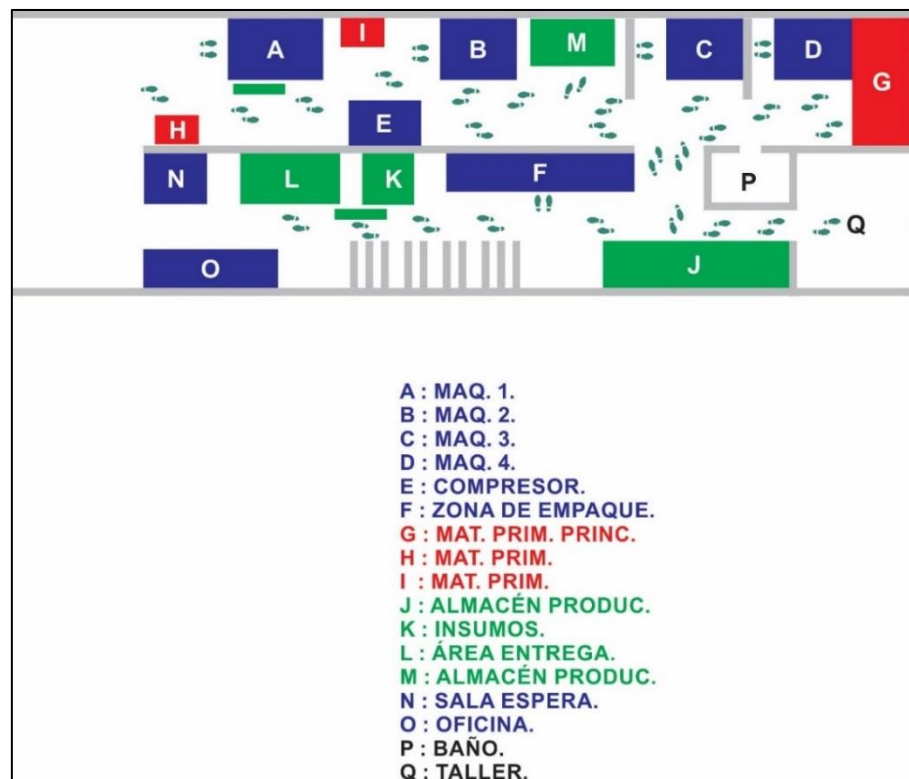


Figura 4.69. LAYOUT Anterior.

Una vez seleccionada la distribución que más se adaptara a las necesidades de la planta (Fig. 4.70), se realizó el plano de ésta, procurando en todo momento cumplir con los objetivos de distribución y con los factores que influyen en la distribución de la planta, con la finalidad de mejorar la eficiencia de:

- Los recorridos de la materia prima y del producto terminado.
- La congestión en las áreas de movilidad del personal.
- Lugares de almacenamiento para tener un mejor control de inventarios.

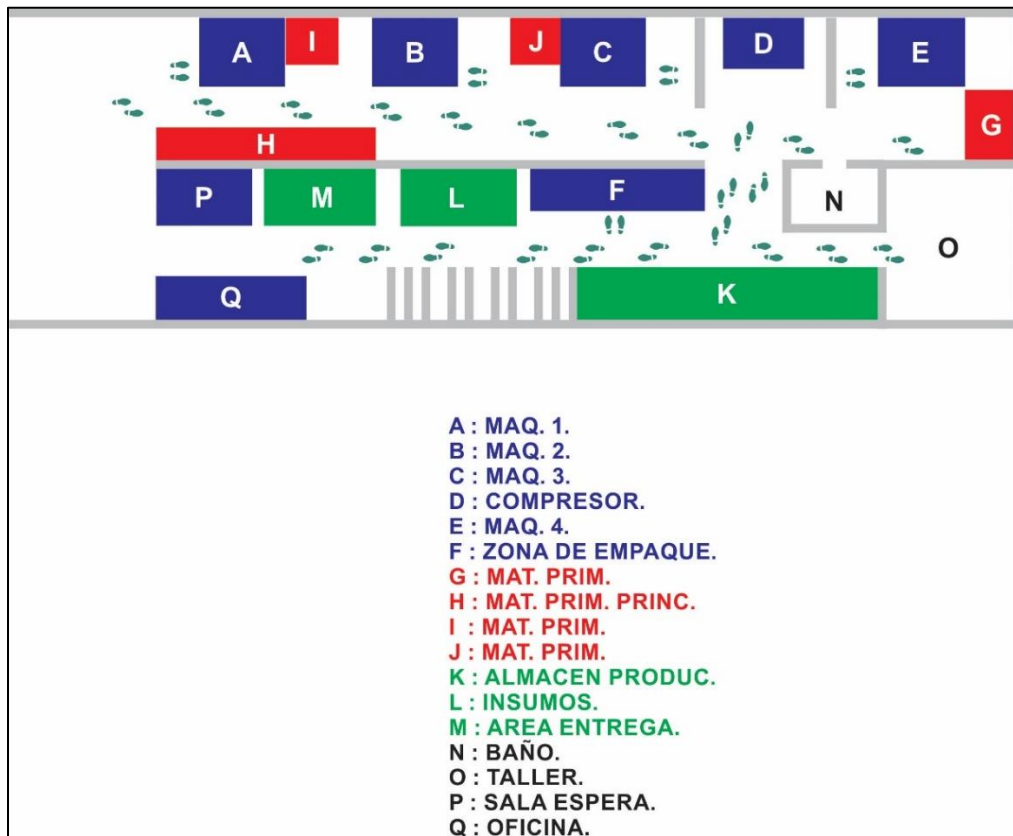


Figura 4.70. LAYOUT Propuesto.

Objetivos Propuestos

- Disminución de la congestión
- Reducción de áreas ocupadas de forma innecesaria.
- Disminución de retrasos de tiempo de fabricación y tareas complementarias.
- Disminución de riesgo para el material o su calidad por contaminantes.
- Mejor utilización de mano de obra, de maquinaria y espacios.

V. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

La propuesta inicial fue diseñar un prototipo que permitiera automatizar un proceso de manufactura incrementando la productividad, el margen de ganancia y la calidad del producto, al disminuir costos de producción, reduciendo tiempos muertos y el esfuerzo físico del operador (Fig. 5.1), promoviendo el uso de resinas plásticas recicladas (Fig. 5.2).



Figura 5.1. Características del prototipo propuesto.



Figura 5.2. Resinas plásticas recicladas.

5.1. ANÁLISIS DE TIEMPOS.

Existen ciertos criterios y factores a considerar al momento de diseñar un proceso de trabajo para obtener el mayor desempeño laboral, en este caso encontramos dos criterios que nos permiten realizar la comparación entre el prototipo automático y una maquina de operación manual (Nievel, Andris, (2005):

- Relación Productividad - Tiempo.
- Relación Fuerza - Velocidad.

5.1.1. RELACIÓN FUERZA – VELOCIDAD.

Esta relación permite determinar el porcentaje de velocidad en que se realizarán los diferentes movimientos del proceso, dependiendo del porcentaje de la fuerza aplicada a cada uno de ellos. La velocidad de los movimientos no solo se ve afectada por la intensidad de fuerza, también existen diferentes factores que dependen del operador como: la edad, el género, la resistencia, el tipo de movimiento, etc (Fig. 5.3).

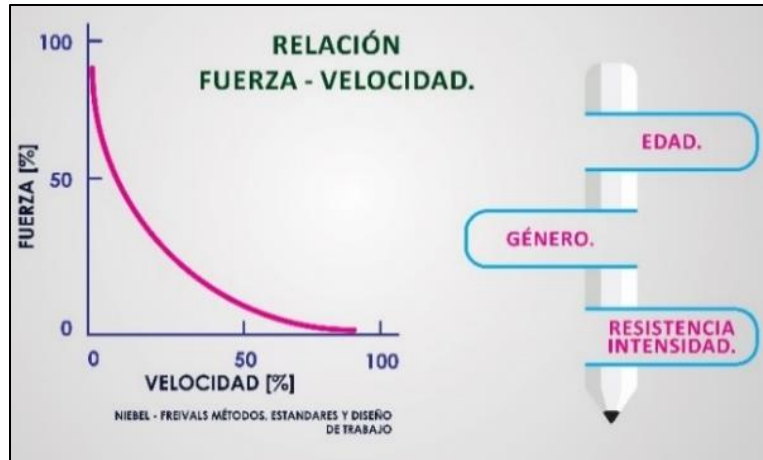


Figura 5.3. Relación Fuerza – Velocidad.

5.1.2. RELACIÓN PRODUCTIVIDAD – TIEMPO.

Esta relación permite determinar el descenso de la productividad a medida que avanza la jornada laboral (8hrs). Existen algunas circunstancias que promueven el descenso de la productividad como pueden ser: factores personales, fatiga básica, posición normal, uso de fuerza muscular, condiciones laborales, entre otras.

Cada proceso tiene sus propias consideraciones sobre el descenso de productividad en su campo de trabajo. En particular, se tienen estimaciones obtenidas por fabricantes dedicados a la manufactura del plástico que reportan hasta un 20% (Fig. 5.4) en este tipo de actividades (proceso manual de manufactura).

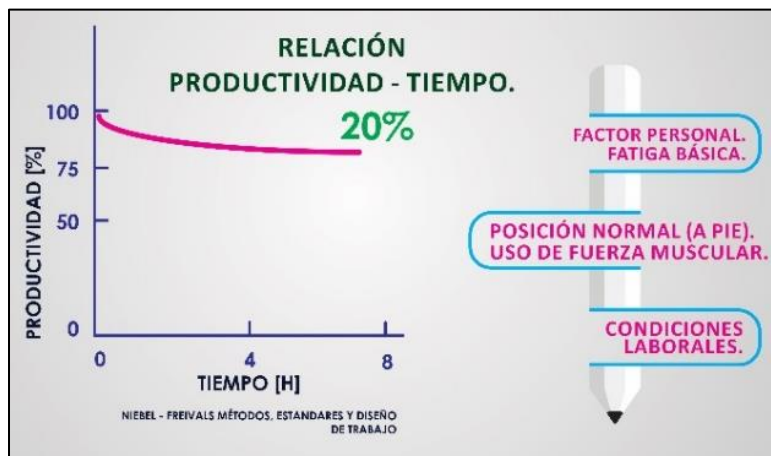


Figura 5.4. Productividad – Tiempo.

5.2. TIEMPOS DEL CICLO MANUAL.

El proceso manual está compuesto por cinco movimientos principales: cierre de prensa, corte de parison, desplazamiento de carro y accionamiento del pistón de sople – activación de aire. Los tiempos de ejecución dependerán del usuario (para este análisis se tomaron los tiempos de personal capacitado con más de quince años de experiencia en el ramo). A continuación se presenta el diagrama de flujo (Fig. 5.5) y los tiempos del proceso en la Tabla 5.1.

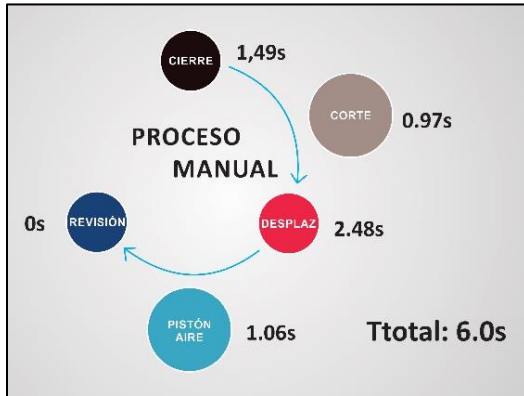


Figura 5.5. Proceso manual.

Tabla 5.1. Movimientos principales del proceso manual.

Movimientos Principales	Tiempo [s]
Cierre	1,49
Corte	0,97
Desplazamiento Carro	2,48
Pistón - Aire	1,06
Revisión Calidad	0,0

5.3. TIEMPOS DEL CICLO AUTOMÁTICO PROTOTIPO I.

El proceso automático está basado en los mismos cinco movimientos básicos que el proceso manual, sin embargo, los tiempos de ejecución dependerán de la velocidad de los actuadores seleccionados y del acondicionamiento de estos. En las Figuras 5.6 y 5.7 se presentan los diagramas de flujo del prototipo I y el prototipo II respectivamente, y los tiempos de los procesos se muestran en la Tablas 5.2 y 5.3.

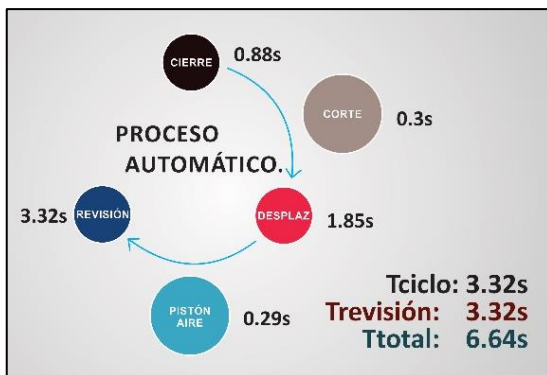


Figura 5.6. Proceso automático I.

Tabla 5.2. Movimientos principales del proceso automático prototipo I.

Movimientos Principales	Tiempo [s]
Cierre	0,88
Corte	0,3
Desplazamiento Carro	1,85
Pistón - Aire	0,29
Revisión Calidad	3,32

5.4. TIEMPOS DEL CICLO AUTOMÁTICO PROTOTIPO II.

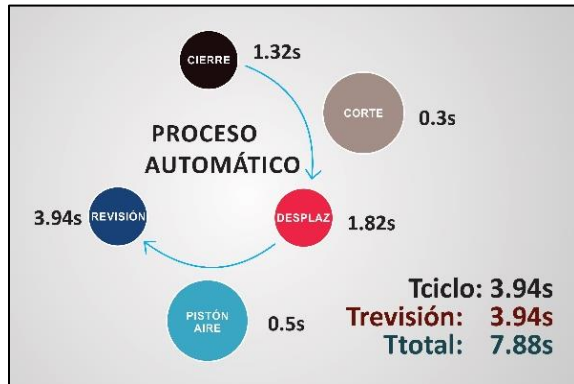


Figura 5.7. Proceso automático II.

Tabla 5.3. Movimientos principales del proceso automático prototipo II.

Movimientos Principales	Tiempo [s]
Cierre	1,32
Corte	0.3
Desplazamiento Carro	1.82
Pistón - Aire	0.5
Revisión Calidad	3.94

Asumiendo que la velocidad del proceso manual, es constante (sin considerar la relación productividad -tiempo) y sin incluir el tiempo de revisión de calidad del producto, se obtiene un ciclo cada 6s, es decir, 10 ciclos/min. lo que implica un número de 600 ciclos/ h (proceso manual).

Es importante mencionar que el número de ciclos completos no implica el mismo número de piezas producidas, ya que estos datos solo permiten estimar las diferencias entre las velocidades de cada proceso.

El prototipo I tiene un tiempo de ciclo de 3.32s, es decir, 18 ciclos/min, lo que implica un número de 1084 ciclos/h.

Por otro lado, el prototipo II tiene un tiempo de ciclo de 3.94s, es decir, 15.22 ciclos/min, lo que implica un número de 913 ciclos/h (Fig. 5.8).

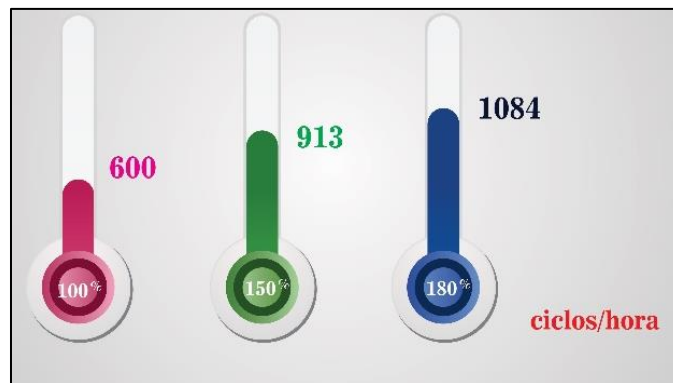


Figura 5.8. Número de ciclos/h.

Calculando la eficiencia con referencia al proceso manual (de forma simplificada):

$$\text{Eficiencia [\%]} = (\text{Producción Obtenida} / \text{Producción Máxima Posible}) \times 100.$$

En este caso se sustituyó la producción por el número de ciclos, obteniéndose:

Eficiencia[%] = (Número de ciclos Completos/ Número de ciclos Máx. Posibles).

Eficiencia manual[%] = (600/600) x 100 = 100%.

Eficiencia prototipo I [%] = (1084/600) x 100 = 180%.

Eficiencia prototipo II [%] = (913/600) x 100 = 150%.

Aparentemente (Tabla 5.4) el prototipo I resulta ser el más eficiente. Sin embargo, el prototipo II tiene la posibilidad de soportar moldes de hasta dos cavidades con lo que puede duplicar su producción. No obstante, el análisis está basado en el número de ciclos. El resultado obtenido es relevante porque permite determinar si la automatización (actuadores, partes mecánicas, tiempos, etc.) puede superar los tiempos de ejecución de un operador humano.

Tabla 5.4. Eficiencia aparente de los procesos.

Proceso.	Eficiencia.
MANUAL	100 %
PROTOTIPO I	180%
PROTOTIPO II	150%

Un punto importante en este trabajo es la disminución del esfuerzo físico por parte del operador de la maquinaria (Tabla 5.5). Mientras que en el proceso manual el operador es el encargado de hacer funcionar el proceso al 100%. Con la implementación de cualquiera de los prototipos, el operador ya no será el encargado del proceso productivo: ahora solo se encargará del correcto acabado y verificará la calidad del producto.

Por otro lado, la posición normal del operador durante la jornada laboral pasa a estar de pie a estar sentado, es decir, sus condiciones laborales mejoran, involucrándolos solo el 30% en el proceso de producción.

Tabla 5.5. Esfuerzo físico.

Proceso.	Esfuerzo Físico.
MANUAL	100 %
PROTOTIPO I	30%
PROTOTIPO II	30%

Otro punto propuesto al inicio de este trabajo fue incrementar la calidad de los productos producidos. En el proceso de manufactura manual el tiempo entre cada ciclo no le permite al operador revisar la calidad del mismo producto (paredes delgadas, perforaciones diminutas, pequeñas deformaciones, acabado deficiente, etc.), esto se debe a que el operador realiza todo el proceso de fabricación. Al automatizar el proceso de fabricación, el operador dispone del tiempo entre cada ciclo, en el cual el operario puede dar el acabado final y revisar la calidad del producto. La Tabla 5.6 muestra los tiempos destinados a la revisión de calidad en cada proceso.

Tabla 5.6. Tiempo de revisión de calidad del producto.

Proceso	Tiempo [s]
MANUAL	0.0
PROTOTIPO I	3.32
PROTOTIPO II	3,94

Tomando en cuenta las relaciones de Productividad – Tiempo y Fuerza - Velocidad, se tiene que durante el proceso de operación manual, se presentan diferentes factores que promoverán la disminución de los productos terminados. En este caso particular se detectaron los siguientes (Tabla 5.7):

Tabla 5.7. Factores que disminuyen la productividad.

Por Proceso	Por Factor humano
Cambio de moldes	Fatiga o uso de fuerza muscular.
Ajustes mecánicos: Cambio de poleas. Cambio de bandas. Ajuste de distancias entre centros del molde, soplador y carro de desplazamiento. Cambio de campana y corazón (pzas mecánicas para obtener el espesor específico del producto). Ajuste de refrentador (mecanismo para dar el terminado al producto).	Enfermedades o lesiones.
Ajustes de temperatura	Factores personales.
Pruebas de operación (mecanismo).	Necesidades básicas (comida, agua, necesidades físicas).
Pruebas de trabajo (características del producto).	Errores (falla de en los ajustes mecánicos): Ajuste de velocidad. Ajuste de peso del producto. Ajuste de refrentador.
Fallas mecánicas	Ausencia laboral.
Condiciones laborales	Bajo desempeño.
Productos defectuosos.	Productos defectuosos.
Desperdicio.	Desperdicio.
Alimentar de materia prima a la maquinaria.	Alimentar de materia prima a la maquinaria.

Los factores que afectan la disminución de la productividad no son solo humanos, también son derivados del proceso productivo como se muestra en la tabla anterior. Para este caso en particular se realizó un muestreo aleatorio de dos procesos manuales diferentes con el propósito de comprobar el porcentaje de disminución de productividad a lo largo de una semana, obteniéndose los resultados de la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Disminución de productividad proceso manual [%] (considerando solo factores humanos).

Proceso Manual	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Máquina I	21%	15%	20%	19%	19%	15%
Máquina II	19%	18%	18%	15%	20%	17%
Promedio diario	20%	16.5%	19%	17%	19.5%	16%
Promedio Semanal	18%					

Debido al bajo nivel de muestreo de los datos recolectados, se realizó el promedio por hora para obtener un promedio diario (8hrs) de ambos procesos y finalmente el promedio semanal. De lo anterior se calculó la disminución de productividad para el proceso manual.

El valor de la eficiencia del proceso manual calculada en este trabajo es del 82%, cercano los valores esperados al inicio de este capítulo (80%). Por otro lado, según Matemáticas Empresariales. (2013), se conoce que con normalidad, en grupos bien dirigidos la eficiencia alcanza un 85%.

Al mismo tiempo, en *Matemáticas Empresariales* (2013) también hace mención de ciertos inconvenientes productivos del proceso que no tienen que ver con el rendimiento del personal, sino a otros factores que tienen su impacto directo y deben ser considerados al establecer la capacidad real de producción:

Por lo tanto, la capacidad real de producción será:

Capacidad real de producción = Número de piezas x eficiencia calculada x factor de merma inherente al proceso.

Donde el factor de merma inherente al proceso (factores que disminuyen la productividad por proceso) es de 0.88, este es propio para cada proceso y para cada empresa. En el caso de no calcular la eficiencia del proceso por parte del operador de la maquinaria se propone un factor de 0.85.

Para nuestro caso particular se tiene que:

Capacidad de producción manual (número de ciclos)= $(600) \times (0.82) \times (0.88) = 432$.

Capacidad de producción prototipo I (número de ciclos)= $(1084) \times (0.88) = 953$.

Capacidad de producción prototipo II (número de ciclos)= $(913) \times (0.88) = 803$.

En este punto se podría pensar que la eficiencia del proceso manual decrete al contrario de los procesos automatizados; sin embargo, (Piedrafita Moreno, 2004) menciona que la fatiga no es homogénea en ningún sentido, es decir, tiene razones tanto físicas como psicológicas y que sea física o mental, los resultados de la fatiga son similares y se experimenta una disminución en la voluntad para trabajar, por otro lado, si el operador disminuye su productividad, los prototipos seguirán obteniendo los mismos ciclos por hora, los factores de eficiencia se emplean para considerar el peor de los escenarios para los prototipos automatizados.

Por otra parte, el prototipo I tiene un factor del 20% de merma adicional debido a las oscilaciones en la presión de aire que alimenta a los actuadores neumáticos, lo que impide que el proceso sea del todo continuo. Mientras que para el prototipo II se tiene un factor del 15% en moldes de una sola cavidad y un factor del 25% en moldes de dos cavidades por la misma situación. Añadiendo estos factores para obtener las capacidades de producción de los prototipos se obtiene:

Capacidad de producción prototipo I (número de ciclos) = $(1084) \times (0.82) \times (0.88) \times (0.80) = 625$.

Capacidad de producción prototipo II ((número de ciclos a una cavidad) = $(913) \times (0.82) \times (0.88) \times (0.75) = 559$.

Al calcular las eficiencias utilizando el número máximo de ciclos calculados para el proceso manual se tiene que:

Eficiencia manual [%] = $(432/432) \times 100 = 100\%$

Eficiencia prototipo I [%] = $(625/432) \times 100 = 144\%$

Eficiencia prototipo II (una sola cavidad) [%] = $(559/432) \times 100 = 129\%$

De los resultados anteriores se puede observar que ambos prototipos superan la eficiencia del proceso manual. En el caso del prototipo II nuevamente se hace la mención que su eficiencia está calculada para un molde de una cavidad. La tabla 5.9 muestra la eficiencia calculada (por número de ciclos) de los procesos de producción.

Tabla 5.9. Eficiencia calculada de los procesos.

Proceso.	Eficiencia.
MANUAL	100 %
PROTOTIPO I	144%
PROTOTIPO II	129%

De la Tabla 5.9 se puede concluir que el proceso de manufactura automatizado tiene un índice de eficiencia mayor que el proceso de manufactura manual, aun proyectando el peor de los casos, este resultado es de gran relevancia porque demuestra que la automatización de este proceso en particular es viable.

Con este resultado se alcanzaron los dos primeros objetivos propuestos al inicio de este trabajo:

- Aumento de productividad.
- Mejorar la calidad del producto terminado (a través del proceso automático se cuenta con el tiempo suficiente para realizar una inspección física detallada).

5.5. MEJORA DE LA EFICIENCIA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO.

Las PyMES representan un mercado complejo debido a los bajos recursos económicos con los que cuentan, pero con grandes oportunidades debido a las opciones de financiamiento enfocado a la sustitución de equipos con un retorno de inversión muy corto (menor a 2 años).

Existen algunas áreas específicas donde las PyMES tienen la oportunidad de implementar proyectos para incrementar la eficiencia energética, algunas de estas son:

- Aire comprimido.
- Ventilación
- Sistemas de bombeo de agua.
- Sistemas de iluminación.
- Sistemas de calefacción.
- Motores eléctricos.

5.5.1 SOLUCIONES CONVENCIONALES PARA EL CONTROL DE MOTORES.

Como ya se mencionó la mayor parte de la energía eléctrica demandada en la industria (hasta 60%) es consumida por motores eléctricos, es por ello que uno de los puntos más relevantes para la industria es tratar de optimizar el proceso completo.

Tradicionalmente, los motores de bombas, compresores, maquinaria y ventiladores funcionan a ciertas velocidades fijas a través de:

- Dispositivos mecánicos como reguladores (cajas de velocidades).
- Acoplamientos (reductores, poleas, etc.).

Sin embargo, el motor sigue funcionando de manera eficiente a su velocidad máxima, y en consecuencia, los costos de energía permanecen constantemente altos aunque el flujo de energía requerida varía a lo largo del proceso.

5.5.1 REDUCCIÓN DE COSTOS MEDIANTE EL USO DE VARIADORES DE FRECUENCIA.

En la industria, mejorar la eficiencia de los motores usados en los procesos se traduce en un ahorro de energía eléctrica y a su vez en la disminución del costo generado por su uso. Una de las alternativas para mejorar la eficiencia del consumo eléctrico de los motores son los variadores de velocidad o de frecuencia.

Algunos de los beneficios obtenidos por el uso de variadores de frecuencia se citan a continuación:

- Utilizan solo la energía requerida, lo que reduce significativamente los costos de consumo eléctrico (Fig. 5.9).
- El arranque y el control suave da como resultado un menor esfuerzo en el motor y el equipo accionado, lo que evita la demanda de picos de corriente (de 2 y hasta 8 veces su corriente nominal) debido a su alto par de arranque.

- Un menor esfuerzo en el motor, en el equipo mecánico y en la alimentación eléctrica permite ahorrar en costos de mantenimiento por reposición de sellos, acoplamientos, ductos, bandas, etc.
- Flexibilidad de una máquina.
- Corrección del factor de potencia del motor.
- Eliminación de energía reactiva.

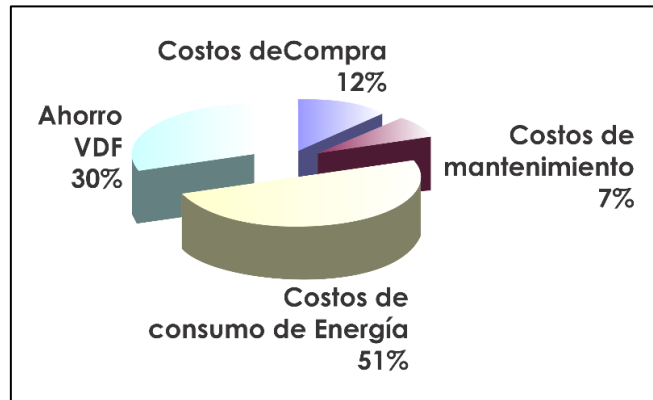


Figura 5.9. Potencial de ahorro de energía.

Como se describió en la Sección 3.7.1 (motor eléctrico) para este particular se cuenta con un motor cuya potencia eléctrica es de 3HP para mover el husillo de extrusión. El consumo de energía de esta carga (motor trifásico ideal de 3HP) por hora es de 2.238 kW.

En la Tabla 5.10 se muestran los resultados de las mediciones de corriente y voltaje adquiridas a la salida de un variador de frecuencia Power Flex 4 de Allen Bradley a diferentes frecuencias de operación conectado a un motor de 3HP (Fig. 5.10).



Figura 5.10. Conexión variador de frecuencia Power Flex.

Tabla 5.10. Velocidades y energía consumida.

Velocidad [RPM]	Frecuencia de Operación [Hz]	Corriente [A]	Voltaje [V]	Energía /fase [kW]	Energía Total [kW]
1800	60	2.19	230	872.43	2.61
900	30	2.09	118	427.15	1.28
600	20	2.09	84	304.07	0.912
450	15	2.13	67	247.18	0.741

Las frecuencias de operación de la Tabla 5.10 (60hz, 30hz, 20hz, 15hz) fueron obtenidas a partir de los requerimientos de los productos que pueden ser manufacturados (10ml hasta 250ml) en cualquiera de los prototipos diseñados.

Se puede apreciar que a diferentes frecuencias de operación se tienen diferentes consumos de energía.

La Tabla 5.11 muestra los costos por cargo de energía de CFE desde el mes de diciembre del 2015 al mes de noviembre del 2016, por rangos de tarifas establecidas según el consumo de potencia así como los costos adicionales por kWh.

Tabla 5.11. Costos CFE por cargo de energía eléctrica 2016 [r].

Tarifa 2													
CARGO POR ENERGÍA (\$/KWH)													
Rango	Dic./2015	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1 - 50	1.953	1.981	2.051	2.021	2.111	2.004	2.041	2.158	2.213	2.307	2.310	2.386	
51 - 100	2.357	2.390	2.474	2.437	2.546	2.417	2.461	2.602	2.669	2.782	2.785	2.877	
Adic.	2.597	2.634	2.727	2.687	2.807	2.664	2.713	2.868	2.942	3.066	3.069	3.171	

Basado en las tablas anteriores se obtuvieron los costos derivados del consumo de energía de un motor de 3HP con los precios calculados del mes de noviembre 2016 sin el uso de un variador de frecuencia:

Energía consumida: 2.238 kWh.

Potencia Bimestral consumida (8h x 60 días): 1074.24 kWh.

De acuerdo con 5.11, los primeros 50 kWh tienen un precio de \$2.386, los siguientes 50 kWh tienen un precio de \$2.877 y los kWh restantes tienen un precio de \$3.171. Los valores de consumo se encuentran expresados en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Costos de energía consumida de un motor de 3HP.

Tarifa	Rango 1 - 50	Rango 51 - 100	Adicional	Total
\$ 2.386	\$119.3			
\$ 2.877		\$143.85		
\$ 3.171			\$3089.31	
				\$3352.46

La Tabla 5.12 permite conocer el gasto económico que representa un motor de 3HP conectado durante 8hrs diarias, los siete días de la semana por dos meses. En el proceso de manufactura sin variadores de frecuencia, los cambios de velocidad para los diferentes productos, se hacen a través de cajas reductoras de velocidad y mediante poleas de diferentes diámetros, sin embargo, el consumo de energía y su costo, siempre será el mismo.

Con los valores de consumo de energía de la Tabla 5.10 se realizó el mismo análisis de los costos obteniendo los resultados de la Tabla 5.13 presentada a continuación:

Tabla 5.13. Costos de energía consumida de un motor de 3HP conectado a un variador de velocidad.

Velocidad [RPM]	Frec. Operación [Hz]	Energía [kWh]	Rango 1–50 \$/kWh (\$2.386)	Rango 51-100 \$/kWh (\$2.877)	Adicional \$/kWh (\$3.171)	Total \$/kWh
1800	60	2.61	\$119.3	\$143.85	\$3655.53	\$3918.68
900	30	1.28	\$119.3	\$143.85	\$1631.16	\$1894.31
600	20	0.912	\$119.3	\$143.85	\$1071.03	\$1334.18
450	15	0.741	\$119.3	\$143.85	\$810.76	\$1073.91

Los resultados de la Tabla 5.13 muestran que al disminuir la frecuencia de operación, el consumo en kWh y el costo económico decrecen de manera considerable.

En el proceso de manufactura actual, la variación de velocidad se realiza de manera recurrente según el tipo de producto y los niveles de fluidez de la materia prima utilizada durante el proceso de fabricación. La velocidad oscila todo el tiempo y se trata de mantener estable mientras el producto sea el mismo, sin embargo, la fluidez del material puede variar incluso si este pertenece a un mismo lote.

Durante un bimestre se pueden manufacturar diferentes productos en la misma máquina, por lo tanto, las velocidades requeridas también serán diferentes. Con el método tradicional para variar la velocidad se intercambiaban poleas de diferentes diámetros, lo que implican tiempos muertos y una deficiente precisión de la velocidad requerida por el producto, ocasionando desperdicios de materia prima.

Con la finalidad de tener un cálculo aproximado de los costos derivados de los consumos de energía eléctrica provocados por el uso de un motor de 3HP, se realizó un promedio entre las velocidades más empleadas en el proceso. Cabe mencionar que la velocidad a 1800 RPM a una frecuencia a 60 Hz no se requiere, sin embargo, se toma en cuenta para incluir el peor de los casos.

Promedio de los costos de energía consumida de la Tabla 5.13 = $(\$3918.68 + \$1894.31 + \$1334.18 + \$1073.91) / 4 = \$2,055.27$, es decir, se logra una reducción del costo de energía eléctrica de \$1027.63 mensuales.

Un variador de velocidad como el usado en este trabajo (Power Flex 4 de Allen Bradley), tiene un costo de \$3480.00 M.N. lo que implica, que con el ahorro mensual obtenido, el retorno de la inversión se alcanza aproximadamente en 3.5 meses de operación.

5.6. ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO CONTROL ON/OFF Y PID EN UNA RESISTENCIA CALEFACTORA.

En la Sección 3.4.2 y 3.4.3 se mencionaron las características de mayor relevancia de un controlador ON/OFF y de un controlador PID, las cuales permitieron seleccionar el dispositivo con las mejores prestaciones para el control del proceso.

En esta sección se realizó la comparación entre ambos controladores (Fig. 5.11), analizando el potencial ahorro de energía que presenta el uso de estos, empleando el análisis y los resultados del trabajo de investigación de (Cubides, Yamith 2013) "*Análisis de eficiencia energética utilizando control on-off y PID en una resistencia calefactora*" como base para la comprobación de resultados.



Figura 5.11. PID vs ON/OFF.

5.6.1 CONTROLADOR ON/OFF.

Utilizando una resistencia calefactora (Fig. 5.12) como planta, se utilizó un controlador ON/OFF como medio de control.



Figura 5.12. Resistencia Calefactora.

Para este caso se estableció una temperatura de referencia de 120 °C y se incorporó un ventilador que simulara una carga para la resistencia. Los ensayos se realizaron por un periodo de una hora en la que se registraron el consumo de energía eléctrica y la temperatura.

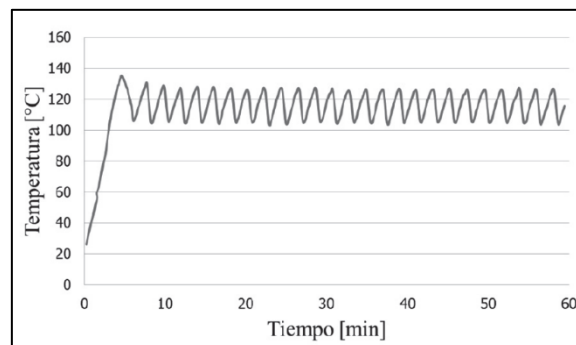


Figura 5.13. Curva de temperatura control ON/OFF [19].

La Figura 5.13 muestra el comportamiento de temperatura del control ON/OFF. El cual oscila en +/- 12 °C.

El consumo de energía eléctrica de la resistencia calefactora con el sistema de control ON/OFF fue de 1.18 kWh.

5.6.2 CONTROLADOR PID.

Utilizando la misma resistencia calefactora de la Fig. 5.12 como planta, se utilizó un controlador PID como medio de control.

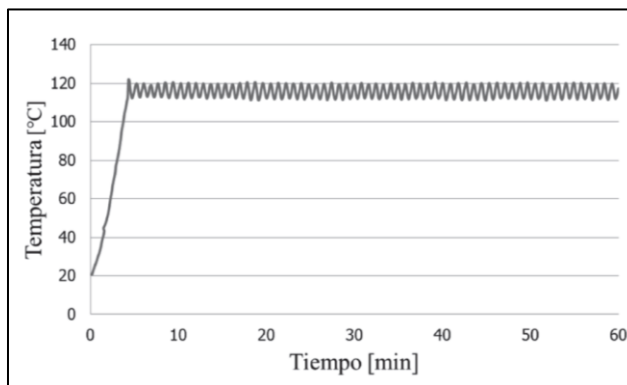


Figura 5.14. Curvas de temperatura control PID [19].

A diferencia del controlador ON/OFF, el control PID presenta oscilaciones de menor amplitud (Fig. 5.14). Las oscilaciones que se observan se debieron a que el controlador tiene definido por defecto en modo manual una histéresis del +/- 2%.

Tabla 5.14. Consumo de energía eléctrica de diferentes controladores PID [19].

Modo de control	Energía [kW·h]
Phase	0,92
Cyclo	0,93
Stand	0,95

Del resultado de consumo de energía eléctrica del control ON/OFF y de los resultados mostrados en la Tabla 5.14, se muestra que el control ON/OFF tiene un mayor consumo de energía de hasta un 26.42% en promedio que los modos de control PID.

Basado en los resultados anteriores se obtuvieron los costos derivados del consumo de energía de una resistencia calefactora con los precios calculados del mes de noviembre 2016 (Tabla 5.15) realizando la comparación entre un control ON/OFF y un control PID.

Tabla 5.15. Costos por energía consumida de una resistencia calefactora.

Control	Energía [kWh]	Rango 1-50 \$/kWh (\$2.386)	Rango 51-100 \$/kWh (\$2.877)	Adicional \$/kWh (\$3.171)	Total \$/kWh
ON/OFF	1.18	\$119.3	\$143.85	\$1478.95	\$1742.10
PID	0.95	\$119.3	\$143.85	\$1128.87	\$1392.02

Cada maquinaria cuenta con un mínimo de seis resistencias distribuidas a lo largo del cañon de calentamiento, los rangos de precios se muestran en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16. Costos de energía consumida por maquinaria.

Control	Energía [kWh]	Rango 1–50 \$/kWh (\$2.386)	Rango 51-100 \$/kWh (\$2.877)	Adicional \$/kWh (\$3.171)	Total \$/kWh
ON/OFF	7.08	\$119.3	\$143.85	\$10459.22	\$10722.37
PID	5.7	\$119.3	\$143.85	\$8358.75	\$8621.90

El uso de controladores PID permite lograr una reducción en el costo de energía eléctrica del 24.36% comparado con el uso de controladores ON/OFF, lo que implica un ahorro mensual de \$1050.23.

Un controlador PID, tiene un costo aproximado de \$1930.00 M.N. lo que implica, que con el ahorro mensual obtenido, el retorno de la inversión se alcanza aproximadamente a los 2 meses de operación.

5.7. DESPERDICIO.

El desperdicio de materia prima es uno de los principales problemas en los procesos de producción, ya que se considera como el bajo aprovechamiento de recursos (materia prima, tiempo, mano de obra, etc.) y por lo tanto un gasto innecesario en el que se debe poner especial interés con la finalidad de eliminarlo o reducirlo.

El este caso, el desperdicio de la materia prima se presenta principalmente por dos conceptos:

- a) Exceso de tiempo durante la acción de cierre (Fig. 5.15). Esta problemática puede presentarse durante la operación manual y en la operación automática debido a las diferentes características de fluidez de los materiales y a la mala calibración de los tiempos de cierre de la prensa para cada uno de los productos.

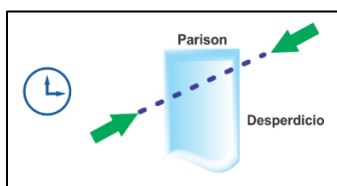


Figura 5.15. Desperdicio por exceso de tiempo.

Para disminuir el desperdicio de materia prima provocado por el exceso de tiempo durante la acción de cierre, se instaló un sensor de detección fotoeléctrica, el cual utiliza un haz de luz para detectar la presencia del parison y de esta forma el proceso se adapta a los cambios de fluidez de materia prima que se puedan presentar (Fig. 5.16). En conjunto con el PLC, el sensor fotoeléctrico permite ajustar el cierre de la prensa de tal forma que la longitud del parison se reduzca hasta en un 15%, en comparación con el cierre de prensa programado por tiempo.

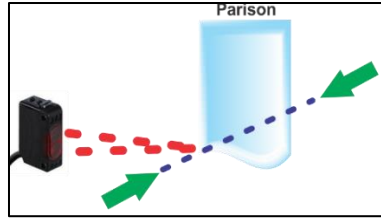


Figura 5.16. Ahorro de material.

- b) Número de piezas defectuosas (Fig. 5.17). Esta problemática se presenta en la operación manual al no realizarse el cierre de la prensa con la fuerza necesaria, en caso de no realizarse el debido tiempo de soplo, el corte de parison, etc. Y se presenta en la operación automática por circunstancias como la pérdida de los centros entre el molde y soplador provocada por la incorrecta alineación entre estos.

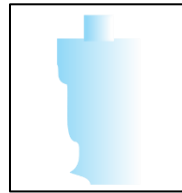


Figura 5.17. Desperdicio por piezas defectuosas.

En este caso, se recomendó hacer la correcta calibración de los mecanismos para obtener el máximo rendimiento durante la jornada de trabajo y así evitar detener la maquinaria para recalibrarla de manera repetitiva.

5.8. ANÁLISIS DE COSTOS DE MATERIA PRIMA.

El costo de la materia prima es un factor importante que permite determinar los costos del producto y su aplicación, la Tabla 5.17 muestra los costos de las resinas más utilizadas en el mercado del plástico en México.

Tabla 5.17. Lista de precios de material noviembre 2016.

MARCA	SACOS		GRANEL	
	PESOS/TON.	VAR.%>	PESOS/TON.	VAR.%
PEMEX				
PADMEX - 60120 HDPE INYECCIÓN	26,902.00	-5.00	26,136.00	-5.00
PADMEX - 65050 HDPE INYECCIÓN	26,263.00	-5.00	25,548.00	-5.00
PADMEX - 65080 HDPE INYECCIÓN	26,263.00	-5.00	25,548.00	-5.00
PADMEX - 56035 HDPE SOPLADO	29,890.00	-4.00	29,083.00	-4.00
PX - 20020 P LDPE PELICULA	34,810.00	0.00	34,056.00	0.00
PX - 20020 X LDPE PELICULA	34,582.00	0.00	33,765.00	0.00

Es importante resaltar que el precio de la resina "virgen" es sumamente volátil debido a ciertos factores como el tipo de cambio, estación del año, disponibilidad de la planta, etc; mientras que el costo de la resina reciclada se mantiene estable por largos periodos.

El costo de la resina PADMEX 56035 tiene un precio de aproximado de \$34.67 (IVA incluido), mientras que el costo aproximado de la resina PEAD reciclada es de \$22.00. Comparando los costos entre ambas se hace visible la conveniencia (económica) de usar resinas recicladas. Sin embargo, actualmente en México no existe ningún estímulo para utilizar este tipo de resinas por lo que contablemente no son deducibles.

Asumiendo que se puede deducir el PEAD reciclado (a través de estrategias fiscales) se tienen los precios por materia prima de la Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Comparación de precios PEAD 56035 y PEAD reciclado.

Material	Costo	IVA	Costo Total
PEAD 56035	\$29.89	\$4.78	\$34.67
Reciclado	\$22.00	\$3.52	\$25.52

La relevancia del análisis anterior recae en el hecho de que los prototipos diseñados cuentan con la capacidad de procesar ambos tipos de resinas (PEAD 56035 y PEAD reciclado) debido al uso del variador de velocidad que permite regular de forma rápida y precisa la velocidad del parison a distintos índices de fluidez. No se hace mención de los porcentajes de ahorro económico debido a que éste dependerá en todo momento de las estrategias fiscales aplicadas, de la cantidad y del tipo de producto fabricado.

5.9. COSTOS POR CONSUMO DE AIRE.

Los prototipos diseñados utilizan aire comprimido para proporcionar un movimiento controlado a través de cilindros neumáticos, el cual proviene de un generador de aire (compresor).

En el caso de los compresores por pistón (como el utilizado en este trabajo) el consumo de energía eléctrica está relacionado con el número de ocasiones en que éste se acciona su motor para llenar de aire comprimido el depósito de almacenamiento.

Para este trabajo se cuenta con un compresor con un motor trifásico de 5HP, el cual tiene un consumo de 3.37kW. Este motor no se encuentra encendido durante toda la jornada laboral, sino que solo activa cuando el depósito de aire comprimido requiere ser llenado, por lo tanto, el consumo de energía eléctrica por generación de aire es diferente para los procesos automático (2.238kWh) y manual (0.678kWh) como se muestra en la Fig. 5.18.

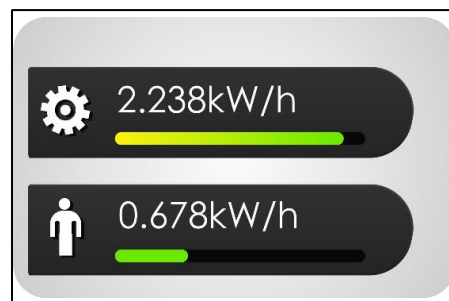


Figura 5.18. Consumo de energía eléctrica de los procesos manual y automático.

Los costos relacionados por concepto del consumo de energía eléctrica por la generación de aire comprimido de cada proceso (automático y manual) se muestran en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Costos por generación de aire comprimido por proceso.

Proceso	Tiempo activo	Tiempo en reposo	Consumo de energía [kWh]	Consumo de energía Bimestral [kWh]	Total \$/kWh
Automático	40 min.	20 min.	2.238	1074.24	\$3352.46
Manual	13 min.	47 min.	0.678	325.44	\$1295.12

Se observa que el costo por generación de aire comprimido en el proceso automático es de aproximadamente 2.6 veces mayor que en el proceso manual debido a que su consumo de los actuadores neumáticos. Sin embargo, este consumo extra de se ve compensado con los beneficios antes mencionados.

5.10. PERSONAL POR PROCESO.

El personal es el recurso más valioso en los procesos productivos, en particular, la destreza y la experiencia de los operadores son los factores determinantes para el correcto funcionamiento de la línea de producción.

Para los procesos manual y automático se tienen los requerimientos de personal mostrados en la Tabla 5.20:

Tabla 5.20. Personal requerido por proceso.

Proceso	Operador	Operador	Operador	Operador	Auxiliar
Manual	1	1	1	1	2
Automático	1	1	1	1	0

La tabla anterior muestra que en el proceso manual por cada dos máquinas en operación se requiere por lo menos un auxiliar (Fig. 5.19) que realizará los procesos complementarios a la tarea de producción (empacar el producto, alimentar de materia prima a la máquina, conteo de productos terminados, etc.), sin embargo, si el proceso requiere de una sola máquina en operación, también se requiere de un auxiliar, desaprovechando las máximas capacidades de este último. También se muestra que para el proceso automático, no importa el número de máquinas en operación, siempre se requiere de un solo operador.



Figura 5.19. Personal requerido por proceso.

5.11. APLICACIÓN DE LEAN MANUFACTURING.

La filosofía LEAN MANUFACTURING plantea estrategias de eliminación de desperdicios (principios fundamentales) que son congruentes con los objetivos del presente trabajo, estas estrategias son las siguientes (Tabla 5.21):

Tabla 5.21. Aplicación de LEAN MANUFACTURING en el Proceso.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	APLICACIÓN EN EL PROCESO
Sobre-producción: Es el peor de los desperdicios es producir más de lo que el cliente requiere o producir más rápido de lo necesario, generalmente oculta problemas o defectos de producción abre el camino para otros tipos de desperdicio.	El PLC cuenta con un contador de eventos que permite llevar registro del número de ciclos que ha realizado el prototipo, lo que permite conocer en todo momento el número aproximado de piezas procesadas (restando el número de piezas defectuosas).
Esperas: El operario espera por vigilar la máquina, material o información esto solo provoca que el flujo se detenga.	El operador dispone de una nueva distribución (LAYOUT) en la que se dispone de una zona específica para obtener los materiales de forma rápida para mantener la continuidad del proceso.
Movimientos innecesarios. Por búsqueda de herramientas, información, materiales, etc.	La nueva distribución (LAYOUT) permite al operador tener un fácil acceso al área de materiales, sin tener que cruzar por toda la planta para obtenerlos. Además, cada estación de trabajo cuenta con su propio kit de herramientas.
Transporte: es un elemento importante de producción, pero transportar más allá de lo necesario o colocarlos temporalmente en un sitio para luego transportarlos a otro.	La nueva distribución (LAYOUT) determina las áreas específicas en que se deben colocar la materia prima y los productos terminados para evitar traslados innecesarios.
Sobre-procesamiento: Proceso más allá del estándar requerido por el cliente (calidad más alta de la requerida por el cliente).	No implementado en este trabajo. La revisión para incrementar la calidad del producto terminado es una acción que se implementó recientemente.
No calidad: Corresponde a todos aquellos procesos necesarios para corregir errores los defectos se traducen en tiempo adicional, material, energía capacidad y costo laboral.	A través de la automatización del proceso productivo, se provee de tiempo específico para la revisión de los productos terminados con la finalidad de incrementar la calidad de los mismos y evitar los procesos de re-trabajo.

Inventario: Aumentan los costes por área, administración, cuidado, se puede volver obsoletos, se pierde flexibilidad del proceso.	No implementado en este trabajo.
Utilización de las personas: No se fomentan ni se aprovechan las destrezas de los trabajadores al máximo.	La automatización del proceso productivo permite aprovechar cualidades diferentes a las físicas, como proactividad, autonomía, capacidad de trabajo, capacidad de innovación, etc.
Desperdicios al medio-ambiente.	Uno de los puntos importantes de este proyecto es contemplar el uso de resinas plásticas recicladas y la disminución de desperdicio.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. CONCLUSIONES.

En este trabajo de tesis se consiguió el objetivo principal de obtener el desarrollo de un prototipo que permita mejorar los procesos de operación de una planta de manufactura del plástico.

Con la implantación de propuesta presentada en este trabajo se alcanzaron los siguientes resultados:

- Estandarización del proceso. El proceso de fabricación será el mismo de inicio a fin. De aquí que se puedan establecer las reglas de operación de los dispositivos y realizar los respectivos manuales de cada proceso.
- Estandarización del conocimiento. Los pasos para operar la maquinaria serán los mismos, quedando disponibles en todo momento para todos y no solo para un colaborador.
- Disminución del esfuerzo físico. El usuario solo empleará el 30% de esfuerzo físico (comparado con el proceso manual) para la obtención del producto, lo que le permitirá atender otras cuestiones de revisión de calidad y de procesamiento del producto final.
- Mejora del control de los tiempos de producción. Los tiempos son predefinidos y ajustados durante la calibración inicial del sistema. De aquí que se puedan tener estimados confiables de los tiempos de producción y mejorar la planificación de tiempos de entrega y asignación de trabajo por maquinaria.
- Mejora la calidad del producto. El usuario dispondrá de tiempo con el producto para poder hacer una revisión visual y física (3.32s y 3.94s respectivamente entre el prototipo I y el prototipo II) para dar un mejor acabado al producto final.
- Menores costos de mano de obra. Se requiere de un solo operador para atender el proceso de producción, además, se reducen los costos por errores humanos. Se tiene menor necesidad de personal altamente especializado para los procesos de producción. Fácil sustitución de personal por cuestiones de enfermedad o vacaciones.
- Posibilidad de realizar procesos en paralelo. El operador de la maquinaria tendrá la oportunidad verificar la calidad del producto, alimentar de materia prima a la maquinaria y empacar el producto de ser necesario.

- Registro continuo de stocks. Tanto la maquinaria como el usuario podrán llevar un registro continuo del producto obtenido durante el tiempo que dure el proceso de fabricación, permitiendo conocer en todo momento la cantidad de productos fabricados.
- Flexibilidad para elaborar diferentes productos. La maquinaria diseñada podrá ser adaptada para elaborar diferentes productos (según la capacidad de la máquina y disponibilidad de moldes).
- Uso eficiente de la energía eléctrica. Al contar con dispositivos como Controladores PID, se logró una reducción de energía eléctrica del 24.36%, además, la implementación de variadores de frecuencia permitió suprimir los picos de corriente durante el arranque del motor y se obtiene un ahorro de energía eléctrica de 61.3%.
- Uso de resinas plásticas recicladas. Al incrementar la eficiencia del proceso de fabricación, también se tendrá la posibilidad de emplear materias primas recicladas de manera viable y adecuada.
- Mayor competitividad y crecimiento de la empresa. Al contar con todo un proceso estandarizado, con un control de tiempos de producción, una planificación confiable y un apego a las normativas de calidad y seguridad. Se le pueda dar una respuesta rápida a los clientes, entregando productos en menos tiempo, comparado con el proceso manual. Además se puede dar el siguiente paso en la búsqueda de nuevos mercados y expandir la empresa.
- Uno de los objetivos más importantes alcanzados en este trabajo es la comprobación de la capacidad de que tienen las PyMES mexicanas de mejorar sus procesos de producción a través de la correcta automatización de éstos. Quizás el mayor reto para el desarrollo de tecnología mexicana es la inversión inicial de capital, sin embargo, en muchos casos esta inversión no es comparable con los beneficios obtenidos por las mejoras y los ahorros económicos.
- Implementación de *LEAN MANUFACTURING*. Se estandarizaron los tiempos del proceso de producción, se mejoró la calidad del producto y se redujo parte del desperdicio en el proceso de producción.

En cuanto a las limitaciones de este trabajo las más importantes son: Tiempo, factor determinante para acotar este proyecto, debido al tiempo de entrega de éste. Recursos económicos, factor que limita las características del prototipo, debido a los costos de las piezas y los componentes que lo conforman.

Respecto a los retos que se presentaron en la de elaboración de este trabajo, el más importante fue la integración de diferentes áreas como neumática, hidráulica, mecánica, eléctrica,

electrónica, programación, entre otras. Debido a la basta cantidad de información y conocimiento que se requiere.

Finalmente, por el momento se presentan problemas derivados de compartir la red de suministro de aire con otros equipos y maquinarias estos son: Imposibilidad de tener velocidades estables debido a la compresibilidad del aire, Fugas que reducen el rendimiento del sistema y quizás el problema más importante es la oscilación debido a la carga y descarga del depósito de aire, provocando movimientos imprecisos. Este punto en especial puede resolverse de dos formas:

- Tener un compresor con menos equipos y máquinas compartidas.
- Cambiar el sistema neumático a hidráulico del carro y de la prensa.

6.2. TRABAJO FUTURO

- Alimentación de materia prima para la maquinaria de forma automatizada.
- Ajustes de características de operación para diferentes productos de manera automática.
- Colocación de señalamientos de seguridad tanto para la maquinaria como para el área de trabajo.
- Colocación de banda para transportar el producto terminado al área de empaque.
- Revisión de fugas diminutas del producto a través de sensores de presión.
- Terminado fino del producto automático.
- Cambio de tecnología neumática a hidráulica.
- Construcción de un controlador PID capaz de comunicarse en red con el resto del sistema de monitoreo.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Piedrafita Moreno. (2004). Ingeniería de la Automatización Industrial. México: Alfaomega.
- [2] Pallas Areny Ramón. (2005). Sensores y Acondicionadores de Señal. México: Marcombo.
- [3] Rodríguez, Aquilino. (2012). Sistemas SCADA. México: Alfaomega.
- [4] Creus Antonio. (2011). Neumática e Hidráulica. México: Alfaomega.
- [5] Harper Enríquez. (2014). el ABC de las instalaciones eléctricas industriales. México: Limusa.
- [6] Harper Enríquez. (2008). Curso de Transformadores y Motores de Inducción. México: Limusa.
- [7] Dorf, R. C. / Bishop R. H. (2005). Sistemas de Control Moderno. España: Prentice Hall.
- [8] Katsuhiko Ogata. (2010). Ingeniería de Control Moderna. España: Pearson.
- [9] Kuo C. Benjamin. (1996). Sistemas de Control Automático. México: Prentice Hall.
- [10] Lajara Vizcaíno José Rafael. (2011). LabVIEW Entorno gráfico de programación. México: Alfaomega.
- [11] del Río Fernández Joaquín. (2013). LabVIEW programación para Sistemas de Instrumentación. México: Alfaomega.
- [12] Romera Pedro J. (2007). Automatización. España: Paraninfo.
- [13] Nivel Banjamín, Andris Freivalds. (2005). Métodos, Estandares y Diseño de Trabajo. Ingeniería Industrial. México: Alfaomega.
- [14] Meyers, Fred E. (2006). Diseño de instalaciones de manufactura y manejo. México: Prentice Hall.
- [15] Bolton, William. (2013). Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería. México: Alfaomega.
- [16] SASE. (2013). XBee. Argentina.
- [17] Rugeles Chacón Rafael . (2002). La instrumentación Virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica. Acción Pedagógica, 11, 74-84.
- [18] Pineda Olivares Alejandro. (2011). Instrumentación Virtual. México: Digital.
- [19] Cubides Alfonso Freddy Yamith. (2013). Análisis de eficiencia energética utilizando control on-off y PID en una resistencia calefactora. Colombia.

- [20] Coughlin Robert F. / Driscoll, Frederick F. (1999). Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. México: Prentice Hall.
- [21] Franco Sergio. (2005). Diseño con Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Analógicos. México: Mc. Graw Hill.
- [22] José Aurelio Medina Garrido, Sixto Jesús Arjonilla Domínguez. (2009). La gestión de los sistemas de información en la empresa. España: Pirámide.
- [23] Conde Mónica. (2012). Presente Futuro de la Industria del Plástico en México. AmbientePlástico, 7, 13, 26.

MESOGRAFÍA.

- [a] Pérez Porto Julian. (2013). Definición del Plástico. 2015, Sitio web:
<http://definicion.de/plastico/>
- [b] Texas Instruments. (1995). LM35. 2016, Sitio web:
<http://www.ti.com/product/LM35/datasheet>
- [c] Arian S.A. (2016). Pt100, su operación, instalación y tablas. 2016, Sitio web:
<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- [d] Termokew S.A. de C.V.. (2016). Termopares. Sitio web:
<http://www.termokew.mx/termopares.php>
- [e] Autonics. (2016). PSAN Series. Sitio web:
http://www.autoniconline.com/product/product&product_id=6559
- [f] Silio MX. (2016). Sensor de corriente AC no-invasiva (30A max). Sitio web:
<http://silicio.mx/sensor-de-corriente-ac-no-invasiva-30a-max>
- [g] Allegro MicroSystems Inc. (2007). Sensor De Corriente ACS712 5-20-30A. Sitio web:
<http://saber.patagoniatec.com/sensor-de-corriente-ac-712-5-20-30a-ptec-arduino-pic/>
- [h] Autonics. (2016). PR18-8DP. Sitio web:
http://www.autoniconline.com/product/product&product_id=300
- [i] Autonics. (2016). Serie Bx. Sitio web:
http://autonics.com.mx/products/products_detail.php?catecode=01/02/03&db_uid=136
- [j] Autonics. (2016). Controles de Temperatura. Sitio web:
http://autonics.com.mx/products/products_detail.php?catecode=02/01/01&db_uid=149
- [k] Autonics. (2016). Solid State Relay. Sitio web:
http://www.autoniconline.com/product/product&product_id=8086

- [l] Siemens. (2003). LOGO!. Sitio web:
http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/logo/zakladni_pristroje/manual_logo_0ba4_2003_en.pdf
- [m] Schneider Electric. (2016). SR3B261BD. Sitio web:
file:///C:/Users/moy/Desktop/titulacion/Zelio%20Logic_SR3B261BD.pdf
- [n] SMC International Training. (2016). automatización. Sitio web:
<http://www.smctraining.com/webpage/indexpage/311/>
- [o] SMC International Training. (2016). Sitio web: <http://www.smctraining.com/>
- [p] Media Center. (2015). Solución WEG reduce el consumo de energía en la fábrica de Embraco. Sitio web: <http://www.weg.net/mx/Media-Center/Noticias/Productos-y-Soluciones/Solucion-WEG-reduce-el-consumo-de-energia-en-la-fabrica-de-Embraco>
- [q] Rockwell Automation. (2008). Reduzca los costos de energía mediante el control inteligente de motores. Sitio web: www.infoPLC.net
- [r] CFE. (2016). Tarifas. Sitio web:
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=CMABT&Anio=2016
- [s] Matemáticas Empresariales. (2013). Ejemplo de cálculo de una capacidad de producción en estaciones de proceso. Sitio web:
<https://matematicasempresariales.com/2013/11/23/ejemplo-de-calculo-de-una-capacidad-de-produccion-en-estaciones-de-proceso/>
- [t] LEAN SOLUTIONS. (2011). Conceptos LEAN Manufacturing. 2016, de LEAN SOLUTIONS Sitio web: <http://www.leansolutions.co/conceptos/>
- [w] <http://lean-esp.blogspot.mx/2008/09/71-tipos-de-desperdicios.html>
- [x] <http://www.gerencie.com/reduccion-de-costos.html>

