



Automatización del proceso de producción de placas de madera prefabricadas de la empresa FAQPAR S.A

JUAN RAMÓN CORONEL VERA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA
Coronel Oviedo - Paraguay**

Año 2018

Automatización del proceso de producción de placas de madera prefabricadas de la empresa FAQPAR S.A

Elaborado por

Juan Ramón Coronel Vera

Tutor

Ing. Marcelino Bernal Taboada

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y
Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú,
como requisito para la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2018

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Dedicado a:

A Dios y la Virgen por darme salud, fortaleza y perseverancia en todos estos años de estudio.

A mi querida madre Juliana por todo el sacrificio y esfuerzo que tuvo que realizar para darme la oportunidad de poder estudiar en una Universidad a pesar de todas las adversidades que teníamos.

A mi querido padre Eliseo que me cuida desde el cielo, fue el que desde niño me motivó al estudio y que me decía que su sueño era verme convertido algún día en un Ingeniero Electrónico.

A mi hermano Miguel, por todo el apoyo que me brindo en mis años de estudios

A mis queridos amigos y compañeros de facultad que me brindaron su amistad y me extendieron una mano en momentos en donde más los necesitaba.

A mis Tíos y Tías, por brindarme su apoyo incondicional y económico.

Agradecimientos:

Al Ingeniero Marcelino Bernal por su orientación académica, su paciencia y por haber sido un excelente docente durante mis años de estudio.

Al Ingeniero Cesar Ferreira por su dirección, apoyo y exigencia a la hora de la realización de este proyecto fin de grado.

A todos los Docentes que directa e indirectamente formaron parte de mi crecimiento profesional.

A todos mis amigos, y en especial a mis amigos Daniel Castillo, Oscar Pattenden y Francisco Martínez por haberme recibido en sus respectivos hogares como un integrante más de su familia.

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCION DE PLACAS DE MADERA PREFABRICADAS DE LA EMPRESA FAQPAR S.A

JUAN RAMON CORONEL VERA

RESUMEN

El objeto principal de este proyecto de fin de grado fue la elaboración de un proyecto de automatización que sea aplicado al proceso de producción de placas prefabricadas de madera de la empresa FAQPAR SA con el fin de poder brindar soluciones a las problemáticas existentes tanto técnica y económicamente.

La empresa cuyo proceso fue objeto de estudio en este proyecto es una empresa que se dedica a la transformación de la madera en bruto a productos derivados, entre los cuales se encuentran las placas prefabricadas de madera, placas faqueadas y terciadas.

Con este trabajo quedo evidenciado que mediante la implementación de la lógica programada fue posible dotar al proceso de un sistema de control y monitoreo de las 3 fases que componen la producción de las placas, por medio del cual se pudo dar solución a todos los inconvenientes con que se contaba anteriormente. Un resultado muy importante a enfatizar es la reducción de los tiempos de activación de las máquinas, lo cual significa un aumento de producción en el proceso. Otro resultado relevante obtenido es el diseño de sistemas de avisos en una pantalla HMI con el cual fue posible reducir los tiempos detección de fallas en las todas las máquinas que componen el proceso.

Finalmente, mediante un análisis económico quedo evidenciado que este proyecto de automatización es totalmente factible desde el punto económico.

Palabras claves: Automatización, Lógica Programada, Producción de placas, Sistema de Control, Sensores.

PROJECT OF AUTOMATION OF THE PROCESS OF MANUFACTURE OF PREFABRICATED WOOD PLATES OF THE COMPANY FAQPAR S.A

JUAN RAMON CORONEL VERA

ABSTRACT

The main purpose of this end-of-degree project was the development of an automation project that is applied to the production process of prefabricated wooden plates of the company FAQPAR SA in order to provide solutions to existing problems both technically and economically.

The company whose process was the subject of study in this project is a company that is dedicated to the transformation of raw wood to derived products, among which are the prefabricated wooden plates, plates faqueadas and plywood.

With this work it was evidenced that through the implementation of the programmed logic it was possible to equip the process with a control and monitoring system of the 3 phases that make up the production of the plates, by means of which it was possible to solve all the inconveniences with that was counted previously.

A very important result to emphasize is the reduction of the activation times of the machines, which means an increase of production in the process. Another relevant result obtained is the design of warning systems in an HMI screen with which it was possible to reduce the detection times of faults in all the machines that make up the process.

Finally, by means of an economic analysis it is evident that this automation project is totally feasible from the economic point of view.

Keywords: Automation, Programmed Logic, Plate Production, Control System, Sensors

CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	1
Dedicado a:	2
Agradecimientos:	3
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABLAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS	19
I. INTRODUCCIÓN	20
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	23
CAPÍTULO 1	23
1.1. ANTECEDENTES HISTORICO.....	23
1.2. ESTADO DEL ARTE	26
1.2.1. Antecedentes de la Automatización	26
1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS	31
1.4. Automatización	31
1.4.1. Principio de un Sistema Automático	32
1.4.2. Estructura General de un Sistema de Automatización Industrial	32
1.4.3. Principio de un Sistema Automático	33
1.4.4. CLASIFICACION TECNOLOGICA.....	33
1.4.4.1. Automatismos cableados.....	34
1.4.4.2. Automatismos programados.....	34
1.4.5. La Seguridad en los Automatismos	36
1.4.6. REPRESENTACION DE LOS AUTOMATISMOS.....	37
1.4.6.1. Lógica de Contactos (de réles).....	37
1.4.6.2. Puertas Lógicas	38
1.4.6.3. Diagrama de Flujo	38
1.4.6.4. GRAFCET.....	39
CAPITULO 2	40

TECNOLOGIA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL	40
2.1. DESCRIPCION TECNOLÓGICA DEL AUTOMATISMO	40
2.2. DETECTORES DE PROXIMIDAD	42
2.2.1. FINALES DE CARRERA	42
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS DETECTORES SIN CONTACTO.....	44
2.2.2.1. Tres Hilos NPN, con alimentación continua	45
2.2.2.2. Tres Hilos PNP, con alimentación continua	46
2.2.2.3. Salida Analógica.	46
2.2.3. DETECTORES OPTICOS O FOTOELECTRICOS	47
2.3. DETECTOR DE TEMPERATURA TC	48
2.4. Actuadores.....	49
2.4.1. Actuadores Eléctricos	50
2.4.1.1. Componentes Eléctricos.....	51
2.4.1.1.1. Contactor	51
2.4.1.1.2. Relé.....	52
2.4.1.1.3. Relé Térmico.....	53
2.4.1.1.4. Relé de Estado Sólido	54
2.4.1.1.5. Fusible	54
2.4.1.1.6. Interruptor Termomagnético	55
2.4.1.1.7. Arranque Directo.....	56
2.4.1.1.8. Arranque Estrella-Triángulo.....	57
2.4.1.1.9. Arranque con Variador de Velocidad.....	59
2.4.1.1.9.1. Convertidor de Frecuencia	59
2.4.2. Actuadores Neumáticos.....	61
CAPÍTULO 3	64
3.1. Controlador Lógico Programable PLC.....	64
3.1.1. Partes de un Controlador Lógico Programable	64

3.1.1.1.	Sección de entrada/salida	64
3.1.1.2.	El procesador	64
3.1.1.3.	El dispositivo de Programación	66
3.1.2.	Clasificación de los Controladores Lógicos Programables	66
3.1.3.	Campos de Aplicación del PLC	67
3.1.4.	Ventajas y Desventajas del PLC	69
3.1.4.1.	Ventajas del PLC	69
3.1.4.2.	Desventajas del PLC	70
3.2.	PLC SIMATIC 1200	70
3.2.1.	Módulos de Señales y Signal Boards	72
3.2.1.1.	Signal Boards.....	72
3.2.1.2.	Módulos de Señales	73
3.2.1.3.	Módulos de Comunicación	73
3.2.2.	STEP 7 Basic.....	74
3.2.2.1.	Diferentes vistas que facilitan el trabajo	74
3.2.2.2.	Configuración de Dispositivos	76
3.2.2.3.	Insertar una CPU	77
3.2.2.4.	Configuración IP en el Proyecto	78
3.1.1.	Configuración PROFINET	79
CAPÍTULO 4		82
Sistema de Control		82
4.1.	Introducción al Sistema de Control.....	82
4.2.	Sistema de Control Lazo Abierto	82
4.3.	Sistema de Control Cerrado	83
4.4.	Niveles de un sistema de Control	83
4.5.	Redes de Comunicación Industrial	85
4.5.1.	Topología	85

4.5.2.	Medio Físico.....	86
4.5.3.	Buses de Campo	86
4.5.3.1.	Buses de Altas Prestaciones.....	88
4.5.3.2.	Buses de campo comerciales.....	88
4.5.3.3.	Ethernet como red de campo	90
CAPITULO 5		92
5.1.	Evaluación Económica	92
5.1.1.	Análisis Costo-Beneficio	92
5.1.1.1.	Flujo de Caja.....	92
5.1.1.2.	Valor Presente Neto (VPN).....	92
5.1.1.3.	La tasa interna de rendimiento (TIR)	93
5.1.1.4.	Período de recuperación del capital o la inversión (PRI)	93
III.	RESUMEN EJECUTIVO.....	95
CAPITULO 6		95
6.1.	Descripción del trabajo	95
6.1.1.	Métodos y Técnicas utilizadas.....	95
6.1.1.1.	Tipo de Investigación.....	95
6.1.1.2.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	95
6.1.1.3.	Métodos y análisis de Datos.....	96
6.1.1.3.1.	Análisis Cualitativo.....	96
6.2.	Justificación	97
6.3.	Finalidad del proyecto.....	98
6.4.	Metas	98
6.5.	Objetivos	98
6.5.1.	Objetivos generales	98
6.5.2.	Objetivos específicos.....	98
6.6.	Beneficiarios	99
6.7.	Producto.....	99

6.8.	Localización física y cobertura espacial	99
6.9.	Especificaciones de actividades y tareas realizadas.....	99
6.10.	Factibilidad técnica	101
6.11.	Factibilidad económica	102
6.11.1.	Beneficios	102
6.11.1.1.	Aumento de Producción por reducción de tiempo.....	102
6.11.1.2.	Reducción por activaciones automáticas.	103
6.11.1.3.	Ahorro por paradas de Maquinas	103
5.1.1.	Costos.....	103
5.1.2.	Evaluación económica.....	104
5.1.2.1.	Flujo de caja proyectada.....	104
5.1.2.2.	Tasa interna de rendimiento (TIR).....	105
5.1.2.3.	Valor presente neto (VPN).....	105
5.1.2.4.	Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	105
IV.	INGENIERÍA DE DISEÑO	106
CAPÍTULO 7		106
7.1.	Descripción General de la Situación actual de la Producción	106
7.1.1.	Descripción de los accionamientos de las maquinas	107
7.1.1.1.	Maquina Cepilladora	109
7.1.1.2.	Maquina circular múltiple	111
7.1.1.3.	Producción de Placas	115
7.1.2.	Problemas Planteados.....	119
7.2.	Análisis de las Soluciones.	122
7.2.1.	Lógica Programada	122
7.2.1.1.	PLC Siemens.....	123
7.2.1.2.	Alternativas de PLC	124
7.2.1.3.	Requerimientos del PLC.....	127
7.2.1.4.	Elección del PLC	128
7.2.1.4.1.	Selección del tipo de CPU	129
7.2.1.4.2.	Selección de módulos Digitales y Analógicos	130
		10

7.2.1.5.	Elección de Panel Operador	130
7.2.1.6.	Elección de Switch Ethernet	133
7.2.2.	Soluciones a los accionamientos de Potencia	133
7.2.2.1.	Sistema de Arranque de la Cepilladora	133
7.2.2.2.	Selección de Variador de Velocidad	136
7.2.3.	Solución a las Oscilaciones de Temperatura	137
7.2.3.1.	Selección de Detector de Temperatura	137
7.2.3.2.	Selección de Relé de Estado Sólido	138
7.2.4.	Solución a las imperfecciones de las placas.	138
7.2.4.1.	Selección de Sensor Fotoeléctrico.	138
7.2.4.2.	Selección de Final de Carrera	138
7.2.5.	Selección de Elementos Varios	138
7.2.5.1.	Selección de Contactores y relé térmico.	139
7.2.5.2.	Selección de Interruptor Termomagnético.	140
7.2.6.	Diseño de Sistema de Control.	140
7.2.6.1.	Arranques Maquina Cepilladora	144
7.2.6.1.1.	Forma de Marcha	144
7.2.6.1.2.	Supervisión y Control por medio de la pantalla HMI	146
7.2.6.2.	Control de Maquina Circular Múltiple	147
7.2.6.2.1.	Forma de Marcha.	148
7.2.6.2.2.	Supervisión y Control Pantalla Circular Múltiple.....	150
7.2.6.3.	Control de Producción de Placas	151
7.2.6.3.1.	Supervisión y Control Producción de Placas.....	152
7.2.6.3.2.	Forma de Marcha de la Maquina.....	154
7.2.6.4.	Avisos del Sistema	158
7.2.6.5.	Pantalla principal del Proceso	159
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	160

VI.	CONCLUSIONES	162
VII.	RECOMENDACIONES	163
VIII.	APÉNDICE	164
	Apéndice A: Resumen ejecutivo.....	164
	Apéndice A.1: Determinación de Costos de los Materiales	164
	Apéndice A.2: Determinación de honorarios para la mano de Obra.....	168
	Apéndice A.3: Beneficios y Gastos Económicos de la implementación del Sistema	169
	Apéndice A.4: Costo Mantenimiento Preventivo	171
	Apéndice A.5: Parada de Producción para Implementación del Proyecto.....	172
	Apéndice B: Ingeniería de diseño.....	173
	Apéndice B.1: Maquinas y elementos del Proceso	173
	Apéndice B.2: Programación del Proceso en TIA PORTAL V13 SP2	176
	B.2.1 Programación del Main principal.....	176
	B.2.1 Programación Bloque Cepilladora	178
	B.2.2 Programación Bloque Circular Múltiple.....	180
	B.2.3 Programación Bloque Producción de Placas.....	182
	B.2.4 Avisos del Sistema	187
	Apéndice B.3: Parametrización Variador de Velocidad y Eventos Pantalla HMI	189
	B.3.1 Parametrización Variador de Velocidad	189
	B.3.1 Parámetros Escritura Variador de Velocidad	190
	B.3.2 Mensajes de Error en Pantalla de Producción de Placas.....	191
	Apéndice B.4: Control PID Temperatura Rodillos	192
	Apéndice C: Evaluación económica.....	196
	Apéndice C.1: Determinación de Flujo de Caja	196
	Apéndice C.2: Determinación de la tasa de inversión de retorno TIR	196
	Apéndice C.3: Determinación del Valor Presente Neto	197
	Apéndice C.4: Determinación del Periodo de recuperación de la inversión	197
	BIBLIOGRAFIA.....	198

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1. 1: Funcionamiento de un Automatismo.....	33
Figura 1. 2: Función Lógica $Y=a*b + c$	37
Figura 1. 3: Representación en diagrama de contactos de $Y=a*b + c$	38
Figura 1. 4: Representación mediante puertas lógicas de $y = a \cdot b + c$	38
Figura 1. 5: Diagrama de flujo del arrancador estrella triangulo.....	39
Figura 1. 6: Diagrama Grafcet del arrancador estrella triángulo.	40

Capítulo 2

Figura 2. 1: Representación de una carga estándar	43
Figura 2. 2:Activación de la carga	43
Figura 2. 3: Finales de carrera con diferentes elementos de mando.	44
Figura 2. 4: Contactos NO y NC	44
Figura 2. 5: Detector con salida NPN.....	45
Figura 2. 6: Detector con salida PNP.	46
Figura 2. 7: Detector con salida analógica de tensión.....	47
Figura 2. 8: Detector con Salida analógica de corriente.....	47
Figura 2. 9: Ejemplo de funcionamiento de Termocupla tipo J	48
Figura 2. 10: Relación temperatura-tensión de los tipos de termocupla	49
Figura 2. 11: Imagen de un Contactor Electromecánico	52
Figura 2. 12: Estructura interna de un relé.....	53
Figura 2. 13: Imagen de un Relé térmico de la marca Telemecanique [10].	53
Figura 2. 14: Imagen de un relé de estado sólido trifásico marca METALTEX [12].....	54
Figura 2. 15: Imagen de fusibles Diazed / Silized / Neozed de la marca Siemens [13].....	55
Figura 2. 16: Imagen de un Interruptor termomagnético de la marca Weg [14]	56
Figura 2. 17: Arranque Directo de un Motor Trifásico.	57

Figura 2. 18: Arranque Directo de un Motor Trifásico.	57
Figura 2. 19: Arranque Estrella-Triangulo	59
Figura 2. 20: Estructura interna Variador Velocidad.	60
Figura 2. 21: Relación par-velocidad con convertidor de Frecuencia.	60
Figura 2. 22: Representación esquemática de cilindros neumáticos de simple y de doble efecto.	61
Figura 2. 23: Estructura interna de un cilindro de doble efecto.	61
Figura 2. 24: Esquema de una electroválvula 2/2 (2 vías y 2 posiciones).	62
Figura 2. 25: Esquema de una electroválvula 5/2 (5 vías y 2 posiciones)	63

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1: Imagen del PLC S7 1200 Siemens [18]	71
Figura 3. 2: Signal Boards del PLC S71200 [18].....	72
Figura 3. 3: Módulos de señales del S7 1200 [18]	73
Figura 3. 4: Módulo de comunicación del S7-1200 [18].	74
Figura 3. 5: Pantalla principal de Tia Portal V13 SP2 [18]	75
Figura 3. 6: Vista del proyecto en el TIA Portal V13 SP2.....	75
Figura 3. 7: Dispositivos agregados en TIA PORTAL V13 SP2 [18]	76
Figura 3. 8: Pasos para agregar nuevo dispositivo en STEP 7 BASIC	77
Figura 3. 9: Forma de agregar una nueva CPU al proyecto.....	77
Figura 3. 10: Vistas de dispositivos de configuración Hardware	78
Figura 3. 11: Puerto Profinet PLC 1200 [18]	78
Figura 3. 12: Programadora conectada a una CPU S7-1200 [18].....	80
Figura 3. 13: HMI conectado a una CPU S7-1200 [18].....	80
Figura 3. 14: Más de dos dispositivos interconectados, utilizando un switch Ethernet CSM1277 [18].....	80

CAPITULO 4

Figura 4. 1: Niveles de un Sistema de Control.....	84
Figura 4. 2: Topología estrella	85
Figura 4. 3: Topología Anillo	86

Figura 4. 4: Topología en bus.	86
-------------------------------------	----

CAPITULO 6

Figura 6. 1: Flujo de Caja proyectada	104
---	-----

CAPITULO 7

Figura 7. 1: Arranque estrella triangulo de un motor trifásico mediante arrancador manual	109
Figura 7. 2: Arranque directo de forma manual.....	110
Figura 7. 3: Grafcet de Funcionamiento de la maquina	110
Figura 7. 4: Esquema de Potencia Circular Múltiple.	112
Figura 7. 5: Esquema de maniobra Circular Múltiple	113
Figura 7. 6: Grafcet de funcionamiento	113
Figura 7. 7: Esquema de Fuerza Producción de Placas	115
Figura 7. 8: Esquema de Maniobra Producción de Placas	116
Figura 7. 9: Accionamiento de 2 cilindros de doble efecto mediante Electroválvula de 5/2 vías	116
Figura 7. 10: Grafcet de funcionamiento Producción de Placas	117
Figura 7. 11: Hmi KTP 400 Basic.....	130
Figura 7. 12: HMI KTP 600 BASIC PN.....	131
Figura 7. 13: HMI KTP 1000 Basic PN.....	131
Figura 7. 14: HMI KTP 1500 BASIC PN.....	132
Figura 7. 15: Switch Ethernet Siemens CSM 1277	133
Figura 7. 16: Relación Hardware-Proceso	141
Figura 7. 17: Diagrama de Conexiones de Entradas	144
Figura 7. 18: Diagrama de Conexión de Salidas.....	145
Figura 7. 19: Esquema de Potencia de la Maquina	146
Figura 7. 20: Pantalla HMI Maquina Cepilladora en parada.....	147
Figura 7. 21: Pantalla HMI Maquina Cepilladora.....	147
Figura 7. 22: Conexión de Entradas de la maquina al PLC	148
Figura 7. 23: Diagrama de Conexión de salidas	149
Figura 7. 24: Esquema de Potencia de la Maquina Circular Múltiple	150

Figura 7. 25: Pantalla Circular Múltiple en parada	151
Figura 7. 26: Pantalla Circular Múltiple en marcha	151
Figura 7. 27: Diagrama Conexión de Entradas al PLC	152
Figura 7. 28: Pantalla Producción de Placas en parada.	153
Figura 7. 29: Pantalla Producción de Placas en estado activo.	153
Figura 7. 30: Pantalla Curva de Temperatura	154
Figura 7. 31: Diagrama de Conexiones de Salidas del PLC	156
Figura 7. 32: Esquema de Conexiones de los relés auxiliares.....	157
Figura 7. 33: Esquema de Potencia Producción de Placas.	158
Figura 7. 34: Ejemplo de Avisos pendientes en el proceso.....	158
Figura 7. 35: Ejemplo de Avisos de alarmas en el proceso	159
Figura 7. 36: Pantalla principal del proceso	159

VIII. APENDICE

Figura B. 1: Maquina Cepilladora.....	173
Figura B. 2: Maquina Circular Múltiple	173
Figura B. 3: Maquina Fabricadora de Placas	174
Figura B. 4: Sistema de Arranque Manual de la Cepilladora	174
Figura B. 5: Rodillos de Avance Producción de Placas	174
Figura B. 6: Sistema de Amarre con hilos PP	174
Figura B. 7: Sistema derretido de hilos con rodillos	175
Figura B. 8: Display de Visualización de Temperatura.....	175
Figura B. 9: Final de Carrera Producción de Placas	175
Figura B. 10: Mensaje de error en valores de Velocidad motor de Avance	191
Figura B. 11: Objetos Tecnológicos TIA PORTAL V13 SP2	192
Figura B. 12: Bloque Cíclico de Interrupción en TIA PORTAL V13 SP2	193
Figura B. 13: Asignación del PID Compact del proyecto.....	193
Figura B. 14: Configuración de los Parámetros de E/S del PID_Compact.....	194
Figura B. 15: Cuadro de Optimización de los valores PID	195

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 6

Tabla 6. 1: Resumen Total de costos del análisis e implementación del proyecto	104
--	-----

CAPITULO 7

Tabla 7. 1: Características PLC S7 200	125
Tabla 7. 2: Características PLC S7 1200	126
Tabla 7. 3: Características PLC S7 300	127
Tabla 7. 4: Características Arranque Estrella-Triangulo.....	134
Tabla 7. 5: Características Arrancador Suave	135
Tabla 7. 6: Características Variador Weg CFW500	136
Tabla 7. 7: Características Variador SINAMICS V20	137
Tabla 7. 8: Tabla de Parámetros de Selección de componentes.....	139
Tabla 7. 9: Selección de Contactores y Relé Térmico.	140
Tabla 7. 10: Tabla de Selección de Interruptor Termomagnético.	140
Tabla 7. 11: Organización de entradas del PLC	143
Tabla 7. 12: Organización de Salidas del PLC.....	143

APENDICE A

Tabla A. 1: Detalles de los costos de los Elementos Eléctricos de Automatización	166
Tabla A. 2: Detalles de costos del Hardware de Control y accesorios	167
Tabla A. 3: Total de costos de los materiales	167
Tabla A. 4: Honorarios Profesionales	168
Tabla A. 5: Ingreso mensual adicional por placas producidas	169
Tabla A. 6: Presupuesto Mantenimiento Anual	171
Tabla A. 7: Pérdida de producción durante parada.....	172

APENDICE C

Tabla C. 1: Flujo de Caja Proyectada	196
--	-----

Tabla C. 2: Tasa interna de retorno en un periodo de 5 años.....	197
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS

PLC: Controlador Lógico Programable

CPU: Unidad de Procesamiento Central

PP: Producción de Placas

TC: Sensor de Temperatura termopar

HMI: Interfaz hombre Maquina

PID: Mecanismo de control por realimentación Proporcional, Integral, Derivativo.

TIR: Tasa de inversión de retorno.

VAN: Valor Actualizado Neto

I. INTRODUCCIÓN

La empresa FAQPAR de la Schmidt se dedica a la transformación de la madera en bruto a productos derivados para diferentes tipos de mercado, con sede en Paraguay desde 1986, entre sus principales productos se encuentran las placas faqueadas, placas prefabricadas de madera y terciadas. Actualmente cuenta con una planta industrial con 60.000 m² ubicada a 5 Km del casco céntrico de la ciudad de Coronel Oviedo.

El presente proyecto consiste en la automatización del proceso de producción de placas prefabricadas de madera de la empresa FAQPAR S.A, de manera a poder aumentar la productividad y mejorar las condiciones de seguridad de la producción de dichas placas.

El proceso de producción se divide en tres fases principales: cepillado de madera, producción de listones de madera y una fase final de producción. Debido a que el control y el manejo de las máquinas ligadas al proceso dependen de operadores, este hecho propicia la aparición de problemas dentro del proceso como las que se mencionan a continuación: la conmutación del arranque estrella-triángulo de un motor trifásico se realiza en forma manual, incendios en la fase de producción debido al deficiente control de temperatura, no se cuenta con un sistema de monitoreo sobre todas las fases del proceso, entre otros. Estos hechos motivaron la realización de este proyecto de Automatización.

Para poder dar cumplimiento a los objetivos propuestos y así dar solución a los problemas detectados, se establecieron 5 fases metodológicas principales: la primera fase que consiste en analizar y recoger datos del proceso, pudiendo así determinarse aquellas fases que necesitan ser optimizadas mediante la automatización, la segunda fase consiste en analizar las diferentes soluciones que se puede brindar a la problemática existente y optar por aquella solución que pueda ofrecer más beneficios a la empresa, la tercera fase en donde se realiza el Diseño del Sistema de Control y monitoreo de todas las fases del proceso aplicando la lógica programada para tal caso, en la cuarta fase se realizó un estudio económico para determinar la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta

todos los dispositivos y materiales necesarios, la quinta y última fase consistió en un informe final de los resultados obtenidos en este PFG.

Este PFG está organizado en distintos capítulos los cuales se describen brevemente a continuación:

Capítulo 1: Conceptos Generales, en este capítulo se describen algunos antecedentes de uso de PLCS a la hora de realizar automatismos, breve estado del arte de los automatismos y conceptos fundamentales sobre la automatización que han de tenerse en cuenta para el buen desarrollo de este proyecto.

Capítulo 2: TECNOLOGIA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL, en este apartado son descritos conceptos relacionados a los distintos elementos de control en un automatismo tales como: detectores, contactores, relés, interruptores, variador, actuadores neumáticos, actuadores eléctricos y algunos tipos de arranques de los mismos.

Capítulo 3: Controlador Lógico Programable, en este apartado se desarrolla la teoría referente a los Controladores Lógicos Programables, abarcando en especial un modelo específico de la marca Siemens desde sus principales características hasta su software de programación.

Capítulo 4: Sistema de Control, en este capítulo se desarrollan temas referentes a los sistemas de control en lazo abierto y cerrado, como también referente a las principales redes de comunicación utilizados en las industrias.

Capítulo 5: Evaluación Económica, en este capítulo se puede observar la teoría de los distintos cálculos que han de realizarse para el análisis de factibilidad económica del proyecto, como lo son: el flujo de caja, TIR, Van.

Capítulo 6: Resumen Ejecutivo, en esta sección se presenta un resumen general del Proyecto, ilustrando descripciones, métodos, técnicas utilizados, la justificativa del trabajo y los principales logros obtenidos a partir de la realización del mismo tanto técnica como desde el punto de vista económico.

Capítulo 7: Ingeniería de Diseño, en este apartado se describe el estado actual del proceso en estudio, son enumerados los principales problemas y se desarrollan análisis que conllevaron a una serie de soluciones tanto de manera

técnica y económica a los inconvenientes con los cuales se contaba en el proceso.

Con la implementación de este proyecto se pretende: aumentar la producción, reducir costos de operación, salvaguardar la integridad física de las personas que trabajan en ese sector e incrementar los beneficios tanto de la empresa como también a los empleados, y por ende los clientes que se beneficiarían con un mejor producto.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES HISTORICO

- Luis Gabriel Rosero Rosero (2013). “Sistema de control de peso para llenado de sacos de harina de 50 kg”, trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Universidad Técnica del Norte.

El presente proyecto consistió en la implementación de un sistema de control de pesado en el proceso de llenado de sacos de harina en forma rápida y precisa según normas técnicas de producción a través de un Autómata Programable (PLC).

La conclusión del autor es que mediante la implementación de un sistema de control de peso a través del PLCs se logró optimizar el proceso de llenado de sacos de harina, se aumentó la producción diaria, además de dar una mejora a la calidad de los productos minimizando el tiempo de producción.

Está investigación muestra la importancia que puede tener el uso de un Autómata Programable (PLC) en un Sistema de Control, ya sea en el llenado de sacos de harina o en cualquier otro tipo de proceso que requiera un mecanismo de Control.

- Arizo Von MaackAndrésAlejandro (2012). Realizo un trabajo de grado en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico titulado “Automatización de un compresor Ingersoll Rand para la generación de aire comprimido mediante el uso de un controlador lógico programable” para optar por el título de Tecnólogo en Electrónica mención Instrumentación & Aviónica

Diseñó y construyó un tablero de control automatizado a través del PLC`s Logo cumpliendo con los requerimientos de funcionamiento para el compresor Ingersoll Rand en el proceso de generación de aire comprimido, optimizando el espacio y brindando garantías para su buen funcionamiento.

El Autor concluye que para una buena automatización del compresor Ingersoll Rand fue necesario la utilización un controlador lógico programable (PLC) SIEMENS Logo 12/24RC en conjunto con un arrancador suave SIEMENS 3RW44 y el sensor de temperatura PT-100 debido al bajo costo de los mismos y en la facilidad de programación del autómatas programable.

El aporte de esta investigación fue de gran significado, porque nos aclara que para la automatización de un proceso no muy complejo o una maquina se puede optar por un PLC Logo siemens, un arrancador suave Siemens 3RW44, como también se le puede dar uso al sensor de temperatura PT-100 en un proceso que requiera un control de temperatura, debido a la facilidad de programación del PLC y al bajo costo de los mismos en comparación con otros dispositivos que cumplen la misma función

- Mero Vallas Alexander Ronald (2014). *“Estudio, Diseño y Creación de un banco de pruebas de arranque de motores trifásicos con plc para el laboratorio de máquinas eléctricas de la Facultad Técnica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”* trabajo de grado realizado como requerimiento para la obtención del Título de Ingeniería Eléctrico-Mecánico.

Este proyecto de tesis fue elaborado para la creación de un banco de prueba de arranque de motores trifásicos con un plc, para el laboratorio de máquinas eléctricas de la facultad de educación técnica para el desarrollo de la Universidad católica de Santiago de Guayaquil, debido a la falta de recursos de los mismos se elaboró una investigación acerca de

la utilización y las diferentes aplicaciones que presenta este dispositivo PLC S7-1200 con un CPU 1212C

EL diseño y creación de este tablero que en gran parte será destinado a los estudiantes de ingeniería eléctrica-mecánica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil con fines didácticos bastara para el desarrollo de innumerables prácticas con este dispositivo PLC S7-1200, acompañado con elementos de gran calidad como los son: contactores, breakers, relés, pulsadores, térmicos entre otros que forman un equipo ideal de trabajo.

Este proyecto de tesis ayudo de gran manera a determinar una posible solución a lo que es la problemática del sistema de arranque de un motor trifásico, por medio de la utilización de un PLC acompañado decontactores, relés, pulsadores, entre otros dispositivos.

- Joselito Sánchez Pérez (2011). “Diseño e Implementación de un sistema de Automatización para mejorar la producción de carretos en la empresa La Casa de Tornillos SRL” trabajo de tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial.

El presente proyecto fue desarrollado con el fin de diseñar e implementar un sistema de automatización de ensamble para tres procesos (apuntalado, resoldado y rectificado) para la empresa La Casa de los Tornillos SRL de manera que en el proceso de ensamble de carretos se pueda aumentar la productividad y la eficiencia del proceso productivo en ésta área, contribuyendo de esta manera al crecimiento y desarrollo de dicha empresa.

Al implementar el sistema de automatización se logró reducir 150 horas de trabajo de 225 horas, es decir que anteriormente en 225 horas se obtenía una producción de ensamble de 1500 carretos y ahora, en 75 horas se ensambla los1500 reduciendo 150 horas equivalente a 18.5 días y de esta manera se ha aumentado la productividad de 0.94 a 3.72.

De este trabajo se tomaron distintos aspectos y conceptos relacionados a la automatización, además de brindar resultados positivos que se obtienen con la implementación de este sistema, pudiendo así reducir horas de trabajo y aumentar la productividad de un proceso determinado.

1.2. ESTADO DEL ARTE

1.2.1. Antecedentes de la Automatización

Desde que el ser humano tuvo una mayor conciencia de sí mismo ha buscado la forma de mejorar el estándar de su vida y que los sucesos rutinarios sean mucho más fáciles y automáticos sin necesidad de ser supervisados por él, para esto el control juega un importante papel y no es algo que hace poco se descubrió, al contrario, cuenta con una larga historia en donde se encontraba implícito.

Aunque la ingeniería de control no tiene un antecedente bien definido, es muy acertado decir que ya se puede ver aplicado (aunque no con este nombre) desde la antigua Grecia y Arabia más o menos entre los años 300 a.C. y 1200 d.C., en la búsqueda de la medición exacta del tiempo, haciendo aportes importantes en la teoría y en la práctica del control automático.

Las primeras aplicaciones de control se basan en los mecanismos reguladores con flotador desarrollados en Grecia en el periodo 300 a 1 a.C. El reloj de agua inventado en Egipto por el griego Ktesibios aproximadamente en el tercer siglo a.C. usaba un regulador con flotador, pues mantenía el nivel del agua de un tanque a profundidad constante. La lámpara de aceite inventada por Filón aproximadamente en el año 250 a.C., también usaba un regulador con flotador para mantener un nivel constante de aceite. En el primer siglo d.C., Herón de Alejandría publicó un libro titulado Pneumática, en este describe varias formas de mecanismos de nivel de agua, utilizando reguladores con flotador.

Como se puede apreciar, el regulador con flotador fue un instrumento muy importante y muy utilizado para la aplicación de control, donde también fue

aplicado en los juguetes mecánicos de los griegos y otros contruidos por San Alberto Magno durante la Edad Media contaban con este sistema.

Varios ingenieros árabes usaron el regulador de agua para otras aplicaciones y comenzaron a utilizar el principio de control de “todo/nada” entre el año 800 y 1200 d.C., sin embargo en 1258 se perdió el desarrollo del control cuando Bagdad cayó bajo el poder Mongol.

En el año de 1354 se construyó el famoso reloj de Estrasburgo (Suiza), era un reloj hecho de metal en forma de ave que no sólo podía abrir el pico, sino que también era capaz de sacar la lengua, cantar y sobre todo podía extender sus plumas y mover sus alas.

En 1625 apareció por primera vez el término Autómata siendo relacionado por la idea de la Inteligencia Artificial, siendo los trabajos de Héros descubiertos durante el Renacimiento Europeo, sus ideas y apuntes de experimentos lo que inspiró a los inventores y creadores del autómata.

El primer sistema con retroalimentación inventado en la Europa moderna fue el regulador de temperatura de Cornelis Drebbel (1572-1633) de Holanda. Dennis Papin (1647-1712) inventó el primer regulador de presión para calderas de vapor en 1681. Ya que además de controlar el líquido en la caldera, era necesario aprender a regular la presión del vapor para mantenerla constante. El regulador de presión de Papin fue una especie de regulador de seguridad semejante a la válvula de las ollas a presión. En 1707 fue utilizada como un dispositivo de regulación sobre un motor de vapor. Esto se convirtió entonces en un rasgo estándar sobre motores de vapor.

La Revolución Industrial es considerada el principal fenómeno donde se aprecia mayormente el control, pero antes de que se diera ya se contaba con sistemas o mecanismos de control bastante sofisticados en importantes ciudades como los acueductos que transportaban agua sin necesidad de acarrearla, molinos de viento que utilizaba la fuerza del viento para obtener fuerza motriz o encausar el agua; otro ejemplo es el ingenioso sistema mecánico de navegación que siempre

apuntaba al sur y usado en las ruedas de los carruajes de los chinos durante el siglo XII.

El primer regulador con retroalimentación automática usado en un proceso industrial, según se acepta generalmente, fue el regulador centrífugo de James Watt, realizado 1769 para controlar la velocidad de una máquina de vapor. Con la invención de este dispositivo, arranco la Revolución Industrial y la fecha de origen de la ingeniería de control.

Durante la Revolución Industrial en Europa se logró la introducción de motores principales o máquinas auto-conducidas, marcándose la invención de molinos de grano avanzados, hornos, calderas y el motor de vapor en 1712, pero estos dispositivos no se podían regular adecuadamente a mano, por lo que fue fundamental la exigencia de sistemas de control automáticos, dando lugar a dispositivos de control como reguladores de flotador donde los antecedentes de aplicación más temprana que se tiene es la de una patente publicada en 1758 por J. Brindley que consistía en una caldera de vapor, pero fue hasta 1765 cuando Polzunov inventó el primer regulador de flotación y después en 1784 donde S.T. Word utilizó, en su cervecería, un motor de vapor, ya después con la firma de Boulton y Watt en 1791 fue más común usar estos reguladores en los motores de vapor.

En 1624 J. Kepler desarrollo un regulador de temperatura siendo este todo un sistema de control automático para un horno, una incubadora para pollos; pero estos reguladores fueron más estudiados en 1680 por J.J. Becher y fue idea de W. Hernry en 1771 emplearlos en hornos químicos, 95ón de porcelana y acero, y en hospitales, pero no fue hasta que Bonnemain en 1777 desarrollo un regulador de temperatura conveniente para uso industrial. También fue importante regular la presión tanto de vapor como de líquidos y sobre todo mantenerlas constante fue por ello que D. Papin en 1681 creó una válvula de seguridad para una cocina de presión y después la uso sobre un motor en 1707, siendo refinado por R.Delap y M. Murray en 1799.

El inconveniente que se tenía durante y después de la Revolución Industrial era que todos los dispositivos se desarrollaban a base de prueba y error. Ya en 1800 se crea el principio de la producción en masa con el concepto de partes intercambiables desarrollado por Whitney. En 1840 el astrónomo británico G. B. Airy al desarrollar un dispositivo retroalimentado para la orientación de un telescopio que en si consistía en un sistema de control de velocidad automático descubrió errores en el lazo de control retroalimentado siendo el primero en hablar de Inestabilidad en Sistemas de Lazo Cerrado y en usar ecuaciones diferenciales en los análisis.

En el periodo de 1868 se desarrollaron sistemas de control automático inventados intuitivamente y fue J.C. Maxwell quien formuló un modelo matemático del control en términos de ecuaciones diferenciales, analizando la estabilidad de bolas giratorias de Watt y para encontrar la ecuación característica del sistema lineal hizo las ecuaciones diferenciales de movimiento; estudió la estabilidad de un sistema y demostró que las raíces de la ecuación característica tiene partes reales negativas y si el sistema es estable, no fue hasta 1877 que E.J. Routh se proporcionó la técnica numérica para determinar cuándo una ecuación característica tiene raíces estables.

Durante el mismo periodo el ruso I. A. Vishnegradsky analizaba la estabilidad de reguladores que usan ecuaciones diferenciales por separado de Maxwellb y en 1893 A.B. Stodola modeló la dinámica del actuador e incluyó el análisis la tardanza del mecanismo de actuación y estudió la regulación de una turbina de agua que usa las técnicas de Vishnegradsky; fue el primero en mencionar la constante de tiempo del sistema. Ya entre 1892 y 1898 el ingeniero británico O. Heaviside inventó el cálculo operacional estudiando el comportamiento transitorio de los sistemas e introduciendo un equivalente de la función de transferencia.

Posteriormente, en 1913, Henry Ford mecanizó el ensamblaje de automóviles, teniendo trenes de producción establecidos, con lo que redujo el tiempo de

producción de un automóvil, su costo y la cantidad de personal necesario para producirlo.

A principios del siglo 20, empezó a surgir la necesidad industrial de obtener instrumentos capaces de sensar, grabar y controlar presiones, temperaturas y otras cosas. Para el año 1922 había sido mostrado por Minorsky lo valioso de un controlador PID. La función proporcional se conocía desde el comienzo del relé. Sin embargo, la parte integral se conoció hasta los años 20 y la derivativa en los años 30.

En 1927, H. W. Bode analizó los primeros amplificadores retroalimentados, y en 1932 H. Nyquist desarrolló un método para el análisis de la estabilidad de los sistemas; para 1952 se realizó en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) el desarrollo de controladores numéricos para el control de los ejes de máquinas. Durante la Segunda Guerra Mundial, la práctica y la teoría del control automático recibieron un gran impulso, ya que fue necesario diseñar y construir pilotos automáticos para aviones, sistemas de puestos de tiro, sistemas de control por antenas de radar y otros sistemas militares basados en los métodos de control por retroalimentación. Antes de 1940, en la mayoría de los casos, el diseño de los sistemas de control fue un arte que implicaba aproximaciones de prueba y error. Durante la década de 1940, se incrementaron en número y utilidad los métodos matemáticos y analíticos, y la ingeniería de control se convirtió en una disciplina por derecho propio.

En 1954, George Devol desarrolló el primer artefacto programado de transferencia, considerado como el primer diseño de robot industrial y gracias a su diseño de Devol se diseñó el primer robot autómatas.

En ese entonces, tanto la automatización, la robótica, los procesos de manufactura y la ingeniería de producción ya eran consideradas como disciplinas independientes a la ingeniería de control, aun cuando existía una cierta interconexión entre ellas.

Después de la Segunda Guerra Mundial, con el mayor uso de la transformada de Laplace y el plano de frecuencia compleja, las técnicas del dominio de la frecuencia continuaron dominando el campo del control.

Con la llegada de la era espacial, se dio otro nuevo impulso a la ingeniería de control. Fue necesario diseñar sistemas de control complejos y altamente precisos para proyectiles y sondas espaciales.

Además, la necesidad de minimizar el peso de los satélites y de controlarlos con gran precisión ha ampliado el importante campo del control óptimo. A causa de estas necesidades, despertaron gran interés en la última década los métodos del dominio-tiempo debidos a Liapunov, Minorsky y otros.

También L. S. Pontryagin en Rusia y R. Bellman en Estados Unidos desarrollaron nuevas teorías del control óptimo. En la actualidad, parece ser que la ingeniería de control debe considerar simultáneamente tanto el dominio-tiempo como el dominio-frecuencia para el análisis y el diseño de sistemas de control

1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

Placas: Pieza plana y delgada hecha a base de madera.

Rodillos: Pieza metálica de forma cilíndrica utilizado para el manejo y transporte de una gran variedad de objetos

Listones: Piezas de madera realizadas con tabla estrechas y de longitud muy superior al ancho.

Cepilladora: La cepilladora es una máquina herramienta que realiza la operación mecánica de cepillado. Dicha operación consiste en la elaboración de superficies planas, acanalamientos y otras formas geométricas en la pieza

1.4. Automatización

La automatización es la utilización de técnicas y equipos para gobernar un proceso industrial en forma óptima y de manera automática lo cual aumenta la calidad del producto, la flexibilidad y a su vez la productividad.

En términos técnicos, automatización significa el funcionamiento automático de una maquina o conjunto de máquinas, encaminado a un fin único, lo cual permite realizar con poca intervención del hombre una serie de trabajos industriales o administrativos o de investigación.

El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semiindependiente del control humano. La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos [1].

1.4.1. Principio de un Sistema Automático

Los principales objetivos de la automatización son:

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo Integrar la gestión y producción

1.4.2. Estructura General de un Sistema de Automatización Industrial

Se tiene dos áreas bien definidas:

La parte operativa: Se tiene los dispositivos de hardware y software que brindan la información necesaria para llevar a cabo las operaciones de la planta, con una interfaz amigable y entendible para el operador.

La parte control: Se encuentran los dispositivos de control (PLC's, DCP's o PC's industriales) que realizan las acciones de control en conjunto con los actuadores

1.4.3. Principio de un Sistema Automático

Un elemento esencial de todos los mecanismos de control automático es el principio de realimentación, que permite al diseñador dotar a una máquina de capacidad de auto corrección. Un ciclo o bucle de realimentación es un dispositivo mecánico, neumático o electrónico que detecta una magnitud física como una temperatura, tamaño o velocidad, la compara con una norma preestablecida, y realiza aquella acción pre programada necesaria para mantener la cantidad medida dentro de los límites de la norma aceptable [1].

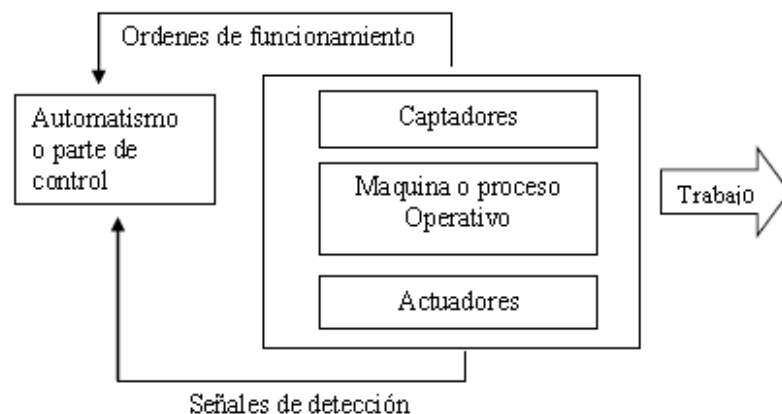


Figura 1. 1: Funcionamiento de un Automatismo

1.4.4. CLASIFICACION TECNOLOGICA.

En función de la tecnología empleada para la implementación del sistema de control, se puede distinguir entre automatismos cableados y automatismos programados.

1.4.4.1. Automatismos cableados

Se implementan por medio de uniones físicas entre los elementos que forman el sistema de control (por ejemplo, contactores y relés unidos entre sí por cables eléctricos). La estructura de conexión entre los distintos elementos da lugar a la función lógica que determina las señales de salida en función de las señales de entrada. Se pueden distinguir tres tecnologías diferentes:

- Fluídica (neumática o hidráulica).
- Eléctrica (relés o contactores).
- Electrónica estática (puertas lógicas y biestables).

Los inconvenientes fundamentales de los automatismos cableados son:

Ocupan mucho espacio.

Son muy poco flexibles. La modificación o ampliación es difícil.

Solo permiten funciones lógicas simples. No sirven para implementar funciones de control o de comunicación complejas.

Las ventajas de los automatismos cableados son:

- Pueden ser muy robustos.
- Bajo coste para sistemas muy sencillos.
- Es una tecnología muy fácil de entender por cualquier operario.

En general se puede afirmar que los automatismos cableados solo tienen utilidad para resolver problemas muy sencillos (por ejemplo, un arranque estrella triángulo de un motor de inducción).

1.4.4.2. Automatismos programados

Se implementan por medio de un programa que se ejecuta en un microprocesador.

Las instrucciones de este programa determinan la función lógica que relaciona las entradas y las salidas. Se pueden distinguir 3 formas de implementación:

- **Autómata programable industrial.** Hoy por hoy es el que más se utiliza en la industria. Es un equipo electrónico programable en un lenguaje específico, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales. Se utilizan para el control de máquinas y procesos.
- **Ordenador (PC industrial).** Cada vez se utilizan más. Son ordenadores compatibles con los PC de sobremesa en cuanto a software, pero cuyo hardware esta especialmente diseñado para ser robusto en entornos industriales.
- **Microcontrolador.** Son circuitos integrados (“chips”) programables, que incluyen en su interior un microprocesador y la memoria y los periféricos necesarios. Para utilizarlos, normalmente se diseña una tarjeta electrónica específica para la aplicación, que incluye el propio microcontrolador y los circuitos electrónicos de interfaz necesarios para poder conectarse a los sensores y actuadores. Se utilizan sobre todo para sistemas de control de máquinas de las que se van a fabricar muchas unidades, de forma que la reducción de coste por el número de unidades fabricadas justifica la mayor dificultad (y mayor coste) del diseño.

Las ventajas más importantes de los automatismos programados son:

- Permiten una gran flexibilidad para realizar modificaciones o ampliaciones.
- Permiten implementar funciones de control y de comunicación complejas.
- Ocupan poco espacio.

Los inconvenientes respecto de los sistemas cableados son fundamentalmente el mayor coste (solo si el sistema es muy sencillo), la menor robustez y la mayor complejidad de la tecnología. Sin embargo, estos inconvenientes cada vez lo son menos, pues el coste se reduce continuamente, cada vez se diseñan equipos más robustos, y los sistemas de programación son cada vez más sencillos.

En resumen, se puede afirmar que la tecnología programada (y en especial los autómatas programables) es superior a la tecnología cableada, salvo en automatismos que sean extremadamente simples.

Las naturalezas físicas de las señales de entrada y salida dependen de la tecnología del automatismo. Por ejemplo, un automatismo puramente neumático tiene como entradas señales de presión de aire, y dan como salida señales de presión de aire. Lo más habitual en la industria son los automatismos de naturaleza eléctrica (cableados o programados). En este caso las señales de entrada y de salida son señales eléctricas. Los sensores se encargarán de convertir las magnitudes físicas en señales eléctricas, mientras los actuadores transforman las señales eléctricas en acciones físicas sobre el proceso.

1.4.5. La Seguridad en los Automatismos

Un aspecto que tiene especial importancia en la implementación de automatismos es la seguridad. Esta se debe tener en cuenta de dos formas. Por una parte, se debe definir la secuencia de operaciones del proceso de forma que se garantice en todo momento la seguridad de los operarios. Por ejemplo, una prensa en la que el operario introduce una chapa para después darle al pulsador de marcha. La secuencia del automatismo debería permitir la puesta en marcha de la prensa solo cuando el operario pulsa de forma simultánea dos pulsadores separados. De esta forma se garantiza que las dos manos quedan fuera de la prensa cuando esta actúa.

Tener en cuenta la seguridad en la secuencia del automatismo no es, sin embargo, suficiente, ya que si por alguna razón falla el sistema de control pueden producirse situaciones de peligro. En función del nivel de riesgo puede ser necesario utilizar en la implementación una tecnología adecuada que garantice la seguridad. Por ejemplo, si el automatismo se implementa mediante un autómata programable y se quiere garantizar que la apertura de una puerta produzca la parada instantánea de la máquina, no basta con definir la secuencia para que así sea, sino que hay que utilizar un interruptor y un relé de seguridad

que corte la alimentación de la máquina independientemente del autómatas programable que la controla.

La tecnología utilizada en la implementación del automatismo deberá tener en cuenta la seguridad, pudiendo ser necesaria la utilización de elementos especiales para implementar alguna de las funciones del automatismo [1].

1.4.6. REPRESENTACION DE LOS AUTOMATISMOS

La función lógica implementada por un automatismo se puede representar de diversas formas. Las 2 formas tradicionales son la lógica de contactos y las puertas lógicas, que permiten representar funciones lógicas sencillas. Hay otras formas de representación del automatismo que están a un nivel superior. Sirven para definir funcionalmente un automatismo secuencial completo. Entre ellas se pueden destacar los diagramas de flujo y el GRAFCET [2].

1.4.6.1. Lógica de Contactos (de réles).

Las variables binarias se representan mediante contactos que están cerrados o abiertos según éste activa (1) o inactiva (0) la variable en cuestión. La combinación (conexión) de contactos en serie y paralelo permite representar una función lógica. Por ejemplo, la figura 1.2 representa la función lógica $y = a \cdot b + c$.

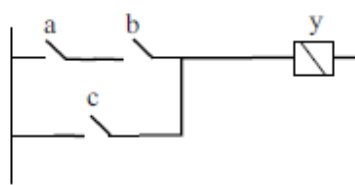


Figura 1. 2: Función Lógica $Y = a \cdot b + c$

La línea vertical izquierda representa tensión (por ejemplo 24 V) mientras la línea vertical derecha representa la masa (0 V). Si a y b están activas los contactos están cerrados, y la salida (bobina) y queda sometida a 24 V, con lo que se activa. Lo mismo sucede si c esta activa.

El origen de esta representación está en la implementación física mediante contactores, que fue la primera forma que se utilizó para implementar los automatismos. De hecho, la representación del diagrama de contactos es

directamente el cableado de los contactores. Hoy en día la mayoría de automatismos son programados, sin embargo, esta sigue siendo la forma más habitual de representar las ecuaciones lógicas de los automatismos. La representación de contactos suele utilizar los símbolos de la figura 1.3, en lugar de los interruptores.

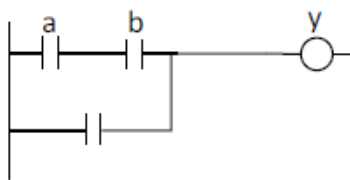


Figura 1. 3: Representación en diagrama de contactos de $Y=a*b + c$

1.4.6.2. Puertas Lógicas

La función lógica se representa mediante compuertas lógicas (puertas AND, NAND, OR y NOR). Por ejemplo, la figura 1.4 representa la función lógica $y = a \cdot b + c$.

Es la representación utilizada cuando el automatismo se implementa con circuitos electrónicos digitales.



Figura 1. 4: Representación mediante puertas lógicas de $y = a \cdot b + c$.

1.4.6.3. Diagrama de Flujo

Es una forma de representación de más alto nivel que las dos anteriores. Consiste en un diagrama con dos tipos de elementos, los nodos de decisión y los nodos de actuación o tratamiento. Por ejemplo, el diagrama de flujo de un arrancador estrella-triángulo se puede representar mediante diagrama de flujo tal y como muestra la figura 1.6.

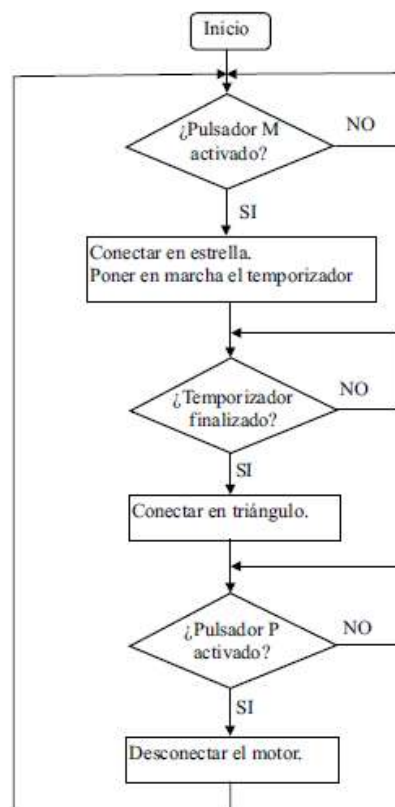


Figura 1. 5: Diagrama de flujo del arrancador estrella triángulo

Esta forma de representación de alto nivel explica el funcionamiento del automatismo. Sin embargo, para la implementación final en el equipo de control (autómata programable, por ejemplo) es necesario traducir el diagrama de flujo a una representación de bajo nivel (como el diagrama de contactos, por ejemplo) [2].

1.4.6.4. GRAFCET.

También se trata de una representación de alto nivel de los automatismos. Se llama también diagrama de etapa-transición. En esta representación se tienen cuadrados que representan las etapas del automatismo, y transiciones entre ellas. El ejemplo del arrancador anterior se puede representar como se muestra en la figura 1.6:

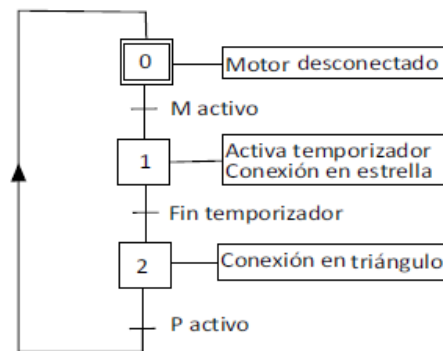


Figura 1. 6: Diagrama Grafcet del arrancador estrella triángulo.

Estas formas de representación del automatismo de alto nivel son muy útiles para explicar el funcionamiento del proceso y facilitar el diseño. La implementación final, sin embargo, se hace generalmente con la representación de contactos, por lo que es necesario traducir estos diagramas a esa forma de representación de bajo nivel. Algunos autómatas programables industriales permiten ser programados utilizando diagramas GRAFCET de alto nivel, realizándose de forma automática la traducción al lenguaje de bajo nivel de forma transparente para el usuario [3].

CAPITULO 2

TECNOLOGIA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

2.1. DESCRIPCION TECNOLOGICA DEL AUTOMATISMO

La descripción tecnológica del automatismo es el conjunto de elementos físicos que lo forman. En concreto, estos elementos son los sensores, los actuadores y el sistema de control. Por otra parte, está la descripción funcional, que se refiere a las características de funcionamiento del sistema automatizado [4].

Los sensores son los elementos que permiten obtener información de lo que sucede en el proceso. Se pueden distinguir dos tipos de sensores, según la información que proporcionan:

- **Detectores.** Son los sensores que proporcionan una salida binaria (activa o inactiva). Son los que más se utilizan en los automatismos secuenciales. Los más frecuentes son los detectores de proximidad, que normalmente detectan la presencia de un objeto, aunque también son frecuentes los detectores de nivel, de temperatura o de presión.
- **Captadores.** Son los sensores que proporcionan una salida continua proporcional a una magnitud física. Esta salida puede ser analógica (en tensión o en corriente), o digital (codificada en binario, o en forma de pulsos). Los captadores se utilizan en los sistemas de control continuo (como los PID), en los que se controla una variable continua. En automatismos secuenciales también son frecuentes, utilizándose el valor continuo para obtener un valor binario mediante comparación con un límite determinado (la temperatura es superior o inferior a 70°, por ejemplo).

Los actuadores son los elementos que permiten traducir las señales eléctricas de salida del sistema de control en actuaciones físicas sobre el proceso. Fundamentalmente pueden ser neumáticos, hidráulicos o eléctricos. En los tres casos se distingue entre pre-actuadores y actuadores. Los pre-actuadores neumáticos e hidráulicos son las electroválvulas, mientras los actuadores son principalmente los cilindros (aunque también hay actuadores de giro neumáticos o hidráulicos).

Los pre-actuadores eléctricos pueden ser los relés o contactores, o equipos más complejos como variadores de frecuencia, mientras que los actuadores eléctricos por excelencia son las máquinas eléctricas (principalmente rotativas, aunque también las hay de movimiento lineal). También son actuadores eléctricos las resistencias calefactoras.

El sistema de control está formado normalmente por un autómata programable industrial (aunque también puede ser un PC industrial o una tarjeta basada en microcontrolador) [3].

2.2. DETECTORES DE PROXIMIDAD

Definición: los detectores de proximidad son aquellos que se activan o desactivan en función de la presencia o ausencia de un objeto.

Clasificación: los detectores de proximidad se pueden clasificar por el principio físico en que se basan en:

- Final de carrera (mecánico).
- Fotoeléctrico (óptico).
- Inductivo.
- Capacitivo.
- Magnético.
- Ultrasonidos.

Los más simples son los finales de carrera, ya que se basan en la apertura o cierre de un interruptor por el contacto físico del objeto a detectar. El resto de detectores no necesitan el contacto del objeto, pero en cambio requieren de una electrónica adicional que procesa la señal correspondiente para decidir si hay o no un objeto en la proximidad, activando en su caso la salida correspondiente. En el caso de los finales de carrera, la salida del detector es siempre un contacto que abre o cierra, mientras que el resto de detectores puede tener una salida de contacto (o relé), o bien de otros tipos (transistor o triac, por ejemplo).

2.2.1. FINALES DE CARRERA

Son interruptores que se abren o cierran debido al contacto físico del objeto a detectar. Pueden tener un solo contacto, o varios de ellos. Es habitual que tengan un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto. Estos contactos suelen tener una tensión nominal de 220V, y una corriente de varios amperios. Se pueden conectar entre la alimentación y la carga, o entre la carga y masa. La carga puede ser la bobina de un contactor o relé, o cualquier elemento que se active al conectar sus bornes a una diferencia de tensión. Un ejemplo típico de carga es la entrada digital de un autómatas programable. La figura 2.1 muestra

una entrada digital a 24 V de un autómata programable y la bobina de un contactor o electroválvula representando la carga estándar.

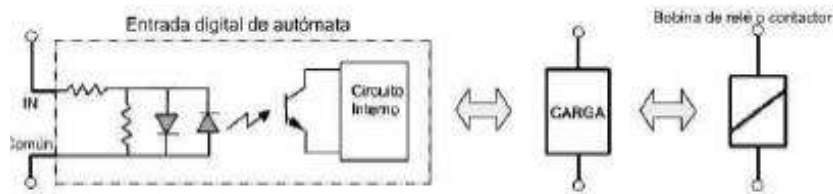


Figura 2. 1: Representación de una carga estándar

Figura 2.1: Representación de una carga estándar

La carga se activará cuando quede sometida a su tensión nominal. La entrada del autómata se activa a 24 V, tanto de tensión continua como de alterna. La bobina puede activarse a 24 V de continua, 24 V de alterna o 220 V de alterna, según el tipo de bobina. El circuito de salida del detector será el que, al activarse, pondrá la carga a tensión tal y como muestra la figura 2.2.

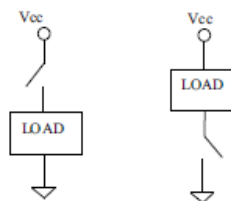


Figura 2. 2:Activación de la carga

La forma de actuación (el elemento de mando con el que el objeto contacta) puede ser:

- Pulsador.
- Pulsador con roldana.
- Palanca.
- Palanca con roldana.
- Palanca flexible.

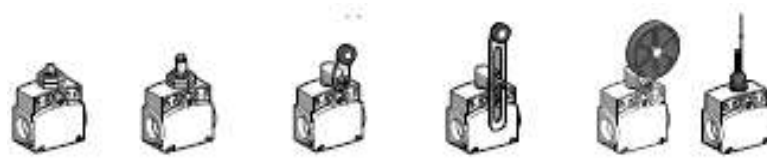


Figura 2. 3: Finales de carrera con diferentes elementos de mando.

Los finales de carrera pueden tener un único contacto NO o NC, pero normalmente incorporan al menos dos contactos tal y como se muestra en la figura 2.4

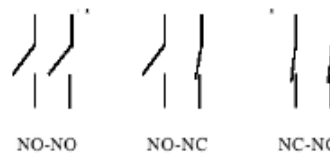


Figura 2. 4: Contactos NO y NC

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS DETECTORES SIN CONTACTO

El final de carrera es el único elemento que necesita que el objeto a detectar contacte físicamente con el sensor. Los demás tipos detectan el objeto sin contacto físico. Para estos detectores sin contacto se definen dos conjuntos fundamentales de características:

Características de detección. Materiales que puede detectar, distancia de detección, histéresis. Estas características dependen mucho del tipo de detector, por lo que se describirán para cada tipo por separado.

Características de salida y alimentación. Tipo de señal de salida que proporcionan (transistor, relé, triac, etc.), frecuencia (o retardo) de conmutación, tensión de alimentación. Estas características son comunes para todos los tipos (excepto los finales de carrera).

Respecto a las características de salida y alimentación, estas están relacionadas con la forma de conexión de la carga sobre la que actúa la salida del detector.

En el mercado hay muchos modelos con salidas y alimentación diferentes. Los siguientes tipos son los más utilizados:

- 3 hilos NPN, con alimentación continua (normalmente 24 V).

- 3 hilos PNP, con alimentación continua (normalmente 24 V).
- NPN / PNP programable con alimentación continua.
- 2 hilos con alimentación continua o alterna.
- Con salida a relé. Alimentación alterna o continua.
- Salida analógica.
- 2 hilos NAMUR.
- Otros. Salida triac, salida MOSFET, etc.

2.2.2.1. Tres Hilos NPN, con alimentación continua

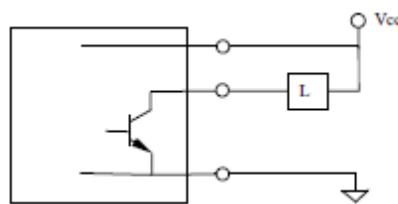


Figura 2. 5: Detector con salida NPN.

La carga se conecta tal y como muestra la figura 2.5 entre el colector del transistor y Vcc (que suele ser 24 Vdc), de forma que cuando el transistor este cortado, la carga está en circuito abierto, mientras que cuando el transistor satura, la carga queda sometida prácticamente a la tensión de alimentación (la caída de tensión del transistor es menor de 1 V en saturación).

Normalmente suele ser NO. En ese caso el transistor satura cuando se detecta el objeto, estando en corte cuando no se detecta. También puede ser NC, actuando, al contrario, o tener dos salidas (en ese caso tiene 4 hilos), una NO y otra NC.

El tiempo de retardo de este tipo de salida (tiempo transcurrido entre que se detecta el objeto y se satura el transistor) es muy bajo, estando en el rango de 30 μ s a 1 ms.

La corriente máxima que puede conducir el transistor en saturación suele ser del orden de 100 mA. Evidentemente la carga debe consumir una corriente inferior a esta. La caída de tensión en saturación es muy baja (menor de 1 V), por lo que a efectos de la carga se puede considerar como un cortocircuito.

2.2.2.2. Tres Hilos PNP, con alimentación continua

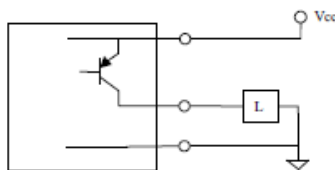


Figura 2. 6: Detector con salida PNP.

La carga se conecta tal y como muestra la figura 2.6 entre el colector del transistor y masa, de forma que cuando el transistor está cortado, la carga está en circuito abierto, mientras que cuando el transistor satura, la carga queda sometida prácticamente a la tensión de alimentación, normalmente de 24 Vdc (la caída de tensión del transistor es menor de 1 V en saturación).

Existen modelos NO, NC y ambos (con 4 hilos), exactamente igual que en los NPN. Las demás características (tiempo de retardo y corriente máxima) son iguales a los NPN.

2.2.2.3. Salida Analógica.

La salida varía de forma continua según cambia la magnitud detectada (que depende del tipo de sensor). Según esto, ya no se trataría de un detector sino de un captador. Sin embargo, se clasifican dentro de los detectores porque su objetivo no es medir la magnitud (no tienen precisión para ello), sino simplemente dar una salida variable que permita distinguir entre varios objetos detectados. Por ejemplo, un detector inductivo con salida analógica da una salida mayor cuanto más cerca este el objeto a detectar. Esta salida se puede utilizar para distinguir si se trata de un objeto u otro.

La salida puede ser en tensión o en corriente:

Tensión 0 -10 V. La salida requiere una impedancia de carga mínima. Un valor típico mínimo puede ser de 1 K Ω . El esquema de conexión es el indicado en la figura 2.7.

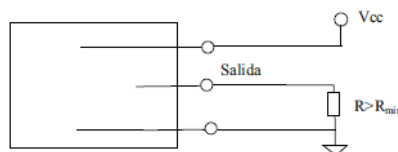


Figura 2. 7: Detector con salida analógica de tensión.

Corriente 4 - 20 mA. La salida en corriente requiere una impedancia de carga menor que un valor máximo admisible. Un valor típico máximo es de $500 \, \Omega$. El esquema de conexión es el indicado en la figura 2.8.

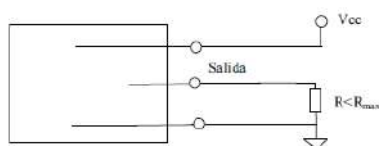


Figura 2. 8: Detector con Salida analógica de corriente.

2.2.3. DETECTORES OPTICOS O FOTOELECTRICOS

También llamados fotocélulas. Constan de un emisor de luz, y un receptor que detecta la luz emitida. El emisor es un diodo LED, mientras el receptor es un fotodiodo o fototransistor, con la electrónica necesaria de amplificación.

Normalmente, disponen de lentes adecuadas para enfocar la luz emitida y recibida y mejorar así el alcance de detección. Se utiliza para la detección de todo tipo de objetos. La detección se produce por el cambio en la cantidad de luz recibida por el receptor debido a la presencia del objeto.

El tipo de luz suele ser infrarroja, aunque en determinadas aplicaciones se usa también luz roja (cuando se desea que el haz de luz sea visible). El LED se suele atacar con una señal pulsante de frecuencia elevada (5 kHz) y un ciclo de trabajo bajo (5 %). De esta forma, se optimiza la intensidad de luz máxima emitida, y por tanto el alcance. El receptor suele sincronizarse con esta señal pulsante del emisor, lo que mejora la robustez frente a la detección de luz ambiente o de luz de otros detectores.

Se puede considerar el detector fotoeléctrico formado por 3 partes: parte emisora y receptora de luz, parte de amplificación y tratamiento electrónico, parte de salida. La parte de salida puede ser del tipo PNP, NPN o salida a relé. La parte

de amplificación es la encargada de decidir si el cambio en la cantidad de luz detectada es suficiente para provocar un cambio del estado lógico de la salida. Se define el margen de operación (también llamado ganancia) como el cociente entre la cantidad de luz recibida y la cantidad de luz mínima necesaria para producir la activación de la salida. Cuanto más alto sea el margen, más robusto será el detector a la suciedad.

En muchos casos los detectores disponen de un potenciómetro de ajuste que permite modificar la sensibilidad, es decir, la cantidad mínima de luz necesaria para que se active la salida.

Se pueden distinguir tres tipos de detectores fotoeléctricos en función de cómo interviene el objeto en la modificación de la cantidad de luz recibida: de barrera, réflex y difuso (o de proximidad) [4].

2.3. DETECTOR DE TEMPERATURA TC

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Por ejemplo, una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de constantan (aleación de cobre y nickel). Al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 milivolts.



Figura 2. 9: Ejemplo de funcionamiento de Termocupla tipo J

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal) [7]

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J o del tipo K.

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Tabla 2.1: Comparación de los distintos tipos de Sensor Termocupla

La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal (no es una recta), es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la **linealización**, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla [6].

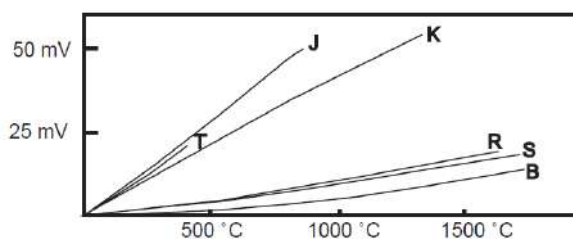


Figura 2. 10: Relación temperatura-tensión de los tipos de termocupla

2.4. Actuadores

Los actuadores son los elementos que convierten las señales eléctricas del equipo de control en acciones físicas sobre el proceso. Se puede distinguir entre pre-actuadores y actuadores. El pre-actuador es el elemento que actúa de interfaz, recibiendo como entrada la señal eléctrica y actuando sobre el actuador. Los más utilizados en la industria son aquellos que permiten regular el paso de fluidos por un conducto (válvulas, bombas y ventiladores), y aquellos que

permiten realizar un movimiento en objetos que se manipulan o en partes de una maquina (cilindros neumáticos e hidráulicos, y motores eléctricos) [3].

2.4.1. Actuadores Eléctricos

Los actuadores eléctricos por excelencia son los motores eléctricos. Los motores eléctricos más utilizados en automatización son:

Motores de inducción. Son los más económicos. Funcionan con tensión alterna trifásica. Se utilizan, fundamentalmente, para aplicaciones donde se controla la velocidad (no la posición). Aplicaciones típicas son las cintas transportadoras, ventiladores, bombas, compresores, etc.

Motores brushless de imanes permanentes. Son los que se han desarrollado más recientemente, gracias a los potentes imanes de tierras raras descubiertos no hace muchos años. Para su conexión necesitan un equipo electrónico específico, que puede tener alimentación monofásica o trifásica, aunque el motor en sí es trifásico (el equipo de control es el encargado de dar tensión a las tres fases). Tienen unas características de par/velocidad muy buena, por lo que se utilizan sobre todo en aplicaciones de control de posición (para control de velocidad también funcionan bien, pero los de inducción son más baratos). Prácticamente han sustituido a los motores de continua en las aplicaciones de posicionado, debido a que su mantenimiento es mucho más simple (no hay escobillas rozantes), y a que los equipos de control tienen precios cada vez más bajos.

Motores paso a paso. Son motores que avanzan a pasos, es decir, a incrementos angulares determinados. Se necesita un equipo de control específico que es el encargado de alimentar los devanados del motor, conmutando las fases de la forma adecuada para que el motor avance o retroceda un paso. Tienen la gran ventaja sobre los demás motores de que, si no se pierde el paso, la posición del motor es perfectamente conocida sin necesidad de sensor (encoder o resolver). La posibilidad de pérdida del paso depende del par resistente que tienen que vencer. Se utilizan sobre todo en

aplicaciones donde el par es pequeño y no se requieren grandes aceleraciones; fundamentalmente, para el posicionado de ejes.

Motores de continua. Son los que más se han utilizado históricamente para controlar la posición y velocidad de ejes debido a su excelente característica par/velocidad. Pueden funcionar conectándolos directamente a una tensión continua, pudiendo variar la velocidad variando esa tensión.

Normalmente, se atacan por medio de un equipo de control específico para motores de continua. Hoy en día se utilizan cada vez menos, ya que están siendo sustituidos por motores de inducción con variadores de frecuencia (para control de velocidad), y por motores brushless (para control de posición).

Resistencias calefactoras. Se utilizan, sobre todo, en sistemas térmicos para calentar (como hornos, por ejemplo) [3].

2.4.1.1. Componentes Eléctricos

Los pre-actuadores eléctricos por excelencia han sido siempre los contactores y los relés. Cuando se activa la bobina de mando de estos elementos se cierran los contactos permitiendo la conexión o desconexión de motores de diversos tipos. El desarrollo de equipos electrónicos de potencia ha aumentado el número de lo que se considera pre-actuadores eléctricos, así como las funciones que llevan integradas.

2.4.1.1.1. Contactor

El contactor es un aparato de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Es la pieza clave del automatismo en el motor eléctrico. Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores. Excepto los pequeños motores individuales, que son accionados manualmente, el resto de motores se accionan por contactores.

Un contactor está formado por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito.

La bobina es un electroimán que acciona los contactos, abriendo los cerrados y cerrando los contactos abiertos. Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo.

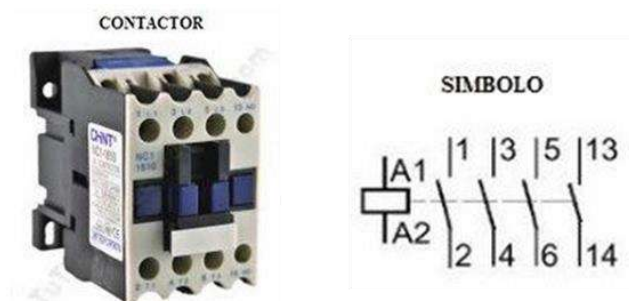


Figura 2. 11: Imagen de un Contactor Electromecánico

Un contactor es una estructura muy simple; consta de las siguientes partes:

- Carcaza.
- Circuito electromagnético.
- Contactos.

Carcaza: Es el órgano de sustentación de todos los demás componentes del contactor, se construye de material aislante (plásticos o baquelita).

Circuito electromagnético: El circuito electromagnético no es más que el electroimán del contactor; es donde se crea un fuerte campo magnético que permite el accionamiento de los contactos del contactor.

Contactos: Son los elementos cuyo objetivo es cerrar o abrir los circuitos conectados al contactor. Un contacto está compuesto de dos partes fijas colocadas en la carcasa y una parte móvil ubicada en la armadura [8].

2.4.1.1.2. Relé

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor

y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán [9].

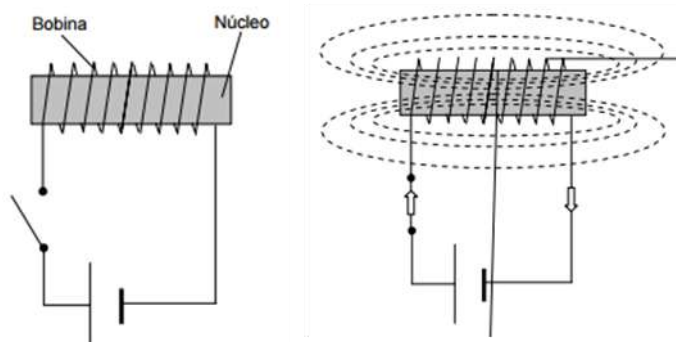


Figura 2. 12: Estructura interna de un relé.

2.4.1.1.3. Relé Térmico

Se emplea como protección de los motores eléctricos y basa su funcionamiento en el calentamiento de los conductores por los que circula la corriente eléctrica. El elemento fundamental de un relé térmico, lo constituye una lámina bimetálica. Esta está compuesta, como lo dice su nombre, por dos láminas de diferentes metales que están unidas mediante soldadura o remachado. Generalmente, estas placas están fabricadas una aleación de hierro y níquel, y de latón. Este sistema basa su funcionamiento en la dilatación específica de cada metal cuando es calentado. Si se calientan láminas de iguales metales, su deformación (alargamiento) será el mismo para ambas; pero si es una lámina de diferentes metales, esta deformación será desigual, combándose la lámina hacia el metal con menor dilatación térmica [8].



Figura 2. 13: Imagen de un Relé térmico de la marca Telemecanique [10].

2.4.1.1.4. Relé de Estado Sólido

Un relé de estado sólido (SSR en inglés) es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Los SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas. El relé puede estar diseñado para conmutar corriente alterna o continua. Hace la misma función que el relé electromecánico, pero sin partes móviles.

Los relés de estado sólido utilizan semiconductores de potencia como tiristores y transistores para conmutar corrientes hasta más de 100 amperios. Los relés SSR pueden conmutar a muy altas velocidades (del orden de milisegundos) en comparación a los electromecánicos, y no tienen contactos mecánicos que se desgasten. A la hora de aplicar este tipo de relés debe tenerse en cuenta su baja tolerancia para soportar sobrecargas momentáneas, comparado con los relés electromecánicos, y su mayor resistencia al paso de la corriente en su estado activo [11].



Figura 2. 14: Imagen de un relé de estado sólido trifásico marca METALTEX
[12]

2.4.1.1.5. Fusible

Los fusibles son el medio más antiguo de protección de los circuitos eléctricos y se basan en la fusión por efecto Joule de un hilo o lámina intercalada en la línea

como punto débil. La construcción de los fusibles comprende una gran variedad de modelos, con distintos tamaños, formas y métodos de montaje; y para ser utilizados con diferentes gamas de tensión, corriente y tiempos de actuación. Así hay fusibles con montaje a rosca, a cuchilla o cilíndricos; hay fusibles de acción rápida o retardada; hay fusibles de alta capacidad de ruptura, etcétera. En ciertos casos, se fabrican en distintos tamaños, para evitar la instalación errónea de fusibles de características diferentes a las necesarias [8].



Figura 2. 15: Imagen de fusibles Diazed / Silized / Neozed de la marca Siemens [13]

2.4.1.1.6. Interruptor Termomagnético

Un interruptor magnetotérmico, interruptor termomagnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

Una vez que se detecta falla, los contactos del breaker deben abrir para interrumpir el circuito; parte de la energía almacenada mecánicamente (usando algo como resortes o aire comprimido) [8].



Figura 2. 16: Imagen de un Interrupor termomagnético de la marca Weg [14]

Sistemas de Arranque de Motores asíncronos

Durante el arranque de un motor, se consume una corriente muy elevada que puede hacer caer la tensión de la red principal lo suficiente como para afectar al funcionamiento normal de los receptores conectados a ella. Esta caída podría ser lo suficientemente severa como para que se note en la iluminación. Para evitar esto, algunas normativas prohíben el uso de motores con arranque directo a partir una cierta potencia.

2.4.1.1.7. Arranque Directo

Se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla directamente a la red. El motor se basa en sus características naturales para arrancar. Se aplica a aquellos motores de una potencia nominal menor 5 HP. En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula muy poco resistente del rotor, está en cortocircuito [8].

La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales.

A pesar de las ventajas que conlleva (sencillez del equipo, elevado par de arranque, arranque rápido, bajo coste), sólo es posible utilizar el arranque directo en los siguientes casos:

- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico (por ejemplo, un reductor) que impide el arranque brusco.

- El par de arranque debe ser elevado

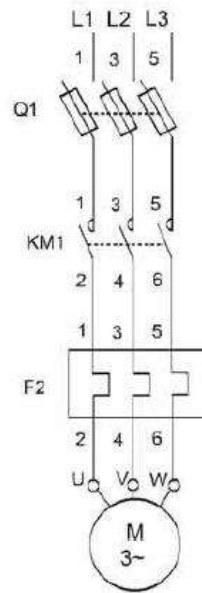


Figura 2. 17: Arranque Directo de un Motor Trifásico.

Se obtiene una punta de corriente importante en la red:

$I_{\text{arranque}} = 5 \text{ a } 8 I_{\text{nominal}}$.

El par de arranque medio es: $C_{\text{arranque}} = 0,5 \text{ a } 1,5 C_{\text{nominal}}$.

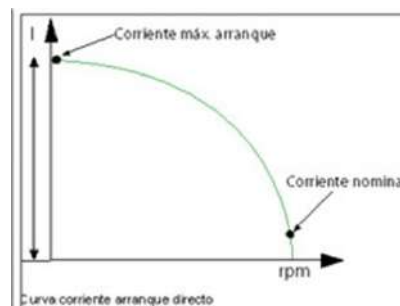


Figura 2. 18: Arranque Directo de un Motor Trifásico.

2.4.1.1.8. Arranque Estrella-Triangulo

Solo es posible utilizar este modo de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estatóricos vuelvan a la placa de bornes. Por otra parte, el devanado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triangulo corresponda con la tensión de la red: Por ejemplo, en

red trifásica de 380 V, es preciso utilizar un devanado a 380 V en triángulo y 660 V en estrella.

El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir por $\sqrt{3}$ la tensión nominal del motor en estrella (en el ejemplo anterior, la tensión de la red 380 V = $660/\sqrt{3}$).

La punta de corriente durante el arranque se divide por 3: $I_d = 1,5$ a $2,6 I_n$.

Un motor de 380 V/660 V acoplado en estrella a su tensión nominal de 600 V absorbe una corriente $\sqrt{3}$ veces menor que si se acopla en triángulo a 380 V. La corriente se divide nuevamente por $\sqrt{3}$, por lo que en total se divide por 3.

El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación: $C_d = 0,2$ a $0,5 C_n$.

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y el 85 % de la velocidad nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor rinde según sus características naturales. Un temporizador se encarga de controlar la transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo. El cierre del contactor de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor estrella y se restablece con el cierre del contactor de triángulo. El paso al acoplamiento en triángulo va acompañado de una punta de corriente transitoria, tan breve como importante, debida a f_{cem} del motor.

El arranque estrella-triángulo es apropiado para las máquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío. Dependiendo del régimen transitorio en el momento del acoplamiento en triángulo, puede ser necesario utilizar una variante que limite los fenómenos transitorios cuando se supera cierta potencia; existen varios sistemas [8].

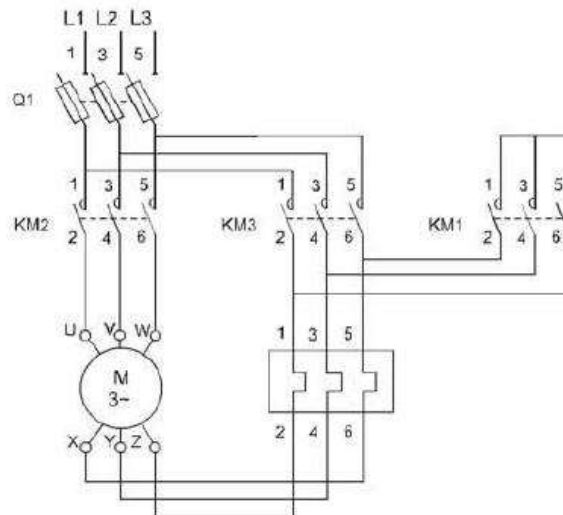


Figura 2. 19: Arranque Estrella-Triangulo

2.4.1.1.9. Arranque con Variador de Velocidad

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asíncronos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red. A tensión y frecuencia de placa del motor se comporta de acuerdo al gráfico siguiente:

2.4.1.1.9.1. Convertidor de Frecuencia

Se denominan así a los variadores de velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajando en modulación de ancho de pulso generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable. Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la

energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior. A continuación, se muestra un diagrama electrónico típico:

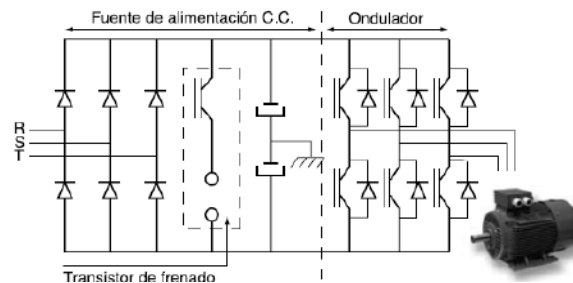


Figura 2. 20: Estructura interna Variador Velocidad.

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo.

Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, etc.), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo. Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será.

En el gráfico se observa que desde 1Hz hasta los 50 Hz el par nominal del motor está disponible para uso permanente, el 170% del par nominal está disponible durante 60 segundos y el 200% del par nominal está disponible durante 0,2 seg [15].

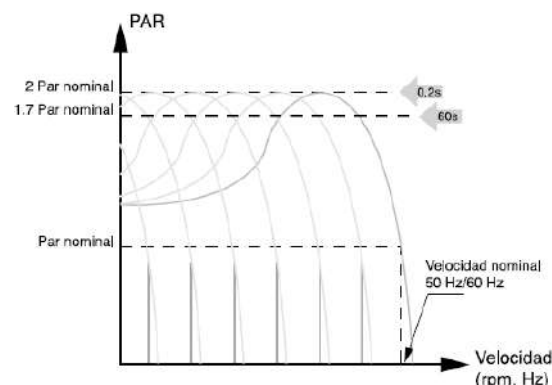


Figura 2. 21: Relación par-velocidad con convertidor de Frecuencia.

2.4.2. Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos por excelencia son los cilindros, cuyo esquema básico está representado en la figura 2.22. Estos se mueven por acción del aire comprimido que actúa a uno de los lados del pistón. Los hay de doble efecto (los más habituales) y de simple efecto. Los de doble efecto pueden hacer fuerza en los dos sentidos, en función de que se conecte a presión una u otra cara del embolo. Los de simple efecto solo pueden hacer fuerza en un sentido, incorporando un resorte para llevar el pistón a su posición de reposo cuando deja de actuar la fuerza del aire [16].

La figura 2.23 muestra la estructura interna de un cilindro de doble efecto.

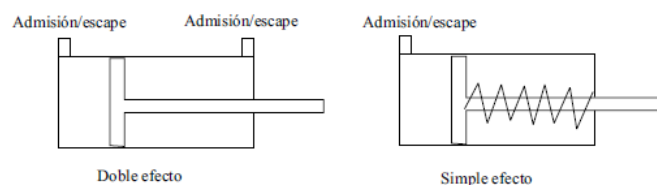


Figura 2. 22: Representación esquemática de cilindros neumáticos de simple y de doble efecto.

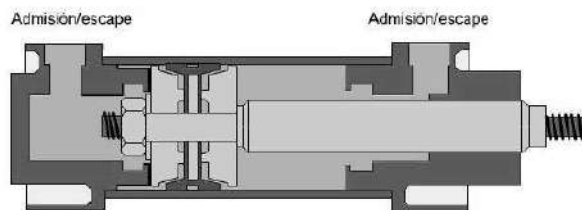


Figura 2. 23: Estructura interna de un cilindro de doble efecto.

El vástago del cilindro es el que actúa sobre el sistema, empujando o estirando para producir el movimiento. Pueden hacer fuerzas importantes, ya que la presión del aire suele estar entre 6 y 10 kg/cm², y la sección del cilindro puede ser grande (100 cm² o más).

Existen cilindros de muchos tipos. Algunos llevan un mecanismo anti giro para evitar que el embolo gire. Otros no llevan vástago, y se utilizan cuando las carreras son largas porque de esta forma la longitud total es la de la carrera, y no el doble.

Para que los cilindros actúen es necesario poner a presión una parte del cilindro y a escape (al aire) la otra. Esto se consigue generalmente mediante electroválvulas, que son los pre-actuadores neumáticos por excelencia.

Las electroválvulas se caracterizan por el número de vías y el número de posiciones. El número de vías es el número de conductos que se pueden conectar a la electroválvula. El número de posiciones representa las distintas posiciones que puede tener la corredera (elemento móvil que produce la apertura o cierre) de la válvula.

Por ejemplo, una electroválvula de 3 vías y 2 posiciones se representa como 3/2. Las diferentes interconexiones que se pueden obtener entre las vías de una electroválvula se logran mediante las distintas posiciones. Así pues, una válvula 3/2 solo puede tener dos estados de conexión, en función de que este en una posición o en otra. El número de posiciones de una electroválvula depende del número de bobinas que actúan sobre la corredera. Si solo hay una bobina, únicamente puede haber dos posiciones, pues la bobina solo estará activa o inactiva.

La representación gráfica de la válvula se hace dibujando un cuadrado para cada posición, poniendo dentro de ese cuadrado el estado de conexión correspondiente a esa posición. Por ejemplo, una válvula 2/2 tiene el esquema representado en la figura 2.24.

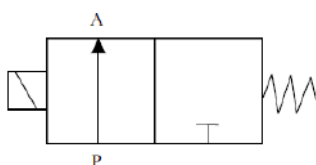


Figura 2. 24: Esquema de una electroválvula 2/2 (2 vías y 2 posiciones).

Solo hay dos vías, es decir, un conector de entrada y uno de salida. La P indica que ahí se conecta la presión. La A indica que es la salida que actúa sobre el sistema. La bobina de la izquierda indica que es una electroválvula, de forma que cuando se activa la bobina se tiene la posición de la izquierda.

El muelle de la derecha indica que cuando se desactiva la bobina, la corredera recupera su posición de reposo (la de la derecha) gracias a un muelle. Esta

válvula se denomina monoestable, pues si se desactiva la bobina solo tiene una posición de reposo posible. La válvula 2/2 no se utiliza para mover un cilindro, pues solo puede dejar pasar la presión o no, y esto no es suficiente.

Las más habituales son las electroválvulas 5/2 representadas en la figura 2.25, que sirven para accionar cilindros de doble efecto.

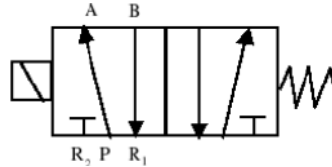


Figura 2. 25: Esquema de una electroválvula 5/2 (5 vías y 2 posiciones)

Esta es una válvula monoestable (si la bobina esta desactivada, la posición es la de la derecha, mientras que si esta activada, la posición es la de la izquierda).

Las salidas A y B se conectan a las dos partes del cilindro de doble efecto.

Si está en una posición, A esta a presión y B a escape, por lo que el cilindro se mueve en un sentido. Si está en la otra posición, las conexiones se invierten y el cilindro se mueve en sentido contrario. Con esta válvula el cilindro solo puede estar en una de las dos posiciones extremas.

CAPÍTULO 3

3.1. Controlador Lógico Programable PLC

Un controlador lógico programable es un sistema de control de estado sólido que monitorea el estado de dispositivos. Controla el estado de los dispositivos conectados como outputs. Está basado en un programa escrito que es almacenado en una memoria.

Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Un PLC tiene recursos configurables, comunicaciones compatibles, software de gestión común, periféricos comunes e instrucciones compatibles [17]

3.1.1. Partes de un Controlador Lógico Programable

Se puede considerar que los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés; Programmable Logic Controller) tienen tres partes: la sección de entrada/salida, el procesador y el dispositivo de programación, o terminal. Analizaremos cada uno por separado.

3.1.1.1. Sección de entrada/salida

La sección de entrada/salida de un controlador lógico programable tiene a su cargo la función de interconectar los dispositivos industriales de alta potencia, al sistema de circuitos electrónicos de baja potencia que almacena y ejecuta el programa de control. Denominaremos al programa de control programa de usuario. La sección de E/S contiene módulos de entrada y salida

3.1.1.2. El procesador

El *procesador* de un PLC mantiene y ejecuta el programa de usuario. Para llevar a cabo este trabajo, el procesador debe almacenar las condiciones de entrada y salida más actualizadas.

Archivo imagen de entrada. Las condiciones de entrada se almacenan en el *archivo imagen de entrada*, el cual es una porción de la memoria del procesador. Es decir, a cada terminal de módulo de entrada en la sección de E/S se le ha asignado una ubicación particular dentro del archivo imagen de entrada. Esa ubicación particular está dedicada únicamente a la tarea de mantener un registro de la última condición de su terminal de entrada

Archivo imagen de salida. Las condiciones de salida se almacenan en el archivo imagen de salida, el cual es otra porción de la memoria del procesador. El archivo de imagen de entrada conlleva la misma relación con las terminales de salida de la sección E/S, que el archivo imagen de entrada tiene con las terminales de entrada. Es decir, a cada terminal de salida se le ha asignado una ubicación de memoria particular dentro del archivo de imagen de salida. Esa ubicación particular está dedicada únicamente a la tarea de mantener el registro de la última condición de su terminal de salida.

Las ubicaciones dentro de los archivos imagen de entrada y salida se identifican por medio de *direcciones*. Cada ubicación tiene su propia y única dirección. Por ejemplo, una ubicación de memoria particular dentro del archivo de imagen de entrada podría tener la dirección I: 0001/0 6, y una ubicación particular dentro del archivo imagen de salida tendrá la dirección O: 003/17. Los diferentes fabricantes de PLC tienen sus propios métodos para asignar direcciones.

Unidad de procesamiento central. La subsección del procesador que en realidad lleva a cabo la ejecución del programa se denominará dentro de este libro unidad de procesamiento central (CPU, por sus siglas en inglés; Central Processing Unit)

Cuando el CPU ejecuta el programa de usuario, estará actualizando continua e inmediatamente el archivo de imagen de salida. En otras palabras, si una ejecución de instrucción solicita un cambio a una de las ubicaciones del archivo imagen de salida, ese cambio se efectúa inmediatamente antes de que el procesador prosiga con la siguiente instrucción. Esta actualización inmediata es

necesaria debido a que las condiciones de salida muchas veces afectan instrucciones posteriores en el programa.

Memoria del programa de usuario. Una porción particular de la memoria del procesador es usada para almacenar las instrucciones del programa de usuario. Utilizaremos el nombre memoria del programa de usuario para referirnos a esta subsección de procesador.

Antes de que un PLC pueda comenzar a controlar un sistema industrial, un usuario debe ingresar las instrucciones codificadas que constituyen el programa de usuario. Este procedimiento, llamado *programación* de PLC. En el momento en que el usuario ingresa las instrucciones, estarán automáticamente almacenadas en ubicaciones secuenciales, dentro de la memoria del programa de usuario. Esta ubicación secuencial de las instrucciones del programa está autorregulada por el PLC, sin que sea necesaria la discrecionalidad del usuario humano

3.1.1.3.El dispositivo de Programación

La tercera parte esencial de un PLC es el *dispositivo de programación*, el cual es también denominado terminal de programación, o sólo programador. Algunos PLC están equipados con un dispositivo de programación dedicado, fabricado por la misma compañía que elabora el PLC, pero en muchas instalaciones, el dispositivo de programación es una computadora personal de escritorio o portátil con una tarjeta de interface de comunicación instalada en una ranura de expansión. Un cable de comunicación serial se conecta a la tarjeta de interface, uniéndola con el procesador del PLC.

3.1.2. Clasificación de los Controladores Lógicos Programables

Por tipo de formato la clasificación de autómatas es la siguiente:

Compactos. Suelen integrar en el mismo bloque la alimentación, entradas y salidas y/o la CPU. Se expanden conectándose a otros con parecidas características.

Modulares. Están compuestos por módulos o tarjetas adosadas al rack con funciones definidas: CPU, fuente de alimentación, módulos de E/S, etc. La expansión se realiza mediante conexión entre racks [17].

3.1.3. Campos de Aplicación del PLC

Los campos donde podemos aplicar el PLC son variables y ajusta de acuerdo a las necesidades que se tienen

- Control De Luz Para Iluminación Interior O Exterior:
 - Viviendas
 - Oficinas
 - Hoteles
 - Centros comerciales
 - Apartamentos
 - Centros Industriales
- Sistemas De Vigilancia
 - Control de acceso
 - Vigilancia de estacionamientos
 - Vigilancia de controles de marcha
 - Alarmas
 - Control de valores límite
 - Semáforos
 - Control de equipajes
- Controles De Puertas
 - Puertas industriales
 - Puertas de garaje
 - Puertas automáticas
 - Rejas y Barreras
 - Puertas de yates y barcos
 - Escotillas

- Ingeniería De Edificios
 - Sistemas de irrigación y aspersión
 - Control de persianas y toldos
 - Control de efectos especiales en centros de exposición y espectáculos
- Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
 - Gestión de energía
 - Calefacción
 - Sistemas frigoríficos
 - Sistemas de ventilación
 - Sistemas de aire acondicionado
- Medios de Transporte
 - Cintas transportadoras
 - Plataformas elevadoras
 - Ascensores
 - Silos
 - Tornos automáticos
- Controles de Máquina
 - Motores
 - Bombas
 - Válvulas
 - Compresores neumáticos
 - Sistemas de aspiración y filtrado
 - Depuradores
 - Sierras y cepillos
 - Plegadores
 - Cizallas
 - Equipos de soldadura
 - Máquinas de decapado y limpie
- Soluciones Especiales

- Instalaciones de energía solar
- Instalaciones de energía eólica
- Instalaciones de energía hidroeléctricas
- Instalaciones de energía eléctrica
- Instalaciones de energía gaseosa
- Instalaciones de energía nuclear
- Aplicación en barcos y submarinos
- Aplicación en condiciones ambientales extremas
- Control de paneles de indicación y de tráfico

3.1.4. Ventajas y Desventajas del PLC

3.1.4.1. Ventajas del PLC

- Se pueden implementar en espacios reducidos
- Aplicables en procesos de producción periódicamente cambiantes
- Aplicables en procesos secuenciales
- Adaptable para maquinarias de procesos variables
- Se puede colocar en instalaciones complejas y amplias
- Cuenta con programación de chequeo centralizada en las partes del proceso
- Reduce los tiempos de elaboración de proyectos
- Permite hacer modificaciones sin necesidad de otros componentes
- Menor costo de mano de obra
- Permite gobernar varias máquinas con el mismo autómata
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento
- Siempre puede ser reutilizable en otros procesos industriales, máquinas o sistemas de producción

3.1.4.2.Desventajas del PLC

- Mano de obra especializada.
- Centraliza el proceso.
- Condiciones ambientales apropiadas.
- Mayor costo para controlar tareas muy pequeñas o sencillas.

3.2. PLC SIMATIC 1200

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización [18].

Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.
- Es posible utilizar la "protección de know-how" para ocultar el código de un bloque específico

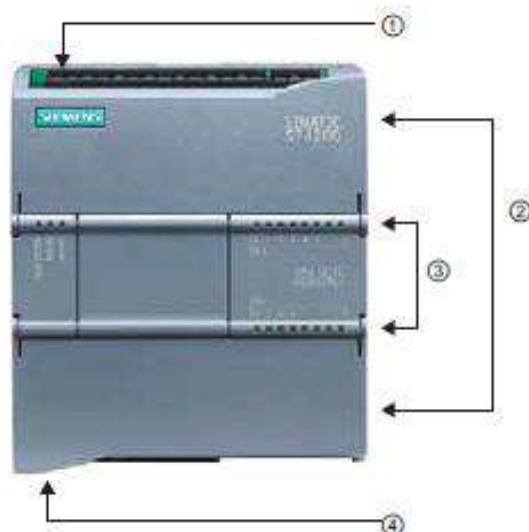


Figura 3. 1: Imagen del PLC S7 1200 Siemens [18]

1. Conector de corriente
2. Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas). Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
3. Leds de estado para las E/S integradas
4. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario	• Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente		• 50 KB • 2 MB • 2 KB
E/S integradas locales	• Digitales • Analógicas		• 8 entradas/6 salidas • 2 entradas • 14 entradas/10 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
• Fase simple	• 3 a 100 kHz	• 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	• 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
• Fase en cuadratura	• 3 a 80 kHz	• 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	• 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Tabla 3.1: Variantes de CPU disponible en el PLC 1200

3.2.1. Módulos de Señales y Signal Boards

La gama S7-1200 ofrece una gran variedad de módulos de señales y Signal Boards que permiten ampliar las prestaciones de la CPU. También es posible instalar módulos de comunicación adicionales para soportar otros protocolos de comunicación

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM)				
• RS485 • RS232				

Tabla 3.1: Módulos de señales y SBs del S7-1200

3.2.1.1. Signal Boards

Una Signal Board (SB) permite agregar E/S a la CPU. Es posible agregar una SB con E/S digitales o analógicas. Una SB se conecta en el frente de la CPU.

- SB con 4 E/S digitales (2 entradas DC y 2 salidas DC)
- SB con 1 entrada analógica

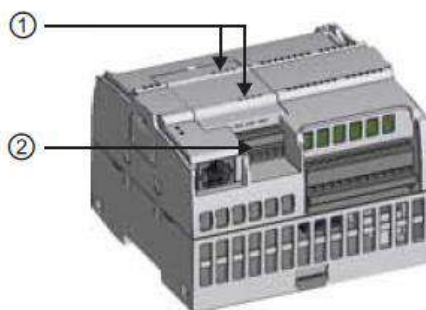


Figura 3. 2: Signal Boards del PLC S71200 [18]

- ① Leds de estado en la SB
- ② Conector extraíble para el cableado de usuario

3.2.1.2. Módulos de Señales

Los módulos de señales se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU.

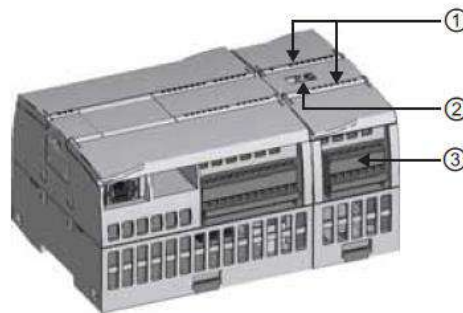


Figura 3. 3: Módulos de señales del S7 1200 [18]

- ① Leds de estado para las E/S del módulo de señales
- ② Conector de bus
- ③ Conector extraíble para el cableado de usuario

3.2.1.3. Módulos de Comunicación

La gama S7-1200 provee módulos de comunicación (CMs) que ofrecen funciones adicionales para el sistema. Hay dos módulos de comunicación, a saber: RS232 y RS485.

- La CPU soporta como máximo 3 módulos de comunicación
- Todo CM se conecta en lado izquierdo de la CPU (o en lado izquierdo de otro CM)

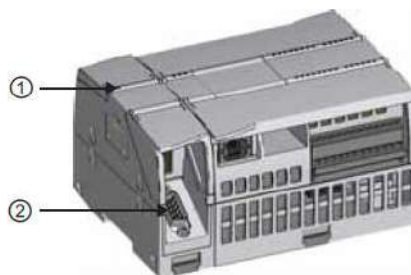


Figura 3. 4: Módulo de comunicación del S7-1200 [18].

3.2.2. STEP 7 Basic

El software STEP 7 Basic ofrece un entorno amigable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como PLCs y dispositivos HMI. STEP 7 Basic ofrece dos lenguajes de programación (KOP y FUP) que permiten desarrollar el programa de control de la aplicación de forma fácil y eficiente.

Asimismo, incluye las herramientas para crear y configurar los dispositivos HMI en el proyecto. Para poder encontrar la información necesaria, STEP 7 Basic ofrece un completo sistema de ayuda en pantalla.

3.2.2.1. Diferentes vistas que facilitan el trabajo

Para aumentar la productividad, el Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) ofrece dos vistas diferentes de las herramientas disponibles, a saber: distintos portales orientados a tareas organizados según las funciones de las herramientas (vista del portal) o una vista orientada a los elementos del proyecto (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente. Con un solo clic es posible cambiar entre la vista del portal y la vista del proyecto.

La vista del portal ofrece una vista funcional de las tareas del proyecto y organiza las funciones de las herramientas según las tareas que deban realizarse, p. ej.

configurar los componentes de hardware y las redes. Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que debe seleccionarse.

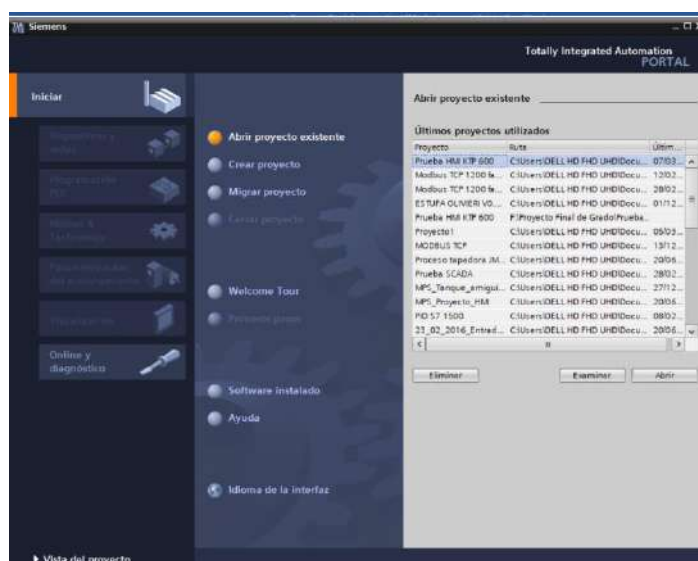


Figura 3. 5: Pantalla principal de Tia Portal V13 SP2 [18]

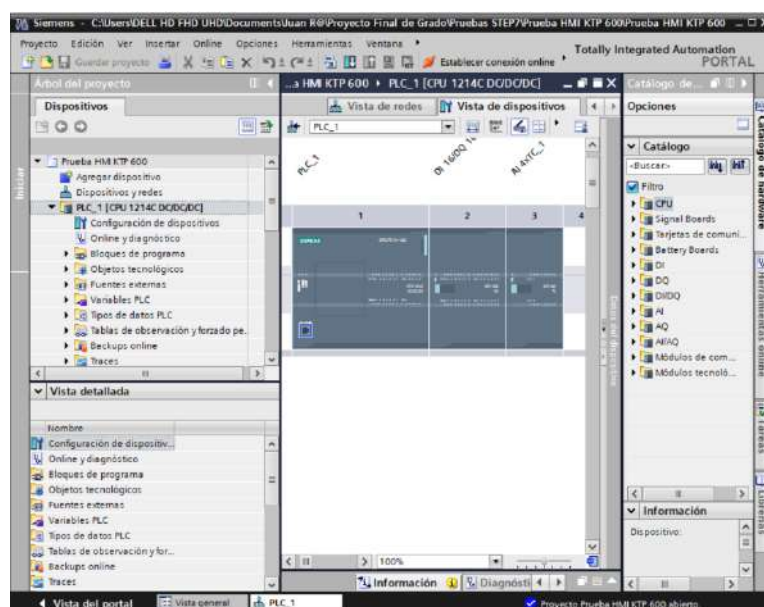


Figura 3. 6: Vista del proyecto en el TIA Portal V13 SP2

3.2.2.2. Configuración de Dispositivos

Para crear la configuración de dispositivos del PLC es preciso agregar una CPU y módulos adicionales al proyecto.

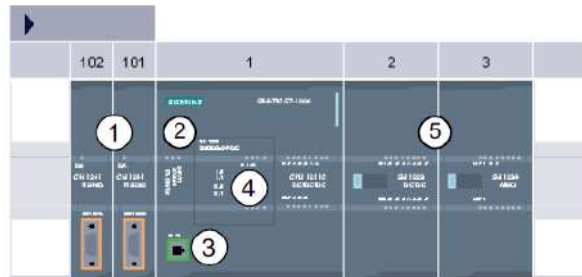


Figura 3. 7: Dispositivos agregados en TIA PORTAL V13 SP2 [18]

- ① Módulo de comunicación (CM): máx. 3, insertados en los slots 101, 102 y 103
- ② CPU: Slot 1
- ③ Puerto Ethernet de la CPU
- ④ Signal Board (SB): máx. 1, insertada en la CPU
- ⑤ Módulo de señales (SM) para E/S digitales o analógicas: máx. 8, insertados en los slots 2 a 9 (la CPU 1214C permite 8, la CPU 1212C permite 2, la CPU 1211C no permite ninguno)

Para crear la configuración de dispositivos, agregue un dispositivo al proyecto.

- En la vista del portal, seleccione "Dispositivos y redes" y haga clic en "Agregar dispositivo".
- En la vista del proyecto, bajo el nombre del proyecto, haga doble clic en "Agregar nuevo dispositivo".



Figura 3. 8: Pasos para agregar nuevo dispositivo en STEP 7 BASIC

3.2.2.3. Insertar una CPU

La configuración de dispositivos se crea insertando una CPU en el proyecto. Al seleccionar la CPU en el diálogo "Agregar nuevo dispositivo" se crean el rack y la CPU.

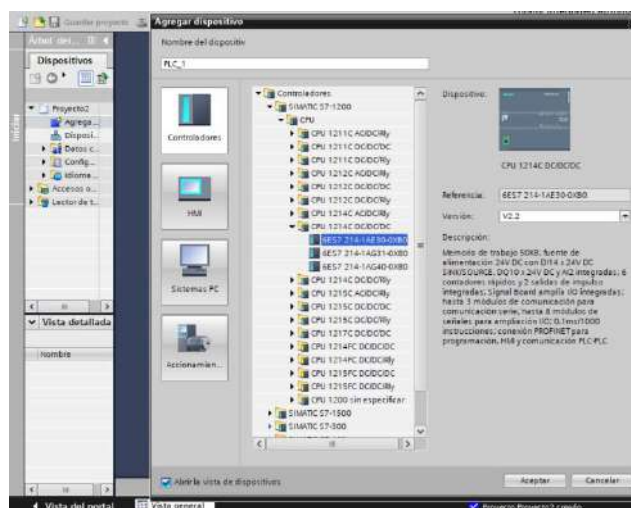


Figura 3. 9: Forma de agregar una nueva CPU al proyecto

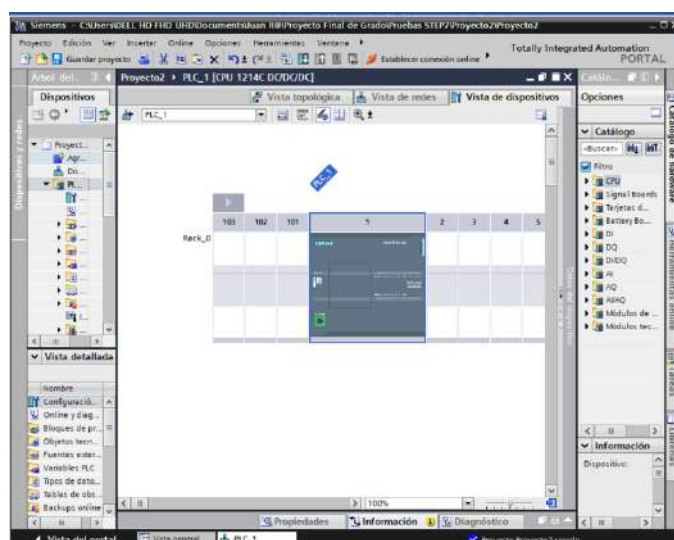


Figura 3. 10: Vistas de dispositivos de configuración Hardware

La CPU no tiene una dirección IP preconfigurada. La dirección IP de la CPU se debe asignar manualmente durante la configuración de dispositivos. Si la CPU está conectada a un router de la red, también es preciso introducir la dirección IP del router.

3.2.2.4. Configuración IP en el Proyecto

Tras configurar el rack con la CPU, es posible configurar los parámetros de la interfaz PROFINET. A este efecto, haga clic en la casilla PROFINET verde en la CPU para seleccionar el puerto PROFINET. La ficha "Propiedades" de la ventana de inspección muestra el puerto PROFINET.

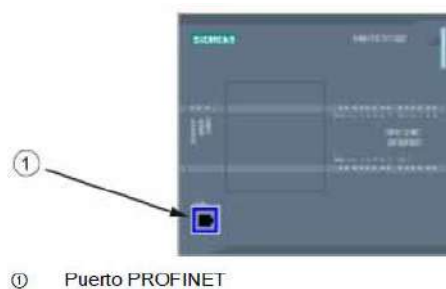


Figura 3. 11: Puerto Profinet PLC 1200 [18]

Dirección Ethernet (MAC): Todo dispositivo de una red PROFINET recibe una dirección MAC (Media Access Control o control de acceso al medio) del fabricante para su identificación. Una dirección MAC consta de seis grupos de dos dígitos hexadecimales, separados por guiones (-) o dos puntos (:), en orden de transmisión (p. ej. 01-23-45-67-89- AB ó 01:23:45:67:89: AB).

Dirección IP: Todo dispositivo debe tener también una dirección IP (Internet Protocol o Protocolo Internet). Esta dirección permite al dispositivo transferir datos a través de una red enrutada y más compleja.

Toda dirección IP se divide en segmentos de ocho bits (octetos) y se expresa en formato decimal separado por puntos (p. ej. 211.154.184.16). La primera parte de la dirección IP se utiliza para la ID de red (¿en qué red se encuentra?) y, la segunda, para la ID del host (unívoca para cada dispositivo de la red). Una

dirección IP 192.168.x.y es una designación estándar reconocida como parte de una red privada que no se enruta vía Internet.

Máscara de subred: Una subred es una agrupación lógica de dispositivos de red conectados. Generalmente, los nodos de una subred están próximos físicamente en una red de área local (LAN). Una máscara (denominada "máscara de subred" o "máscara de red") define los límites de una subred IP.

Generalmente, una máscara de subred 255.255.255.0 se adecúa para una red local pequeña. Esto significa que los 3 primeros octetos de todas las direcciones IP de esta red deberían ser iguales. Los diferentes dispositivos de la red se identifican mediante el último octeto (campo de 8 bits). Por ejemplo, es posible asignar la máscara de subred 255.255.255.0 y direcciones IP comprendidas entre 192.168.2.0 y 192.168.2.255 a los dispositivos de una red local pequeña. La única conexión entre las diferentes subredes se realiza a través de un router. Si se utilizan subredes, es preciso utilizar un router IP.

Router IP: Los routers interconectan las distintas LANs. Si se utiliza un router, un equipo de una LAN puede enviar mensajes a otras redes que, a su vez, pertenezcan a otras LANs. Si el destino de los datos se encuentra fuera de la LAN, el router reenvía los datos a otra red o grupo de redes desde donde pueden transferirse a su destino.

Los routers necesitan direcciones IP para poder transferir y recibir paquetes de datos.

3.1.1. Configuración PROFINET

La CPU S7-1200 incorpora un puerto PROFINET que soporta las normas Ethernet y de comunicación basada en TCP/IP. La CPU S7-1200 soporta los siguientes protocolos de aplicación:

- Transport Control Protocol (TCP)
- ISO on TCP (RFC 1006)

La CPU S7-1200 puede comunicarse con otras CPUs S7-1200, programadoras STEP 7 Basic, dispositivos HMI y dispositivos no Siemens que utilicen protocolos

de comunicación TCP estándar. Hay dos formas de comunicación vía PROFINET:

- Conexión directa: La comunicación directa se utiliza para conectar una programadora, dispositivo HMI u otra CPU a una sola CPU.
- Conexión de red: La comunicación de red se utiliza si deben conectarse más de dos dispositivos (p. ej. CPUs, HMIs, programadoras y dispositivos no Siemens).

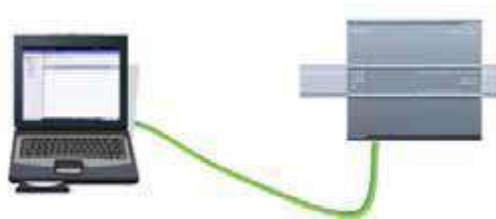


Figura 3. 12: Programadora conectada a una CPU S7-1200 [18]



Figura 3. 13: HMI conectado a una CPU S7-1200 [18]

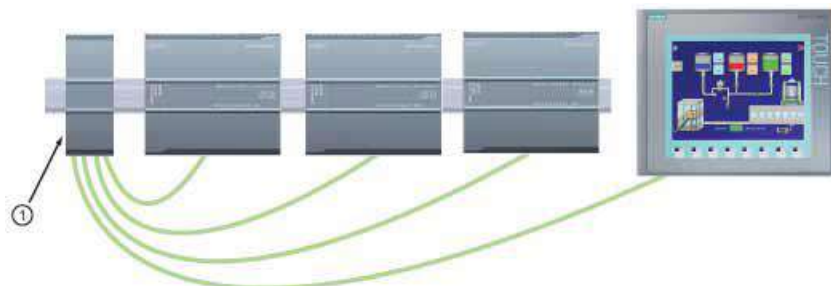


Figura 3. 14: Más de dos dispositivos interconectados, utilizando un switch Ethernet CSM1277 [18]

Para la conexión directa entre una programadora o un HMI y una CPU no se requiere un switch Ethernet. Un switch Ethernet se requiere para una red que incorpore más de dos CPUs o dispositivos HMI. El switch Ethernet de 4 puertos CSM1277 de Siemens montado en un rack puede utilizarse para conectar las

CPUs y los dispositivos HMI. El puerto PROFINET de la CPU S7-1200 no contiene un dispositivo de conmutación Ethernet.

CAPÍTULO 4

Sistema de Control

4.1. Introducción al Sistema de Control

Se denomina sistema de control centralizado a aquel en el que hay un único equipo de control, el cual está conectado a todos los sensores y actuadores. Este equipo de control, generalmente un autómata, implementa el algoritmo lógico de control de todo el proceso.

Se denomina sistema de control distribuido o descentralizado a aquel en el que hay varios equipos de control, cada uno de los cuales controla una parte del proceso global. Los sensores y actuadores de cada parte están conectados a su correspondiente equipo de control. Para que el sistema global funcione correctamente es necesario que los distintos equipos puedan comunicarse entre sí, es decir, que exista una red de comunicación a través de la cual se puedan transmitir datos de configuración y valores de variables del proceso entre los distintos equipos. Un sistema de control distribuido está formado, por tanto, por equipos conectados mediante una red de comunicación [3].

4.2. Sistema de Control Lazo Abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en

lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto [19].

4.3. Sistema de Control Cerrado

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene en un nivel confortable independientemente de las condiciones externas.

Los sistemas de control realimentados no se limitan a la ingeniería, sino que también se encuentran en diversos campos ajenos a ella. Por ejemplo, el cuerpo humano es un sistema de control realimentado muy avanzado. Tanto la temperatura corporal como la presión sanguínea se conservan constantes mediante una realimentación fisiológica. De hecho, la realimentación realiza una función vital: hace que el cuerpo humano sea relativamente insensible a las perturbaciones externas, permitiendo que funcione de forma adecuada en un entorno cambiante [19].

4.4. Niveles de un sistema de Control

Se suele distinguir varios niveles cuando se describe el control de una planta. Una posible estructuración puede ser la que se muestra en la figura 4.1, donde se distinguen cuatro niveles, los cuales se describen a continuación [20].

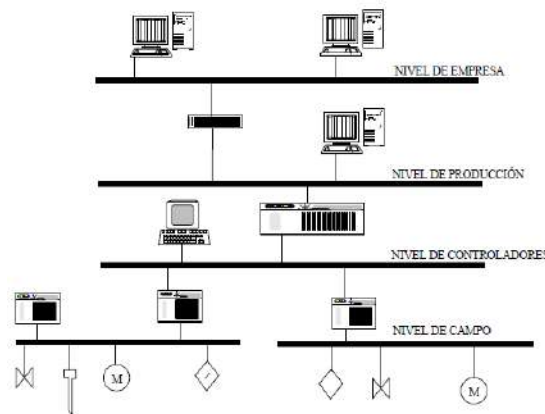


Figura 4. 1: Niveles de un Sistema de Control

Nivel de campo. En este nivel se conecta un equipo de control, típicamente un autómatas programable, con otros elementos como variadores de frecuencia, controladores PID, módulos remotos de entradas y salidas, o sensores o actuadores “inteligentes”. Generalmente, la conexión se realiza mediante una red denominada bus de campo.

Nivel de controladores. En este nivel se conectan entre sí diversos equipos de control que pueden ser autómatas programables u ordenadores, cada uno de los cuales gobierna una parte del proceso. Los distintos elementos conectados entre sí, en este nivel, constituyen las células de producción. Suele haber un equipo de control, normalmente un ordenador o autómatas de gama alta, que es el encargado de enlazar la red de este nivel con la red del nivel superior. La red que implementa este nivel suele ser también un bus de campo, aunque suele ser de más capacidad que el utilizado en el nivel de campo.

Nivel de producción. En este nivel se conectan entre sí los ordenadores o autómatas principales de cada célula. Estos se conectan a su vez a los ordenadores de gestión. La red de este nivel suele ser una red de más alto nivel, como una red Ethernet.

Nivel de empresa. En este nivel se conectan los ordenadores de gestión de la empresa.

En la práctica, los 4 niveles no suelen distinguirse de forma nítida, sino que en función del proceso productivo pueden existir solo algunos de esos niveles, o puede haber un solapamiento entre varios niveles. Por ejemplo, es habitual que

existan redes en las que se integran sensores y actuadores inteligentes, variadores de frecuencia y reguladores PID, con varios equipos de control (autómatas o PC), es decir, una mezcla de los niveles de campo y de controladores. También es frecuente que exista una única red que comunica los ordenadores de gestión y los ordenadores de producción, es decir, que integra el nivel de empresa (o de gestión) y el nivel de producción.

4.5. Redes de Comunicación Industrial

Un sistema de control está formado por diversos equipos conectados por medio de una o varias redes de comunicación.

4.5.1. Topología

Se llama topología a la disposición o estructura física de los equipos, conocidos como nodos, y los cables de la red. Las topologías más habituales son:

Estrella: En esta topología hay un equipo central, llamado hub, al que se conectan todos los equipos, figura 4.2. Del hub parte un cable para cada nodo.

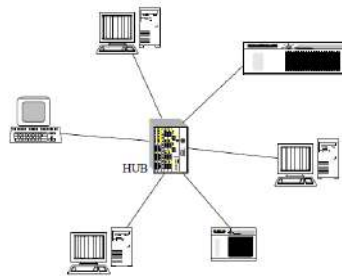


Figura 4. 2: Topología estrella

Anillo: Cada equipo tiene un conector de entrada y uno de salida, uniéndose un equipo con otro hasta formar un anillo, figura 4.3

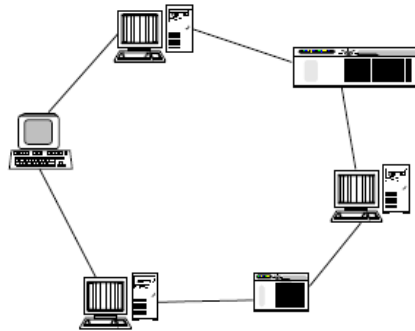


Figura 4. 3: Topología Anillo

Bus: Existe un solo cable, llamado bus, al que se conectan todos los equipos, figura 4.4.

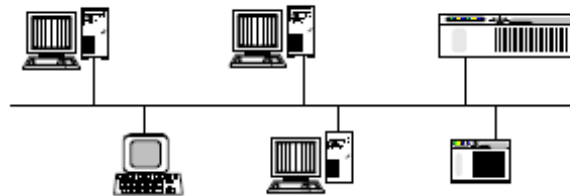


Figura 4. 4: Topología en bus.

Tiene la ventaja de que la longitud total de cable es menor. Otra ventaja importante es la facilidad de conexión de nuevos equipos. El inconveniente mayor es que si hay un problema en el cable se ven afectados muchos equipos. El fallo de un equipo, sin embargo, no afecta a la red.

4.5.2. Medio Físico

Se refiere al medio a través del cual se transmiten los datos en una red de comunicaciones. En general, las comunicaciones pueden ser por cable.

4.5.3. Buses de Campo

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. Típicamente, son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan

dispositivos de campo como PLC, sensores, controladores PID, variadores de frecuencia y otros actuadores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus cableado. Las principales ventajas de los buses de campo se derivan parcialmente del hecho de que la información se transmite/recibe digitalmente, lo cual implica:

Reducción significativa del cableado. El hecho de que los buses de campo sean redes multipunto hace necesario solo un cable central al que se conectan todos los dispositivos de campo, como sensores y actuadores.

Facilita de forma considerable las labores de mantenimiento: el sistema de bus de campo permite al operador verificar los estados de los dispositivos de campo y de las interacciones entre estos. De esta forma la detección de averías se simplifica, reduciéndose los tiempos de reparación. Además, se dispone de sistemas de diagnóstico en línea que permiten predecir las necesidades de mantenimiento/calibración de los dispositivos de campo.

Flexibilidad: la disponibilidad de dispositivos de campo capaces de realizar funciones de control, diagnóstico y comunicación hace más fácil la expansión/renovación del sistema que si todas estas tareas se desarrollasen en un sistema centralizado.

Simplificación de la recopilación de la información del proceso: los valores de las variables del proceso están disponibles para todos los dispositivos de campo en unidades de ingeniería. Esto elimina las tareas de conversión a estas unidades y permite al sistema de control dedicarse a tareas más importantes. Es posible, además, la comunicación entre varios dispositivos de campo y de estos a su vez con el sistema de control. Esto permite que varios dispositivos de campo relacionados trabajen de forma combinada [3].

4.5.3.1. Buses de Altas Prestaciones

Suelen ser redes multi-maestro en las que las comunicaciones maestro-esclavo se realizan según el esquema pregunta-respuesta. La recuperación de datos desde el esclavo tiene un límite máximo de tiempo para favorecer la velocidad. Tienen la capacidad de hacer varios tipos de direccionamiento: único (unicast) y múltiple (multicast y broadcast). Soportan la petición de servicios a los esclavos basada en eventos y la comunicación de variables y bloques de datos, además permiten la descarga y ejecución remota de programas. Estos buses presentan altos niveles de seguridad, opcionalmente, con procedimientos de autenticación.

Algunos ejemplos son:

- Profibus.
- Profinet
- WorldFIP.
- Fieldbus Foundation.

4.5.3.2. Buses de campo comerciales

Una red de comunicación comercial estándar queda definida por una serie de características que incluyen desde el tipo de cable y las características eléctricas de las señales, hasta el arbitraje y el modo de comunicación, pasando por la estructura y tamaño de los mensajes. A continuación, se describen brevemente algunas de las redes de comunicación estándar más utilizadas.

CAN: El estándar CAN define solo la parte física del bus, existiendo diversos protocolos comerciales. El bus es de 2 hilos (par trenzado). Las señales se transmiten también de modo diferencial. Un uno lógico queda definido por una tensión de 5 V entre los dos hilos, mientras un cero lógico queda definido por una tensión de 0 V entre los dos hilos.

Permite una velocidad de hasta 1 Mb/s, y una distancia de hasta 1 km. El arbitraje es de acceso múltiple (CSMA/BA). Cualquier nodo puede transmitir si el bus no está ocupado. Si se produce una colisión porque dos nodos intentan transmitir a

la vez, se impone el que tiene la dirección más baja, por lo que el otro deja de transmitir sin afectar a la transmisión del primero. Esto permite que haya varios maestros, aunque también se puede funcionar como maestro/esclavo.

ASI bus: Es un bus comercial de 2 hilos que se utiliza para conectar sensores y actuadores a un autómata programable. Define tanto la parte física como el protocolo de comunicación. A través de los 2 hilos permite no solo transmitir la información, sino también alimentar a los sensores y actuadores siempre que su consumo sea pequeño.

El arbitraje es maestro-esclavo. El autómata es el maestro, y los sensores, los esclavos. Hasta 31 esclavos pueden conectarse al bus. La distancia máxima es de 100 m. La topología de la red es en bus lineal o en árbol. La velocidad de transmisión no es muy alta, pero permite un tiempo de ciclo para los 31 nodos de unos 5 ms.

Modbus: Es un protocolo desarrollado por Gould Modicon, actualmente Schneider Electric. Las comunicaciones se soportan sobre enlaces de comunicación serie RS-232 o RS-485. Esto hace que Modbus adolezca de las limitaciones de estos enlaces:

La velocidad de comunicación es relativamente lenta: 9600-115000 baudios, o sea, entre 0.010 Mbps y 0.115 Mbps. Las velocidades de otras redes de control están entre los 5 y 10 Mbps y Ethernet llega hasta los 100 Mbps.

Solo soporta dos nodos si el enlace se hace sobre RS-232 y entre 20 y 30 nodos si se utiliza RS-485. La única forma de superar esta cantidad es mediante una estructura anidada de maestros y esclavos que incrementa su complejidad con el número de nodos.

Solo se puede tener un nodo maestro y el resto serán esclavos, de forma que solo un dispositivo, el maestro, dispone de los datos en tiempo real de los valores de los sensores enviados por los esclavos.

ProfiBus: Es un estándar ampliamente establecido en la industria de procesos y manufactura, el cual soporta la conexión de bloques de sensores, de actuadores, de sub-redes de menor tamaño e interfaces de operador. La

conexión al bus es soportada por un circuito integrado producido por varios fabricantes.

Una red ProfiBus puede tener hasta 127 nodos distribuidos en una distancia de hasta 24 Km, si se usan repetidores y fibra óptica. La velocidad varía desde los 9600 bps hasta los 12 Mbps. El tamaño de los mensajes puede ser de hasta 256 bytes: 12 byte de cabecera y hasta 244 byte de datos. El acceso al medio se hace por encuesta o por paso de testigo.

4.5.3.3. Ethernet como red de campo

Ethernet se ha convertido en el estándar de comunicación en red más común en el ámbito doméstico y laboral al ser usado en la mayor red de intercambio de datos: Internet. Esto ha provocado el abaratamiento de los componentes hardware que soportan esta tecnología debido a la producción masiva de los mismos. Entre las ventajas de Ethernet esta su velocidad, que puede llegar a los 100 Mbit/s para comunicaciones sobre par trenzado. Esta velocidad es muy superior a las velocidades conseguidas con la mayoría de los buses de campo industriales, las cuales, en general, son menores que 10 Mbit/s.

El bajo precio del hardware y la alta velocidad, unido al aumento de los requerimientos de los sistemas de control, ha motivado un interés creciente por aplicar Ethernet como estándar para la automatización industrial. El principal escollo que se ha tenido que saldar en ese sentido es que Ethernet, en su versión más tradicional, tiene un comportamiento temporal estocástico, o sea que no se puede predecir con exactitud el tiempo que se tardara en recibir la respuesta a un mensaje que se envíe desde un nodo. Desde el punto de vista de la automatización esto es un problema pues en las aplicaciones de control existen restricciones temporales que son críticas para el correcto funcionamiento de los procesos, incluso para la seguridad de los mismos. El manejo de alarmas ante situaciones de peligro es un ejemplo de ello.

Algunas variaciones introducidas a Ethernet han mejorado considerablemente sus prestaciones. Concretamente, la sustitución del repetidor por un dispositivo electrónico más sofisticado llamado conmutador (switch) ha sido uno de los

cambios más importantes. La introducción del conmutador ha dado lugar a lo que se conoce como Ethernet conmutada (Switched Ethernet).

Entre las mejoras que produce el uso del conmutador en una red Ethernet están las siguientes:

- Permite la comunicación full-dúplex, o sea que dos dispositivos pueden transmitir datos entre ellos al mismo tiempo, sin tener que esperar a que termine uno para comenzar el otro.
- El conmutador soporta dispositivos que trabajan a velocidades diferentes: 10 Mbits/s, 100 Mbits/s, 1 Gbit/s o 100 Gbit/s. Además, de forma automática adapta la velocidad de cada puerto a la del equipo que se encuentra conectado, lo cual implica un mejor aprovechamiento del ancho de banda total de la red.
- Existen varios mecanismos para asignar prioridades a los mensajes. Los mensajes son transmitidos en función de su prioridad: aquellos con mayor prioridad son transmitidos antes. Esto permite que la información crítica sea transmitida de forma más ágil si se envía en mensajes de prioridad alta.

Estas mejoras han hecho que el comportamiento de Ethernet se adapte mejor a los requerimientos temporales de las aplicaciones de control, y por tanto, su uso se está extendiendo como una alternativa a los buses de campo, especialmente los de nivel intermedio [20].

CAPITULO 5

5.1. Evaluación Económica

La evaluación económica de proyectos de cooperación tiene por objetivo identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión en un proyecto antes de la implementación del mismo [21]

5.1.1. Análisis Costo-Beneficio

Expresa costos y beneficios en unidades monetarias. Permite valorar la rentabilidad de la acción según criterios objetivos. En este caso tanto los costos como los beneficios se miden en dinero. Se trata del tipo de análisis más extendido en los estudios de viabilidad

5.1.1.1. Flujo de Caja

El flujo de caja es un documento o informe financiero que muestra los flujos de ingresos y egresos de efectivo que ha tenido una empresa durante un periodo de tiempo determinado, con ello se planifica el uso eficiente de efectivo, manteniendo saldos razonablemente cercanos a las permanentes necesidades de efectivo.

5.1.1.2. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Presente Neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero.

En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del VPN, se dice que se utiliza una *tasa de descuento*.

La TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento), es una tasa de rendimiento fijada por el inversionista que tomo en cuenta las circunstancias expuestas y por lo tanto, es el punto de referencia para decidir sus inversiones.

El cálculo del VPN viene dado por la siguiente formula

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

donde:

FNE_2 = flujo neto de efectivo del año n , que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n .

P = inversión inicial en el año cero.

i = tasa de referencia que corresponde a la TMAR (tasa de inflación + premio al riesgo).

Si $VPN > 0$, es conveniente aceptar la inversión, ya que se estaría ganando más del rendimiento solicitado.

Si $VPN < 0$, se debe rechazar la inversión porque no se estaría ganando el rendimiento mínimo solicitado.

5.1.1.3. La tasa interna de rendimiento (TIR)

La ganancia anual que tiene cada inversionista se puede expresar como una tasa de rendimiento o de ganancia anual llamada tasa interna de rendimiento.

El valor de la TIR se encuentra cuando el VPN se vuelve cero y representa el interés más alto que un inversionista podría pagar sin perder dinero.

$$VPN = 0 = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

La tasa calculada se compara con la tasa fijada por el inversionista (TMAR). Si la TIR es igual o mayor que esta, es recomendable aceptar la inversión y si es menor debe rechazarse.

5.1.1.4. Período de recuperación del capital o la inversión (PRI)

El período de recuperación del capital es el plazo (número de años) en que la inversión original se recupera con las utilidades futuras. La regla de decisión asociada a este indicador señala que se deben preferir los proyectos con menor período de recuperación. Cuanto más corto sea éste, mejor. Si las utilidades anuales son constantes o similares:

Para el cálculo del PRI se utiliza la siguiente ecuación:

$$PRI = [PN] + \frac{ABS(UPN)}{VFCPS}$$

PN= Último periodo con flujo Acumulado Negativo

ABS(UPN): Valor Absoluto del último Flujo acumulado negativo

VFCPS: Valor del Flujo de Caja en el siguiente periodo.

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 6

6.1. Descripción del trabajo

Este Proyecto consiste en el desarrollo de un proyecto de automatización que ha de ser aplicado al Proceso de producción de placas prefabricadas de madera de manera a poder brindar soluciones a las problemáticas existentes como también de dotar al proceso de un sistema de control y monitoreo de todas las fases del proceso, en donde fueron aplicadas aquellas soluciones técnica y económicamente factibles. La metodología utilizada se detalla a continuación:

6.1.1. Métodos y Técnicas utilizadas

6.1.1.1. Tipo de Investigación

Para la recolección y análisis de datos se utilizó el enfoque mixto, para lo cual se se reunió información directa del sector en estudio, que sirvieron para verificar la realidad existente y a determinar las soluciones que brindaron una mejora al proceso de producción de placas

6.1.1.2. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Son las distintas formas o maneras empleadas para obtener la información, las técnicas de recolección aplicadas en este estudio se describen a continuación:

Entrevista semiestructurada a profundidad: Es un acto de comunicación no planeado con el cual se obtiene información clara, real y objetiva del tema en estudio [11]. Se aplicó al personal técnico encargado del proceso, como también a ingenieros relacionados al área de estudio, permitiendo ampliar la información acerca del funcionamiento del proceso de producción de placas, sus elementos, junto a las condiciones operativas del mismo.

La observación directa: Esta técnica se caracteriza por la visualización directa del entorno físico objeto de la investigación lo cual permite obtener información [11]. Esta técnica fue utilizada en esta investigación ya que se obtuvo información real del proceso

6.1.1.3. Métodos y análisis de Datos

6.1.1.3.1. Análisis Cualitativo

El Análisis Cualitativo es una investigación que se basa en el análisis subjetivo e individual, esto la hace una investigación interpretativa, referida a lo particular [10]. Para el presente trabajo de grado, los datos se analizaron cualitativamente a través de explicaciones.

6.2. Justificación

Actualmente el proceso de producción de placas genera a la empresa FAQPAR S.A un ingreso mensual de aproximadamente 55.080.000 Gs por una producción de 130 metros cúbicos de placas, ya que el control y el manejo de las máquinas ligadas al proceso dependen de operadores, este hecho propicia la aparición de problemas dentro del proceso.

En el año 2014 en 3 ocasiones hubo problemas en un sector en donde se debe mantener la temperatura de dos rodillos a 80°C, ocasionando así un incendio en esta parte del proceso debido al descuido de dichos operadores que estaban ocupados realizando otras labores dentro del proceso, este hecho produjo el cese de la producción en esas ocasiones, en la primera oportunidad durante 48hs, en la segunda hubo un cese 24hs y en la tercera oportunidad durante 8hs, lo que provocó una pérdida de unos 13.600.000 Gs sin mencionar el desgaste y el golpe que sufrieron las máquinas del proceso.

Como se dijo, el propósito de este proyecto es la automatización de dicho proceso de manera a salvaguardar la integridad física de las personas que trabajan en ese sector, dar una solución técnica y económicamente factible a los problemas que se tienen actualmente y a su vez prevenir los posibles problemas que podrían surgir si es que se sigue trabajando de esta manera, lo cual causaría a la empresa importantes pérdidas monetarias de como las que ya ha sufrido anteriormente.

Con la automatización de este proceso se pretende también aumentar la producción, reducir costos de operación, obtener un sistema de control y monitoreo de las distintas fases del proceso, siendo el principal beneficiario la empresa, desde los propietarios que lograrán con ello aumentar la productividad y así incrementar sus beneficios, los clientes que tendrán un material de mejor calidad y también los empleados que trabajaran con más seguridad y también incrementarán sus ingresos al aumentar la productividad.

6.3. Finalidad del proyecto

Con el presente proyecto se pretende:

- Optimizar el funcionamiento de las máquinas que componen el proceso.
- Reducir los tiempos de detección de problemas.
- Mejorar la calidad del producto obtenido mediante la automatización.
- Ofrecer mayor seguridad a los empleados de la empresa encargadas del proceso.
- Diseñar un sistema de control y monitoreo de todas las fases del proceso.
- Aumentar la producción mediante la implementación de los automatismos

6.4. Metas

Obtener un proceso totalmente automatizado, que cuente con un sistema de control y monitoreo de todas las fases del proceso, de manera a poder aumentar la productividad reduciendo los tiempos de operación realizados en forma manual y reduciendo los tiempos de parada por fallos.

6.5. Objetivos

6.5.1. Objetivos generales

- Proponer un proyecto de automatización del proceso de producción de placas de madera prefabricadas de la empresa FAQPAR S.A, buscando la alternativa técnica económica más conveniente

6.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el proceso de producción con miras a determinar fases a optimizar mediante la automatización.

- Identificar las posibles soluciones a los problemas y aplicar aquella que sea técnica -económicamente más factible.
- Establecer los componentes electrónicos, sensores y otros dispositivos necesarios para la automatización del proceso.
- Proponer un sistema de control y monitoreo de todas las fases del proceso

6.6. Beneficiarios

Con la implementación de este Proyecto el principal beneficiario será la empresa, desde los propietarios que lograrán con ello aumentar la productividad y así incrementar sus beneficios, los clientes que tendrán un material de mejor calidad y también los empleados que trabajarán con más seguridad y también incrementarán sus ingresos al aumentar la productividad

6.7. Producto

El principal producto es la obtención de un proceso totalmente automatizado que cuente con un Sistema de Control y monitoreo de todas las fases del proceso.

6.8. Localización física y cobertura espacial

La empresa cuyo proceso de Producción de Placas es objeto de estudio en este proyecto está ubicada en la Ciudad de Coronel Oviedo distante a unos 5,32 Km del casco céntrico de la ciudad.

6.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados, se llevaron a cabo las siguientes fases:

Fase1. Análisis y Recolección de Datos

En esta fase se analizaron y recogieron datos del proceso de producción de placas, de manera a determinar fases a optimizar

Actividades:

1. Se realizaron consultas a los técnicos encargados del proceso

2. Se realizaron levantamientos de datos en todas las fases del proceso
3. Una vez realizados los levantamientos de datos se determinó las fases a optimizar mediante la automatización.

Fase 2. Solución a las problemáticas

Una vez determinado las fases a optimizar las cuales ameritaban una solución se buscaron alternativas de solución de manera a disminuir las pérdidas técnicas y no técnicas, brindando un máximo beneficio con un mínimo costo.

Actividades Específicas:

1. En los casos en donde ameritaba comparaciones se analizaron diferentes soluciones de manera a terminar con la problemática existente.
2. Se optó por aquellas soluciones que brindaban más beneficios al funcionamiento del proceso.
3. Se realizaron consultas a empresas y distribuidores de ciertas marcas comerciales dedicados a las ventas de los componentes eléctricos-electrónicos optando por aquellos que brindaban una ventaja tanto técnico como económico para dicha automatización.

Fase.3 Diseño de Sistema de Control

El Diseño del Sistema de Control consistió en la realización de la lógica de control del nuevo sistema por medio del Software de programación del PLC y del diseño de la interfaz gráfica en la pantalla HMI, fueron diseñados también los nuevos esquemas de potencia y señales de mando de las máquinas, además del desarrollo de un sistema de avisos de identificación de fallas en los equipos que componen el proceso.

Actividades Específicas:

1. Programación del funcionamiento de las maquinas en el Software TIA PORTAL V13 SP2
2. Realización de Esquemas de Potencias, esquemas de Entradas y Salidas del PLC por medio del Software AutoCAD.
3. Programación de la Pantalla HMI en el Software TIA PORTAL V13 SP2

Fase.4 Estudio Económico

En esta fase se realizó el estudio económico teniendo en cuenta los dispositivos y materiales necesarios para la automatización:

Actividades Específicas:

- Se realizó el cálculo de flujo de caja proyectado en 5 años
- Se determinó la Tasa Interna de Retorno TIR
- Se determino el Valor Presente Neto para conocer la viabilidad del Proyecto.

Fase 5 Presentación de Informe Final

Esta es la última fase del proyecto en donde se expone todos resultados obtenidos con la realización de este proyecto.

6.10. Factibilidad técnica

- Se mejoró el sistema de arranque de la Maquina cepilladora mediante los sistemas de arranques comandados por el PLC.
- Se solucionó el inconveniente de velocidad del motor de avance de la Maquina Fabricadora de Placas mediante la instalación de un variador de velocidad.
- Se implementó un sistema de control PID a modo de solucionar la problemática de la temperatura de los rodillos.
- Se perfeccionó el correcto amarre de las placas en el lugar donde ha de ser cortado mediante la instalación de un detector fotoeléctrico.
- Se redujo los tiempos de activación de las maquinas por medio de la lógica programada.
- Se brindó sistema de paradas de emergencias a todas las maquinas del proceso.
- Se redujo los tiempos de detección de problemas en el proceso mediante los avisos del sistema.

- Se diseñó un sistema de Control y monitoreo de todas las fases del proceso por medio del PLC y la pantalla HMI.

6.11. Factibilidad económica

Esta parte se la Evaluación económica de las soluciones técnicas factibles que se encontraron en el Capítulo 6 correspondiente a Ingeniería de Diseño. De corresponder, se realiza las comparaciones pertinentes entre las alternativas.

6.11.1. Beneficios

En cuanto a lo económico se pueden resaltar dos aspectos principales en la implementación de este proyecto de automatización que es la del aumento de productividad relacionado a reducción de tiempos de activación, además del ahorro de dinero con la activación automática de las maquinas, pudiéndose así ahorrar el ingreso mensual del operador encargado de la activación de las maquinas.

6.11.1.1. Aumento de Producción por reducción de tiempo

Actualmente se está produciendo 130 m³ de placa mensualmente es decir 5 m³ de placa de madera por día. Con la implementación de este nuevo sistema de control se redujeron en un 20 % los tiempos de activaciones de las maquinas lo que equivale a un aumento de la producción de un 20 % que se traduce a su vez en 6 m³ de placa por día. Los tiempos que conllevaban las marchas y paradas de forma manual de los motores y cilindros para la realización de una placa según medición en la Fabrica FAQPAR SA eran los siguientes:

- Motor de Amarre: 40 Segundos
- Motor de Corte: 30 segundos
- Motor de Avance: 30 segundos
- Cilindro de Bajada: 20 segundos
- Cilindro Traslación: 20 segundos

Los tiempos de activaciones según simulaciones en el programa del PLC serán los siguientes:

- Motor de Amarre: 32 segundos
- Motor de Corte: 24 segundos
- Motor de Avance: 24 segundos
- Cilindro de Bajada: 16 segundos
- Cilindro Traslación: 16 segundos

6.11.1.2. Reducción por activaciones automáticas.

Al realizarse todas las activaciones en forma automática ya no será necesario que el operador que realizaba las activaciones de las maquinas en forma manual se quede en se sitio, sino que va a poder liberarse para realizar otras tareas dentro de la empresa o netamente ayudando también en el proceso. De este modo se podrá ahorrar el ingreso mensual de esta persona que según informaciones proporcionadas por la empresa sería de unos 1.600.000 gs mensuales

6.11.1.3. Ahorro por paradas de Maquinas

Según datos proporcionadas por la fábrica en el año 2014 se tuvo una pérdida de aproximadamente unos 13.600.000 Gs por paradas de producción a causa de avería de dispositivos, incendios en el proceso o problemas con los motores de los mismos. A partir de la implementación de este nuevo sistema de control estas perdidas formaran parte del ahorro anual de la Fábrica.

5.1.1. Costos

Los costos de inversión necesarios para la implementación de este proyecto de automatización están dados por los costos de equipos eléctricos-electrónicos, costos por materia prima adicional, costo mantenimiento preventivo, costo por parada para implementación y de la mano de obra respectivamente. El resumen de costos se puede observar en la tabla 6.1 mientras que los costos individuales detalladamente se pueden apreciar en el Apéndice A.

Item	Designación	Costo Total
1	Costo de Materiales	32.843.534
2	Costo de Mano de Obra	45.000.000
3	Parada por Implementación	31.870.000
4	Costo Adicional Materia Prima	102.000.000
5	Mantenimiento Preventivo	6.000.000
6	Imprevistos	5.000.000
Total Costos		222.713.534

Tabla 6. 1: Resumen Total de costos del análisis e implementación del proyecto

5.1.2. Evaluación económica

5.1.2.1. Flujo de caja proyectada

Teniendo en cuenta los ingresos y egresos del proyecto en el Apéndice C.1 se puede observar en forma detallada el cálculo flujo de caja y cuyo comportamiento en los próximos 5 años se puede apreciar en la figura 6.1, en donde solamente en el primer año se cuenta con un saldo negativo.

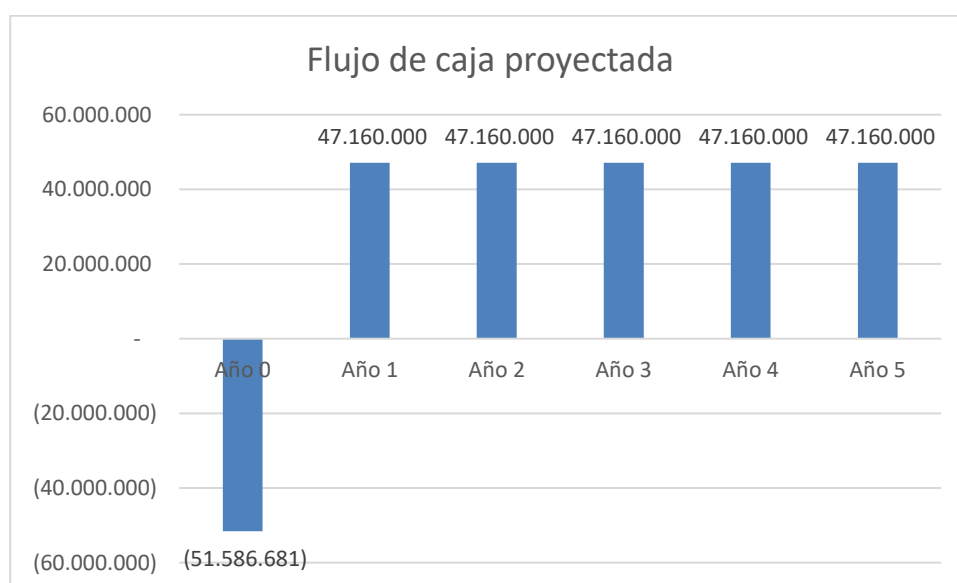


Figura 6. 1: Flujo de Caja proyectada

5.1.2.2. Tasa interna de rendimiento (TIR)

En base a la variación del flujo de caja en un periodo de 5 años tal como se puede observar en el Apéndice C.2 la tasa de inversión de retorno es del 87 %.

5.1.2.3. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto determinado en el apéndice C.3 es de 90.858.756 Gs a una tasa de descuento del 24 %. Y dado que el $VPN > 0$ se puede decir que el proyecto es rentable.

5.1.2.4. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Según el cálculo realizado en el Apéndice C.4 el periodo de recuperación de la inversión es de 1 año y un mes, por lo cual queda demostrado que en un periodo muy cercano se estaría recuperando la inversión inicial.

IV. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 7

7.1. Descripción General de la Situación actual de la Producción



Para la obtención de una placa de madera prefabricada la materia prima que en este caso es madera estrecha, debe de pasar por 3 fases principales, las cuales son: cepillado, producción de listones de madera y por último un proceso denominado Producción de Placas. Inicialmente la madera pasa por la primera fase, en este caso la madera es nivelada y alisada en su totalidad para luego pasar a la segunda fase que consiste en el corte de la madera insertada en piezas de diferentes tamaños, cuya longitud es muy superior a la anchura denominado listones de madera, en este proceso se determina el grosor de la futura placa, realizando una regulación en la máquina, el uso de este tipo de piezas es muy frecuente, tanto funcional como decorativo, a nivel funcional sirven

para recubrir uniones, proteger bordes y esquinas, como también para la producción de placas de madera prefabricadas que es el uso que se le da en este proceso. Los listones de madera pueden brindar detalles decorativos conformando paneles en puertas y paredes. Una vez obtenido estas piezas se procede a la producción de las placas que consiste básicamente en la unión de los listones de madera de diferentes tamaños mediante hilos con cola derretidos sobre la misma. El uso de esta placa varía de la necesidad que se tenga, el material obtenido es comercializado ya sea como componente primario para otro tipo de producto o conformando muebles, puertas, entre otras cosas. Debido a la alta deforestación que existe en nuestro país actualmente, conseguir madera se hace cada vez más difícil motivo por el cual se está optando por alternativas para sustituir en cierto modo la carencia de los mismos, de esta necesidad surge la realización de placas de madera prefabricadas, actualmente el uso que se les pueda dar a estos tipos de placas depende exclusivamente del comprador, ya sea para la fabricación de muebles, terciadas, soportes, casas, etc. Con esto se pretende también poseer un ahorro en costos y la preservación de la madera. Las medidas de las placas realizadas en este proceso varían dependiendo de los pedidos y la necesidad en el momento, pudiendo realizarse las siguientes medidas: 80, 70,60 cm de anchura, 2.60, 2.50, 2.30 m de longitud y 6, 10,18 y 20 mm de grosor.

7.1.1. Descripción de los accionamientos de las maquinas

Este proceso de producción comienza en una maquina cepilladora, en donde un operador activa de forma secuencial 2 motores de 10 hp en estrella-triángulo de forma manual (Apéndice B Figura B.1), se inserta la madera, luego se activa un motor de 3 hp de avance de manera que la madera pueda ser procesada, unos operadores transportan dicha madera procesada a una maquina llamada circular múltiple que consta de 2 motores. Otro operador activa un motor central (de corte) de 50 hp, se coloca la madera para luego activar un motor de avance de 5 hp, a la salida de esta máquina se clasifican los listones de maderas que salen de la maquina en diferentes tamaños.

Seguidamente los listones son transportados a un lugar próximo denominado Producción de Placas ubicada aproximadamente a unos 7 metros de la última maquina mencionada, los listones de madera son colocados encima de unos rodillos de avance (Figura B.2 Apéndice B) de manera a llenar totalmente la longitud y anchura del mismo, terminado el proceso de llenado se procede a la activación de un motor de avance y de un motor de amarre por medio de sus respectivos pulsadores. Dicho motor de avance hace que los listones pasen en medio de unos hilos con cola (Figura B.3 Apéndice B) que están girando constantemente por medio del motor de amarre, los hilos ubicados estratégicamente cumplen la función de amarrar de forma uniforme a todos los listones, los rodillos de avance hacen que se llegué a un sistema de derretido (Figura B.4 Apéndice B), la cual cumple la función de derretir los hilos con cola por medio de dos rodillos calientes que se deben mantener a una temperatura de 80° , dicho valor es visualizada en el tablero de control gracias a un display (Figura B.5 Apéndice B) pero para mantener ese valor constante, por medio de una perilla el operador activa cada vez que es necesario el sistema de calentamiento que está constituido por unas resistencias eléctricas, seguidamente los listones ya procesados pasan al sistema de enfriamiento compuestas por dos rodillos y un reservorio de agua.

El sistema sigue avanzando hasta llegar a un punto donde está ubicado un final de carrera (Figura B.6-Apéndice B) que cumple la función de parar al motor de avance, de manera que los operadores puedan percatarse de que la placa prefabricada ya compuesta pueda ser cortada a medida, el operador espera algunos segundos para parar también al motor de amarre, ésta maniobra es realizada para asegurar que no haya ningún problema a la hora del cortado de la siguiente placa debido a que gracias a que el motor de amarre sigue girando se asegura el amarre correcto en el lugar donde ha de ser cortado la placa, un operador oprime un pulsador activando así al motor de corte y a un cilindro lo cual hace que el motor de corte baje desde su posición inicial, seguidamente se vuelve activar otro cilindro que esta vez es de avance pudiendo así cortar

completamente la placa en su totalidad, por medio de 2 pulsadores se activa el solenoide de retroceso y de subida.

7.1.1.1. Maquina Cepilladora

Esta máquina cumple la función de cepillar la madera insertada ya sea en la parte superior e inferior de la misma, está compuesta por 2 motores trifásicos de 10 hp y un motor trifásico de 3 hp, todos ellos del tipo rotor en cortocircuito.

Los 2 motores de 10 hp tienen un arranque del tipo Estrella-Triangulo lo cual se realiza mediante un arrancador manual de forma secuencial como se ve en la figura 7.1 y el motor de 3 hp consta de un arranque directo mediante arrancador manual (Figura 7.2).

Cada motor tiene su función específica, uno de los motores de 10 hp es utilizado para el cepillado de la parte inferior de la madera, otro para la parte superior. Mientras que el motor de 3 hp es utilizado para el avance de la madera.

Elementos del circuito

F1. Fusibles Generales

S3. Arrancador Manual

M. Motor trifásico 3hp

Arranque Estrella-Triangulo manual 2 motores de 10 hp

In= 14 A

Tensión: 380/660 V

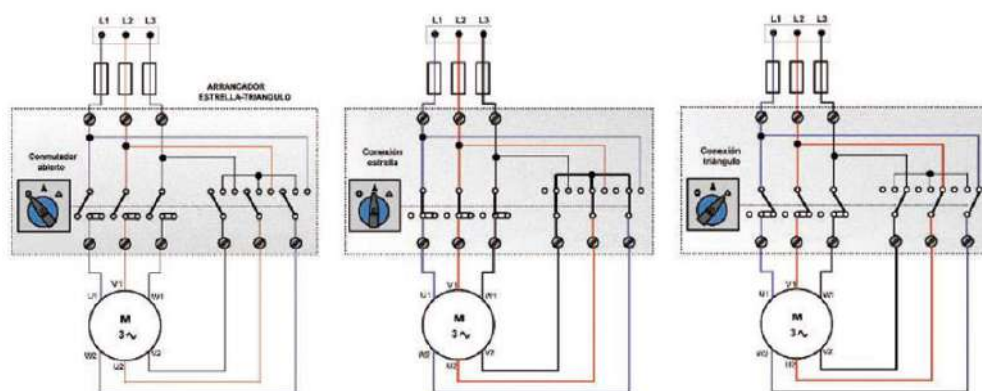


Figura 7. 1: Arranque estrella triangulo de un motor trifásico mediante arrancador manual

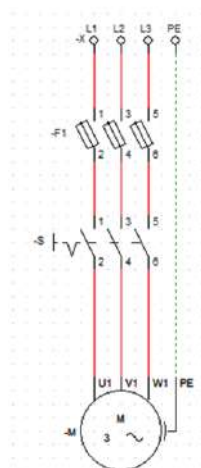


Figura 7. 2: Arranque directo de forma manual

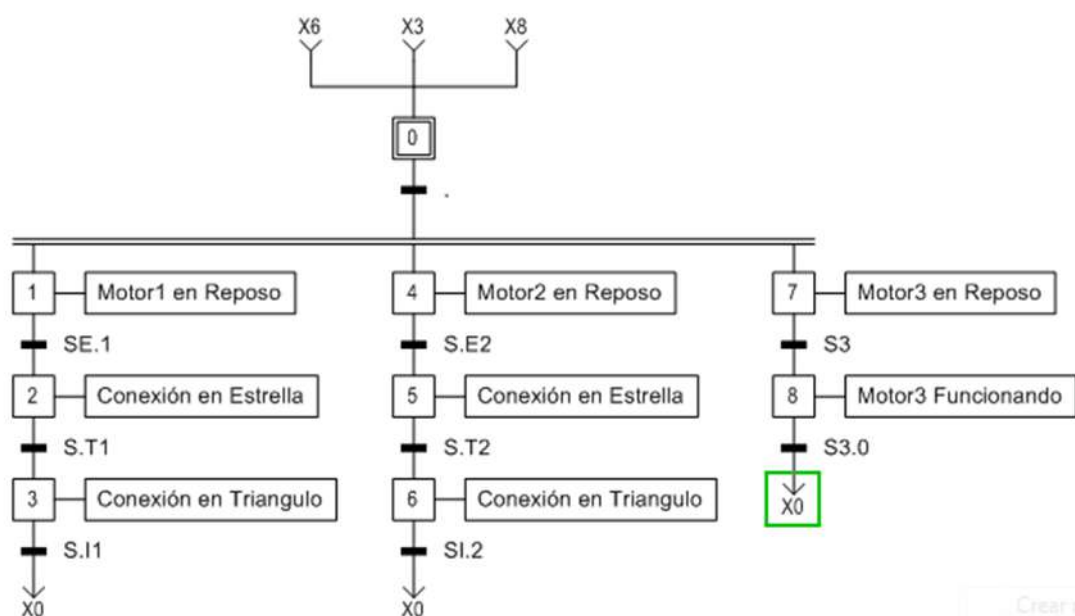


Figura 7. 3: Grafcet de Funcionamiento de la maquina

Elementos del circuito

F. Fusibles Generales

S1. Arrancador estrella-triángulo manual M1

S2. Arrancador estrella-triángulo manual M2

M1, M2 Motores Trifásicos de 10 Hp

M3 Motor Trifásico de 3Hp

Funcionamiento de la Maquina

Debido a que los 2 motores de 10 hp poseen el mismo sistema de arranque, se explicara el funcionamiento de uno de ellos. Como se ve en la figura 5.1 este conmutador posee tres posiciones: la inicial de desconexión S.I, la segunda que conecta los bobinados del motor en estrella S.E y la tercera que conecta los bobinados en triangulo S.T. Mediante este arrancador se procede a la conexión de los bobinados del motor en estrella de manera a reducir la intensidad absorbida por el motor, pasado algunos segundos se pasa a la conexión de los bobinados en triangulo quedando el motor trabajando en sus valores nominales.

Inicialmente se procede al arranque del primer motor de 10 hp utilizado para el cepillado de la parte inferior, seguidamente el motor correspondiente a la parte superior y por último se procede al arranque del motor de avance por medio del arrancador manual S3

7.1.1.2. *Maquina circular múltiple*

Está maquina es la encargada de la producción de listones de madera a partir de la madera ya procesada en la cepilladora. Consta de un motor trifásico central (de corte) de 50 hp y otro motor de avance de 5 hp.

El arranque del motor de 50 hp se realiza mediante una conexión Estrella-Triangulo, mientras que el motor de 5 hp tiene un arranque directo.

1 Motor de 5 hp

Tensión: 380 V

In: 6.5 A

1 Motor de 50 hp

Tensión: 380/660 V

In: 66 A

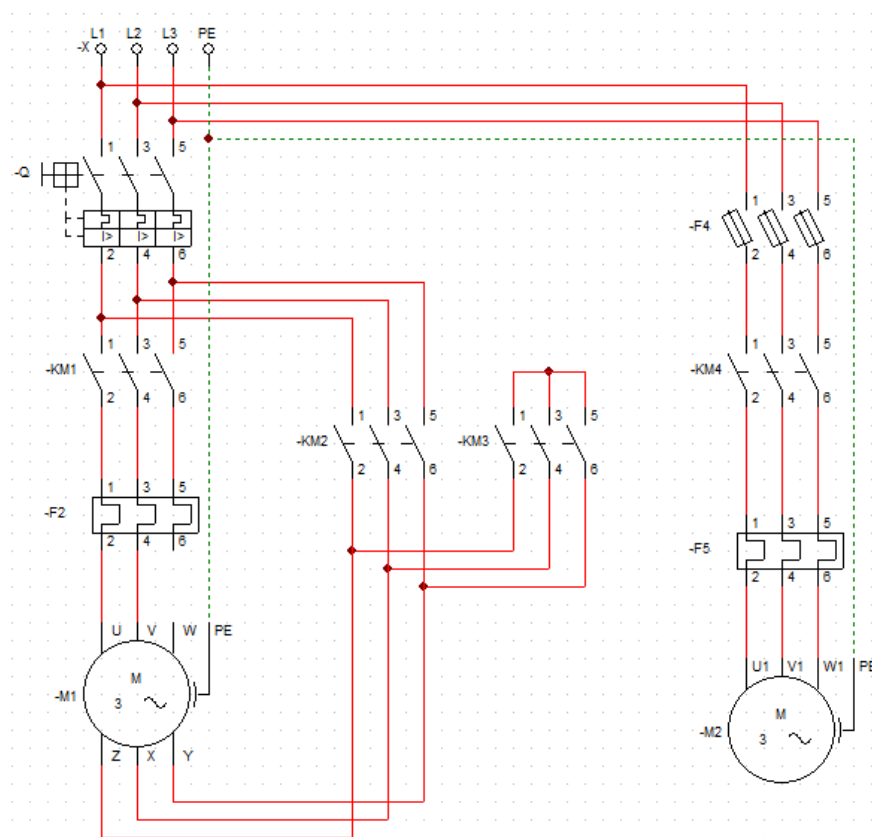


Figura 7. 4: Esquema de Potencia Circular Múltiple.

Elementos del circuito de potencia

Q. Interruptor termomagnético(M1)

F4. Fusible de protección (M2)

KM1. Contactor tripolar con un contacto auxiliar NA (M1)

KM2. Contactor tripolar con un contacto auxiliar NA. (M1)

KM3. Contactor tripolar con un contacto auxiliar NC. (M1)

KM4. Contactor Tripolar con un contacto auxiliar NA (M2)

F2. Relé térmico de protección. (M1)

F3. Relé térmico de protección. (M2)

M1. Motor trifásico de 50 hp con rotor en cortocircuito

M2. Motor trifásico de 5 hp con rotor en cortocircuito

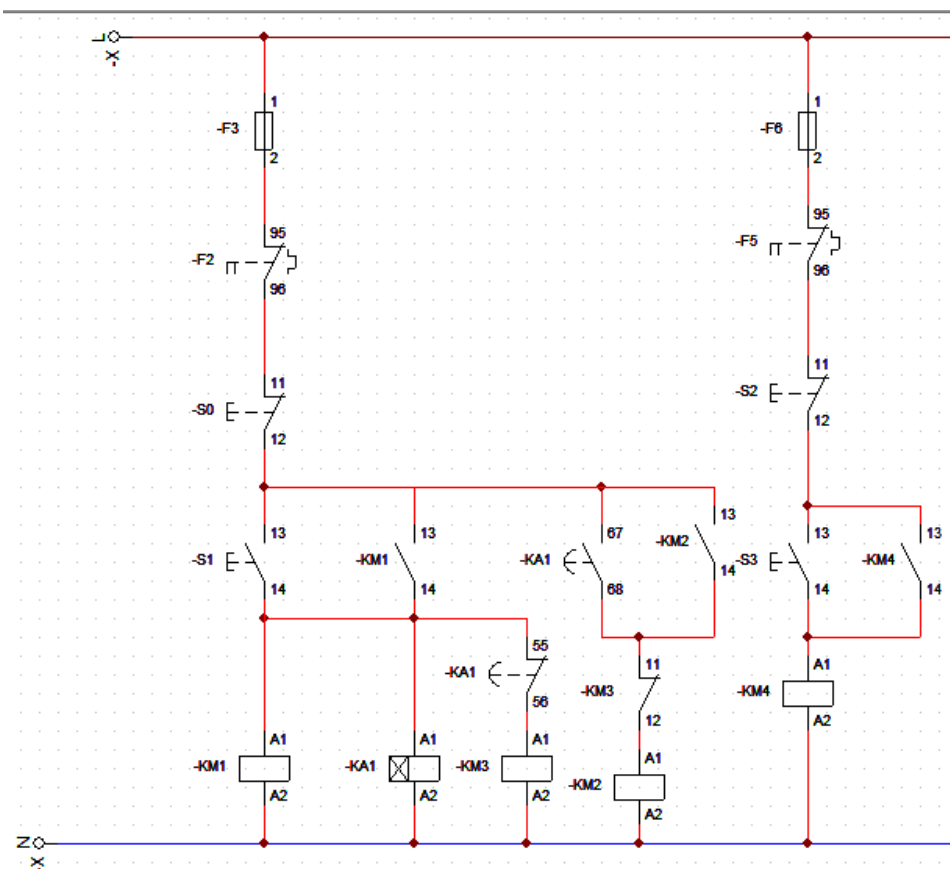


Figura 7. 5: Esquema de maniobra Circular Múltiple

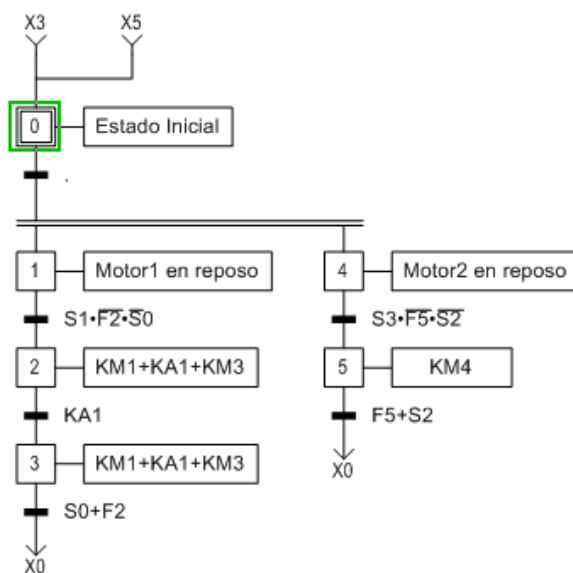


Figura 7. 6: Grafcet de funcionamiento

Elementos del circuito de maniobra

F3. Fusible de protección

F6. Fusible de protección

F2. Contacto del relé térmico (1NC) M1

F5. Contacto del relé térmico (1NC) M2

S0. Pulsador de Paro (M1)

S2. Pulsador de Paro (M2)

S1. Pulsador de marcha (M1)

S3. Pulsador de marcha (M2)

KA1. Relé temporizador a la conexión (M1)

KM1, KM2, KM3. Bobina de los contactores (M1)

KM4. Bobina del contactor (M2)

Funcionamiento de la Maquina

Primeramente, se pone en marcha el motor central (M1) pulsando en S1 lo que permite que entren en funcionamiento KA1, KM1 y KM3 (Conexión en Estrella). Transcurrido un tiempo, KA1 acciona su contacto temporizado, desconectando KM3 y conectando KM2 (Conexión en Triangulo). El contactor KM3 no entrará por efecto de los enclavamientos eléctricos. Seguidamente se oprime el pulsador S3 permitiendo que entre en funcionamiento el contactor KM4 del motor M2

Pulsando en S0 y S2 se desconectan los contactores del motor M1 y del motor M2 respectivamente, también son desconectados por falta de tensión, fusión de fusibles y disparo de sus respectivos relés térmicos

7.1.1.3. Producción de Placas

La Producción de Placas está constituido por un conjunto de máquinas que tienen la función de la elaboración de la placa de madera prefabricada, logrando de esta manera la unión de los listones de madera por medio de hilos especiales con cola que son derretidos sobre la misma. Está compuesto por un motor de avance 3 hp (M1), rodillos de avances, sistema de amarre de hilo con cola, un motor amarre de 3 hp (M2), sistema de derretido y enfriamiento con rodillos, 12 resistencias trifásicas de 2000 w, 2 cilindros de doble efecto con sus respectivas electroválvulas, un motor de corte de 5 hp (M3), un final de carrera, y los respectivos dispositivos de control (contactores, pulsadores, relé térmico, etc).

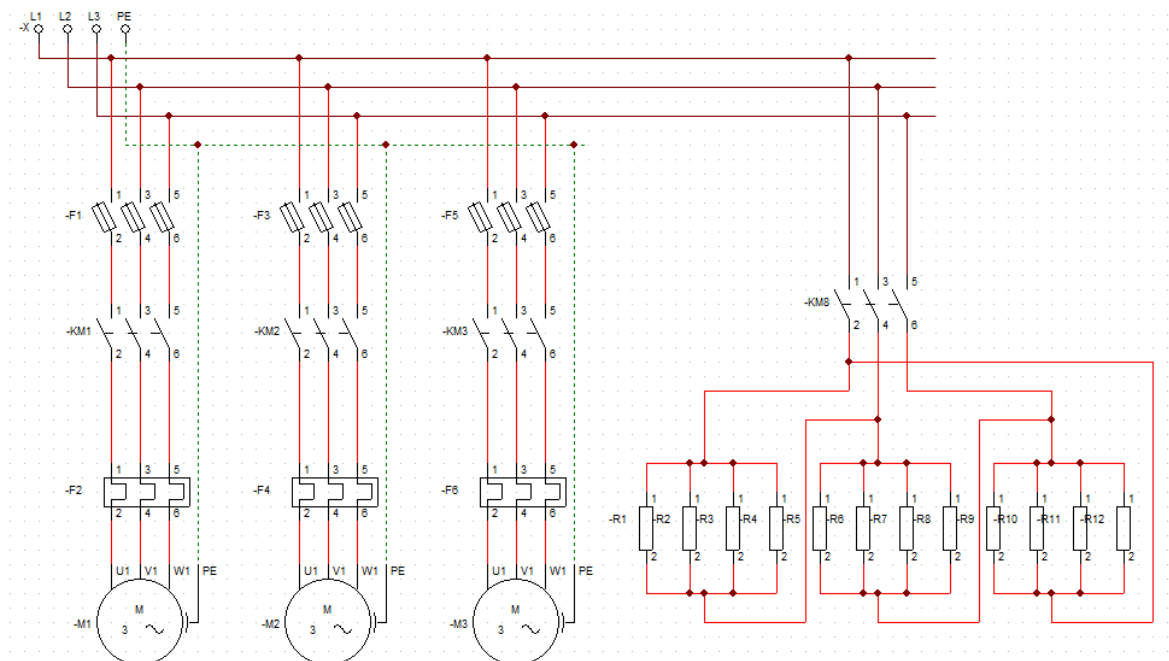


Figura 7. 7: Esquema de Fuerza Producción de Placas

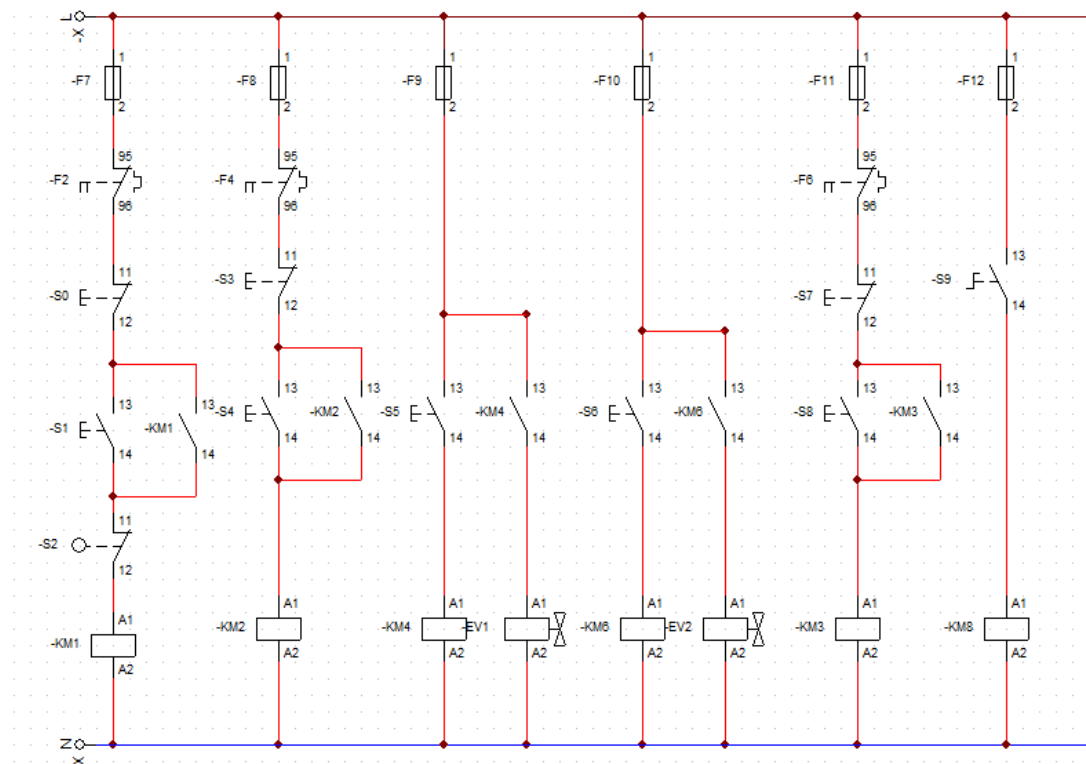


Figura 7. 8: Esquema de Maniobra Producción de Placas

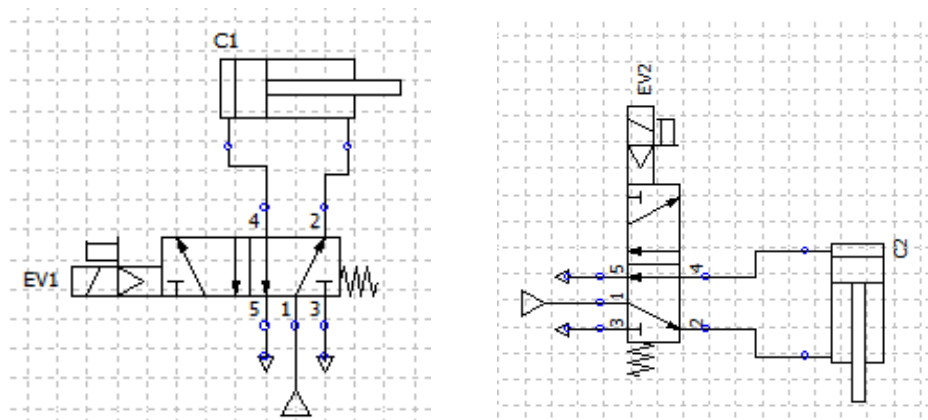


Figura 7. 9: Accionamiento de 2 cilindros de doble efecto mediante Electroválvula de 5/2 vías

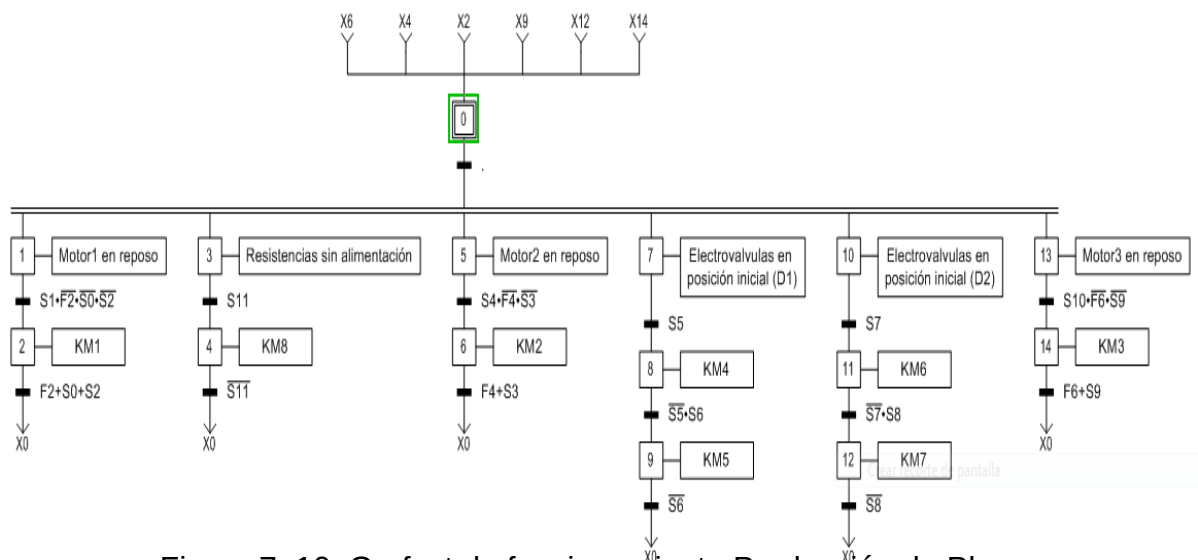


Figura 7. 10: Grafcet de funcionamiento Producción de Placas

Elementos del circuito de potencia

F1. Fusible de protección (M1)

F3. Fusible de protección (M2)

F5. Fusible de protección (M3)

KM1. Contactor tripolar con un contacto auxiliar NA (M1)

KM2. Contactor tripolar con un contacto auxiliar NA. (M1)

KM3. Contactor tripolar con un contacto auxiliar NA. (M1)

F2. Relé térmico de protección. (M1)

F4. Relé térmico de protección. (M2)

F6. Relé térmico de protección. (M2)

M1. Motor trifásico de 3 hp con rotor en cortocircuito (motor de avance)

M2. Motor trifásico de 3 hp con rotor en cortocircuito (motor de amarre)

M3. Motor trifásico de 5 hp con rotor en cortocircuito (motor de corte)

Elementos del circuito de maniobra

F7, F8, F9, F10, F11, F12. Fusible de protección

F2. Contacto del relé térmico (1NC) M1

F4. Contacto del relé térmico (1NC) M2

F6. Contacto del relé térmico (1NC) M3

S0. Pulsador de Paro (M1)

S2. Final de Carrera
S3. Pulsador de Paro (M2)
S7. Pulsador de Paro (M3)
S1. Pulsador de marcha (M1)
S4. Pulsador de marcha (M2)
S8. Pulsador de marcha (M3)
S5. Pulsador de Activación de Electroválvula EV1
S6. Pulsador de Activación de Electroválvula EV2
S9. Perilla de Activación de Resistencias
KM1 Bobina de los contactores (M1)
KM2 Bobina de los contactores (M2)
KM3. Bobina de los contactores (M3)
KM4, bobina del contactor de la Electroválvula D1
KM5, bobina del contactor de la Electroválvula D2
KM6 bobina del contactor del sistema de Resistencias
R1...R12 Resistencias Eléctricas
EV1. Bobina de la Electroválvula 1
EV2. Bobinas de la Electroválvula 2

Sistema Neumático

C1. Cilindro de doble efecto
C2. Cilindro de doble efecto
D1, D2. Electroválvulas de 5/2 vías

Funcionamiento de las maquinas

Inicialmente se oprime el pulsador S1 permitiendo el funcionamiento del contactor KM1, activándose así el motor M1, luego de algunos segundos se oprime el pulsador S4 que permite la activación del motor M2 por medio del contactor KM2. También es activado el sistema de calentado compuestos por resistencias eléctricas con conexión en triangulo por medio de la perilla S9. Una vez que se alcanza la temperatura de 80 grados lo cual se verifica mediante un

display se vuelve a desactivar la perilla y así sucesivamente cuando sea necesario se realiza la activación y desactivación.

Debido a la activación del final de carrera S2 ubicado al final del proceso el motor M1 para, luego de algunos segundos se procede al cese del funcionamiento del motor M2 por medio del pulsador S3. Después de esto se oprime el pulsador S5 alimentando así a la bobina EV1 a través del contactor KM4 de la electroválvula D1, este pulsador se sigue presionando de manera a que el cilindro no vuelva a su posición original, permitiendo el desplazamiento del cilindro c1 hacia abajo, una vez abajo se procede al arranque del motor M3 por intermedio de KM3, para ello se oprime el pulsador S10.

Después del arranque del motor M3 se energiza por medio del pulsador S6 y a su vez KM6 a la bobina EV3 de la electroválvula D2, lo cual permite el avance del motor M3 a través del cilindro c2 hasta su total desplazamiento, después de esto se para el motor M3 oprimiendo el pulsador de paro S7. El retroceso del cilindro c2 se realiza desactivando la señal proporcionada por el pulsador al contactor KM7 y está a la bobina EV2, luego se activa el sistema de retroceso de c1 a través de la desactivación de S6, KM5 y EV1.

Pulsando en S0 el motor M1 puede dejarse en fuera de servicio respectivamente, y los 3 motores pueden hacerlo también por falta de tensión, fusión de fusibles y disparo de sus respectivos relés térmicos.

7.1.2. Problemas Planteados

Este proceso de producción implica un riesgo muy importante, afectando directamente a la producción y a la vida útil de las máquinas, comenzando desde el inicio hasta el final, primeramente comenzando desde la conmutación en los arranques de la cepilladora, dicha conmutación es realizado de forma manual (Figura B.1) y por ende podría causar un daño considerable a lo que es la red de la Ande, violando el reglamento de baja tensión [1] y a la máquina misma, ya que en un descuido el operador podría equivocarse en la maniobra de arranque.

Otro problema que se tiene es la de necesitar de varios trabajadores para el transporte de los listones de madera desde la salida de la maquina circular múltiple hasta el lugar en donde se realiza la producción de placas, debido a la distancia que hay entre ambas fases se pierde tiempo en el transporte, no solamente el hecho de que estén alejadas una de otras implica un problema sino que también el hecho de que el motor de avance que transporta los listones por medios de rodillos trabaja a una velocidad constante, lo cual implica que los trabajadores no tenga tiempo de llenar en algunas ocasiones los espacios en los rodillos. Si es que no se llena correctamente los espacios en los rodillos automáticamente la producción de las placas es afectada.

Para que se tenga una mejor producción de placas, los hilos del sistema de amarre deberán amarrar de forma correcta y uniforme a los listones de madera, por ende, este procedimiento depende directamente de la velocidad del motor de avance, cuando mayor sea la velocidad más distancia habrá entre los amarres realizados, tiempo atrás por medio de un arreglo de poleas se regulaba dicha velocidad, pero igual consistía un problema ya que para realizar el arreglo el sistema debía parar completamente. Otro inconveniente que se tiene es la de asegurar el correcto amarre de la placa en el lugar donde ha de ser cortado una vez listo, esto se logra amarrando más de una vez a los listones de madera justo en el lugar donde la placa prefabricada ya formada es cortada por el motor de corte, de modo a que la placa no cuente con desbalances en las medidas, actualmente esto se está tratando de remediar visualizando el avance de los listones hasta el sistema de amarre debido a que no se cuenta con un mecanismo que pueda detectar el lugar exacto en donde se debería realizar esta maniobra ya mencionada, una vez que el operador crea conveniente se para el motor de avance permitiendo que los hilos puedan asegurar el correcto amarre, luego de algunas vueltas por los listones se vuelve a avanzar en el proceso. Este método ya ocasiono imperfecciones en el corte y en las medidas de las mismas por lo cual amerita una pronta solución.

Quizás el problema más importante que puede causar y que ya ha causado anteriormente, es la de no mantener constante la temperatura de los rodillos calientes dicha temperatura debe mantenerse en 80°C, ya que si sobrepasa este valor los rodillos podrían quemar los listones de madera; lo que ya sucedió en varias ocasiones por un descuido de los trabajadores ya que los mismos estaban ocupados en llenar los espacios de los rodillos que se señaló más arriba. Por otro lado, si es que la temperatura es menor a 80°C, se corre el riesgo de que los rodillos no puedan derretir correctamente los hilos con cola que van amarrados a los listones.

Asimismo, ya que la activación del sistema de cortado de las placas es manual, se pierde tiempo activando los motores de corte, cilindros de avance y retroceso. Las medidas de las placas dependen directamente del único final de carrera ubicado al final de proceso, si es que ese final de carrera no funciona correctamente las medidas de las placas podrían variar considerablemente. Finalmente cabe mencionar que como todas las fases se realizan en forma manual no existe un sistema de monitoreo sobre todas las fases del proceso

Resumen de problemas a solucionar

- Conmutación manual en el arranque de los motores de la cepilladora
- Pérdida de tiempo en la activación manual de máquinas
- Distancia entre las máquinas del proceso
- Velocidad constante del motor de avance de la Producción de Placas
- Carencia de paradas de emergencias
- Carencia de un control total de las máquinas
- Oscilaciones en el control de temperatura de los rodillos que causan incendios en el proceso
- Imperfecciones en las medidas de las placas

7.2. *Análisis de las Soluciones.*

Teniendo en cuenta lo escrito anteriormente, es decir, descripción del proceso, elementos por los cuales está compuesto como también los problemas con que se cuenta actualmente se procede al planteamiento de las posibles soluciones.

7.2.1. *Lógica Programada*

Debido a que el control del proceso se realiza mediante lógica cableada de contactores y relés en su gran mayoría, esta situación implica poseer un conocimiento exigente de las conexiones de cada elemento y a la hora de la detección de fallas en el proceso resulta más difícil la solución de los mismos ya que se tiene que realizar una inspección de todos los equipos hasta llegar al desperfecto. Cualquier cambio o ampliación en esta instalación significaba modificar el cableado y la mayor parte de los elementos de forma a que cumplan con las nuevas funciones de mando.

A partir de estos hechos se plantea la sustitución de la lógica cableada por la lógica programada que en este caso sería la instalación de un Controlador Lógico Programable más conocido como PLC. En la actualidad las industrias optan por reemplazar los sistemas de lógica cableada tradicionales por la instalación de estos equipos electrónicos debido a que proporciona una solución óptima al control de máquinas, procesos industriales, como también son capaces de realizar operaciones aritméticas y controlar señales analógicas.

Otra de las ventajas de usar un controlador lógico programable, son su detección, mando, programación e interfaz hombre máquina, que facilitan su operación. Además, puede contener diferentes tipos de comunicación industrial y ser utilizado de esta manera en cualquier nivel o modelo de red.

En el mercado existen diferentes marcas comerciales que tienen su línea de PLC, en este proyecto solamente se analizara los modelos que ofrece la marca Siemens en nuestro país.

7.2.1.1. PLC Siemens

Una de las marcas más renombradas en el ámbito de los controladores lógicos programables es Siemens de Alemania, presenta una alta confiabilidad, robustez frente a condiciones no óptimas (polvo, humedad, armónicos, picos de voltaje fluctuaciones, etc. Posee un lenguaje de programación muy versátil, que le permite una mayor funcionalidad de su software de programación: Step 7, en el cual se puede programar al PLC en diferentes lenguajes: KOP (Ladder), FUP (Diagrama de Funciones), AWL (Lista de instrucciones), GRAPH (Lenguaje Gráfico secuencial). Abarca una amplia gama de aplicaciones, desde las simples hasta las más complejas con sus desarrollos tecnológicos: LOGO, S7-200, S7-1200, S7-1500, S7-300 y S7-400, cada modelo posee sus respectivas variantes, permitiendo así optar por el modelo que mejor se adapte a la aplicación o al automatismo a implementar, convirtiéndose así en una de las mejores opciones a nivel de automatismos.

Siemens cuenta con una representación en Paraguay, lo cual permite el acceso a sus respectivos productos, contando con soporte técnico calificado. En nuestro país los automatismos implementados con los productos ofrecidos por esta marca son innumerables, en especial en la instalación de sus Controladores Lógicos Programables (PLC), demostrando una alta confiabilidad y robustez en sus productos.

Por este motivo se plantea la implementación de este tipo de PLC para el presente trabajo, partiendo de la selección del modelo quien más se adecue a la necesidad con que se cuenta actualmente en el Proceso de Producción de placas prefabricadas de madera.

Otra de las razones por las cuales se determina la elección de esta marca de PLC es que en la empresa FAQPAR S.A. prácticamente tiene estandarizado la utilización de la marca comercial SIEMENS en casi todas sus máquinas y procesos, para lo cual como alternativas se analizan los controladores modulares de dicha marca

7.2.1.2. Alternativas de PLC

De acuerdo a los requerimientos señalados anteriormente, existen tres alternativas de PLC que cumplen con lo expuesto, para lo cual se analiza a continuación sus principales características principales, sus ventajas y desventajas

Alternativa N°1

Modelo: S7 200

CPU: 224XP

S7 200 CPU 224XP		
Características	Ventajas	Desventajas
Tamaño Físico: 120,5 mm x 80 mm x 62 mm	- Pequeño y compacto, ideal para aplicaciones donde importa el espacio ocupado - Manejo Simplificado gracias a software de fácil uso Step 7-Micro/WIN, ideal para novatos como para expertos 2 puertos de comunicación integrados amplían las posibilidades de comunicación - Bajo costo comparados con los PLC de gama alta - Brinda 3 entornos de programación	- Necesita de software adicionales para la configuración de pantallas HMI - El S7-1200 es el sucesor del S7-200, por lo cual no se garantiza repuestos en los próximos años
Memoria de usuario: Memoria de trabajo: 26 KB Memoria de carga: No Disponible Memoria remanente: 2 KB		
E/S integradas locales: Digitales: 14 entradas y 10 salidas Analógicas: 2 entradas		
Ampliación con módulos de señales: 7		
Puertos de comunicación: 2 (R485)		
Posibilidad de comunicación adicionales: si, esclavo PROFIBUS DP y/o maestro, AS-Interface/Ethernet		
Velocidad de ejecución booleana: 0,37 ms/operación		
Funciones Tecnológicas: Hasta 8 reguladores PID independientes		
Lenguajes Soportados: AWL (Lista de instrucciones), KOP (Esquema de		

contactos), FUP (Diagrama de funciones)		
Comunicación con pantallas HMI: 3 conexiones por cada puerto utilizando protocolo MPI		
Configuración/Programación: Step 7-MicroWIN V3.2 Sp4 o superior		

Tabla 7. 1: Características PLC S7 200

Alternativa N°2
Modelo: S7 1200
CPU: 1214C

S7 1200 CPU 1214C		
Características	Ventajas	Desventajas
Tamaño Físico: 110 x 100 x 75	• Posee 3 conexiones para comunicación de HMI a CPU • Software integrado para la configuración de la lógica del controlador, la visualización de HMI, y la comunicación por red, bajo un mismo entorno de una manera rápida y sencilla. • Para la configuración de HMI no se requiere stick de licencia USB separado.	• No soporta el lenguaje de programación AWL. • A diferencia del S7 300 no ofrece la simulación en su ambiente de desarrollo
Memoria de usuario: Memoria de trabajo: 50 KB Memoria de carga: 2MB Memoria remanente: 2 KB		
E/S integradas locales: Digitales: 14 entradas y 10 salidas Analógicas: 2 entradas		
Ampliación con módulos de señales: 8		
Puertos de comunicación: 1 (Profinet)		
Posibilidad de comunicación adicionales: 3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Velocidad de ejecución booleana: 0,1 µs/instrucción		

Funciones Tecnológicas: Hasta 16 reguladores PID independientes	• Disponibilidad de tarjetas Signal Board para ampliar las E/S de la CPU S7 1200 sin aumentar el tamaño que ocupa la CPU • Permite la comunicación con PLCs o pantallas HMI de terceros siempre que ofrezcan la misma conectividad Ethernet abierta que el S7-1200. • Repuesto Garantizado a largo plazo (10 años) • Bajo costo comparados con los PLC de gama alta	
Lenguajes Soportados: KOP (Esquema de contactos), FUP (Diagrama de funciones)		
Comunicación con pantallas HMI: 3 conexiones para comunicación de HMI a CPU		
Configuración/Programación: STEP 7 Basic V13 en TIA Portal, STEP 7 Professional V13 en TIA Portal		

Tabla 7. 2: Características PLC S7 1200

Alternativa N°3
Modelo: S7 300
CPU: 313C

S7 300 CPU 313C		
Características	Ventajas	Desventajas
Tamaño Físico: 120 x 120 x 130	Posibilidad de realizar estructuras descentralizadas e interconexiones por red con un	Tiene un costo bastante elevado en comparación con las demás variantes de la
Memoria de usuario: Memoria de trabajo: 128 KB Memoria de carga: 64 KB a 8 MB Memoria		

E/S integradas locales: Digitales: 24 entradas/16 salidas Analógicas: 4 entradas/2 salidas	sinnúmero de aplicaciones Potente gracias a la gran cantidad de funciones integradas Gran velocidad de procesamiento y breves tiempos de reacción. Posee funciones tecnológicas más avanzadas en comparación a las otras variantes de PLC Ideal para aplicaciones que requieran implementación de un Scada local Software integrado para la configuración de la lógica del controlador, la visualización de HMI, y la comunicación por red, bajo un mismo entorno de una manera rápida y sencilla	misma marca comercial, debido a sus potentes características
Ampliación con módulos de señales: Por sistema: 31		
Puertos de comunicación: 1 (MPI)		
Velocidad de ejecución booleana: 0,07 µs/instrucción		
Funciones Tecnológica: Controlador tecnológico especial, Modo isócrono (CPU`S Tecnológicas,PID		
Lenguajes Soportados: AWL(Lista de instrucciones), KOP (Esquema de contactos),FUP (Diagrama de funciones), Grafcet		
Capacidad de comunicación con pantallas HMI y Scada: Altas prestaciones para el Control, manejo y visualización (HMI,Scada por cada puerto de comunicación).		
Configuración/Programación: TIA PORTAL STEP7 Profesional V13 / SIMATIC STEP7		

Tabla 7. 3: Características PLC S7 300

7.2.1.3. *Requerimientos del PLC*

Como necesidad prioritaria debemos aproximarnos al número de entradas, salidas digitales y analógicas de nuestra aplicación, incluido CPU y módulos de ampliación del PLC, por lo tanto, de manera aproximada se requiere tener como mínimo:

- 25 entradas digitales
- 1 entrada analógica

- 20 salidas digitales
- 1 salidas analógicas

El controlador no debe presentar características ni técnicas de especial consideración que impidan su normal funcionamiento, o a su vez que requiera de equipos adicionales que influyan en el costo del proyecto.

En el tema de comunicaciones, el PLC debe tener al menos una interfaz de comunicación industrial, sea esta Profinet, Profibus, Ethernet o que soporte otro tipo de protocolo de comunicación. El tipo de comunicación debe estar incorporado en la CPU o a través de un módulo adicional.

La interfaz de comunicación se definirá a través de la elección del controlador lógico programable ya que en la actualidad estos elementos ya incluyen uno o varios tipos de comunicación que se adaptan perfectamente al proceso. El controlador debe enlazarse por lo menos con un panel de operador HMI., sea este de la misma o diferente marca comercial a la del PLC.

Además, se debe tomar en cuenta las facilidades que este nos puede brindar para reducir los tiempos de diseño y programación, obteniendo como resultado un manejo adecuado para la operación y mantenimiento

7.2.1.4. Elección del PLC

Una vez analizado las alternativas existentes de la marca Siemens en el mercado, y siendo el PLC será uno de los elementos más importantes para poder llevar a cabo este proyecto de automatización se ha optado por el PLC SIMATIC 1200. Esta variante de PLC cumple perfectamente con los requerimientos señalados en el apartado anterior 6.2.1.2, a pesar de ser un autómatas de gama baja cuenta con una serie de características y versatilidades propias para automatismos que requieran un sistema de control.

Otra de las razones por las cuales se termina seleccionando a este PLC es su bajo costo en comparación con el S7 300, además de la posibilidad de realizar configuraciones, comunicaciones por red y visualizaciones con pantallas HMI bajo un mismo entorno programación de una manera rápida y sencilla gracias a su software Integrado TIA Portal V13 o una variante inferior.

El PLC S7 200 cumplía también con la mayoría de los requerimientos expuestos pero debido a que se tendría un costo adicional a la hora de configuraciones de HMI no se optó por esta variante.

Todos los análisis y soluciones que han de realizarse tendrán absoluta relación con este autómata programable y con su respectivo entorno de programación.

7.2.1.4.1. Selección del tipo de CPU

La CPU es la parte principal del PLC, es la encargada de ejecutar el programa estructurado por el usuario, además vigila los tiempos de ejecución del programa, controlando los rangos mínimos y máximos de los ciclos. Se puede decir que controla todo el proceso, algo importante de la CPU es que sirve de puente de comunicación entre la programación y los actuadores mediante sus entradas y salidas análogas o digitales cumpliendo el proceso de maestro-esclavo.

Para el presente proyecto se escoge la CPU 1214C DC/DC/DC, es decir, alimentación DC, entradas DC y salidas DC. Se escoge la alimentación DC, debido a que en el proyecto se opta por separar la alimentación de cada parte dependiendo de la función que desempeña, en este caso se trata de la parte que comanda el sistema. Las entradas tipo DC son escogidas debido a que serán instalados sensores y dispositivos que trabajan a tensión continua, las salidas del tipo DC activaran a relés auxiliares de modo a separar la parte de potencia con la parte de control.

Entre sus características principales tenemos que su alimentación es de 24 VDC, además tiene incorporado 14 entradas digitales (DI), 10 salidas digitales (DO), las cuales trabajan a 24VDC, 2 entradas analógicas (AI) para voltaje que trabajan de 0 a 10V DC.

Capacidad de expansión hasta 1 Signal Board (SB) para señales analógicas o digitales, 8 módulos de señal (SM) analógicos o digitales y 3 módulos de comunicación (CM) como por ejemplo RS485 o RS232.

7.2.1.4.2. Selección de módulos Digitales y Analógicos

De manera a satisfacer los requerimientos de Entradas/Salidas digitales y analógicas, se adquirirán 2 módulos de señales: 1 SM 1223 que consta de 16 entradas y 16 Salidas Digitales a 24 V, 1 SM 1231 que consta de 4 entradas para sensores Termopares.

7.2.1.5. Elección de Panel Operador

Puesto que la visualización se está convirtiendo cada vez más en un componente estándar de la mayoría de las máquinas, los Basic Panels SIMATIC HMI ofrecen dispositivos con pantalla táctil para tareas básicas de control y supervisión. Todos los paneles tienen el tipo de protección IP65 y certificación [x].

Entre las variantes que nos ofrecen la gama de paneles operadores siemens son los siguientes:

KTP 400 Basic PN

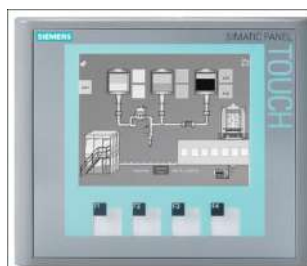


Figura 7. 11: Hmi KTP 400 Basic

- Mono (STN, escala de grises)
- Pantalla táctil de 4 pulgadas con 4 teclas táctiles
- Vertical u horizontal
- Tamaño: 3.8"
- Resolución: 320 x 240
- 128 variables
- 50 pantallas de proceso
- 200 alarmas

- 25 curvas
- 32 KB memoria de recetas
- 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

KTP 600 Basic PN



Figura 7. 12: HMI KTP 600 BASIC PN

- Color (TFT, 256 colores) o monocromo (STN, escala de grises)
- Pantalla táctil de 6 pulgadas con 6 teclas táctiles
- Vertical u horizontal
- Tamaño: 5.7"
- Resolución: 320 x 240
- 128 variables
- 50 pantallas de proceso
- 200 alarmas
- 25 curvas
- 32 KB memoria de recetas
- 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

KTP 1000 Basic PN



Figura 7. 13: HMI KTP 1000 Basic PN

- Color (TFT, 256 colores)
- Pantalla táctil de 10 pulgadas con 8 teclas táctiles

- Vertical u horizontal
- Tamaño: 10.4"
- Resolución: 640 x 480
- 256 variables
- 50 pantallas de proceso
- 200 alarmas
- 25 curvas
- 32 KB memoria de recetas (memoria flash integrada)
- 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

KTP 1500 Basic PN



Figura 7. 14: HMI KTP 1500 BASIC PN

- Color (TFT, 256 colores)
- Pantalla táctil de 15 pulgadas
- Vertical u horizontal
- Tamaño: 15.1"
- Resolución: 1024 x 768
- 256 variables
- 50 pantallas de proceso
- 200 alarmas
- 25 curvas
- 32 KB memoria de recetas (memoria flash integrada)
- 5 recetas, 20 registros, 20 entradas

Para el control y supervisión de todo este proceso se utilizará el SINAMIC HMI KTP 600 color (TFT, 256 colores), ya que tiene una perfecta comunicación con los PLC SIEMENS de la serie S7-1200, además una ventaja es el software de programación ya que SIMATIC STEP 7 está totalmente integrado con SIMATIC

WinCC, lo cual facilita el diseño del programa y evita un costo adicional por el tema de licencias. Además de su bajo costo con relación a las demás variantes de HMI observadas, se adecua perfectamente a lo que se necesita para el control y monitoreo del proceso. Se podrá brindar colores específicos a pulsadores e indicaciones que ha de tener el proceso.

7.2.1.6. Elección de Switch Ethernet

De manera a poder hacer posible una comunicación simultánea entre el panel operador, el PLC, la PC de programación y cualquier otro dispositivo que soporte Ethernet se adquiere un SWITCH ETHERNET CSM 1277, el mismo brinda la posibilidad de tener 2 puertos Ethernet adicionales.



Figura 7. 15: Switch Ethernet Siemens CSM 1277

7.2.2. Soluciones a los accionamientos de Potencia

En cuanto a los accionamientos de potencia se tendrá en cuenta las principales características de cada motor, el uso de los mismos, los problemas que ocasionan el uso de los mismos en las condiciones señaladas anteriormente y las alternativas de solución optando siempre por aquella técnica-económicamente más factible.

7.2.2.1. Sistema de Arranque de la Cepilladora

Para realizar el arranque progresivo de los motores de la cepilladora se estará realizando comparaciones entre dos posibles soluciones que podrían ser aplicados para tal caso, cabe mencionar que esta máquina está compuesta por 3 motores trifásicos: 2 motores de 10 hp y 1 motor de 3 hp. En los dos motores

10 hp de la cepilladora se tendrá que realizar algún tipo de arranque que pueda limitar la corriente durante el mismo, en el caso del tercer motor se realizara un arranque directo cumpliendo con lo establecido en el Reglamento de Baja Tensión [1]. Teniendo en cuenta que toda la parte de control estará a cargo del PLC mencionado en el apartado 6.1.2.4

A continuación, se realizará una comparación entre un Arranque Estrella-Triangulo mediante contactores, relés temporizados y un arranque compensado mediante Arrancador Suave. En donde se detallarán sus principales características, ventajas y desventajas.

Alternativa N°1 **Arranque Estrella-Triangulo**

Arranque Estrella-Triangulo		
Características Principales	Ventajas	Desventajas
• Son aplicables para motores trifásicos de baja a alta potencia • Poca intensidad de arranque • Seis cables de conexión • I arranque 2.6 a 7 In • Poca par de arranque	• Costo reducido en el sistema de protección (cables, contactores), evitando el sobredimensionamiento excesivo de los mismos • Aplicables a máquinas de mediana potencia que arrancan en vacío. • Permite adecuarse a las limitaciones impuestas por las normas de distribución de energía eléctrica, en cuanto a caída de tensión en la red.	• Poca par de arranque • Puntas de corriente al conectar de estrella a triángulo • El Motor debe tener disponible 6 terminales que permitan la conexión estrella-triángulo

Tabla 7. 4: Características Arranque Estrella-Triangulo

Alternativa N°2 Arrancador Suave

Arrancador suave		
<i>Características Principales</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
• Reducción de la corriente de arranque • Control de Tiempo de Arranque • Protecciones Integradas • Arranques con par elevado	• No se producen puntas de intensidad • No requieren mantenimiento • Reducción del par de arranque regulable • Gran duración del equipo	• Alto costo en comparación con el Arranque Estrella-Triangulo tradicional • Necesidad de contactores externos para el arranque de más de un motor

Tabla 7. 5: Características Arrancador Suave

Una vez realizada las comparaciones correspondientes se optó por la primera alternativa debido a su bajo costo con relación al arrancador suave, esta solución es aplicable para este caso debido a que los motores no cuentan con restricciones operativas en el arranque, es decir, no poseen ningún tipo de carga durante el arranque.

A pesar de tener varias ventajas el uso de un arrancador suave esta alternativa no es factible para este caso particular, en primer lugar por su elevado costo en comparación con el Arranque-Estrella triangulo tradicional sino también por la necesidad de utilizar de componentes externos, ya sea contactores, relés térmicos, entre otros para el arranque de más de un motor mediante un solo

arrancador electrónico, y esto sumado a la parte de control compuesto por el PLC los gastos se incrementarían.

7.2.2.2. Selección de Variador de Velocidad

Por necesidad del proceso en este caso se utilizará un variador de velocidad de manera a poder regular la velocidad del motor de Avance de 3 Hp y dar solución a la problemática existente.

Para la solución de este inconveniente se analizará las prestaciones de algunos variadores de velocidad existentes en el mercado de manera a optar por aquel que se adecue a la necesidad requerida para el mejoramiento de está maquina

Alternativa N°1

CFW-500		
Características Principales	Ventajas	Desventajas
• Corriente de Salida 1,0 a 56,0 A • Interfaz de operación integrada • Diagnostico s de alarmas y fallas • Temperatura ambiente de Operación 50 °C • Grado de Protección IP20	- Fácil instalación y configuración intuitiva - Mayor Protección en ambientes agresivos - Rapidez en el mantenimiento - Capacidad de Comunicación en redes industriales - Aplicables a Cintas Transportadoras y mesas de rodillos - Variador Económico	Mantenimiento debe ser realizado por personal calificado

Tabla 7. 6: Características Variador Weg CFW500

Alternativa N°2

SINAMICS V20		
Características Principales	Ventajas	Desventajas
• Disponibles en Potencia de 0,12 a 15 KW • Lectura y Clonación de parámetros sin alimentación	- Montaje compacto en armarios eléctricos más pequeños - Es posible el funcionamiento incluso con tensiones de red con grandes oscilaciones	- Alto costo con relación a otras marcas de Variadores - Mantenimiento debe ser realizado por personal calificado

•Panel de mando integrado •Chopper de freno integrado para 7,5 a 15 KW •Grado de Protección IP20	Carga de Parámetros sin necesidad de alimentación eléctrica Capacidad de comunicación por medio de sus interfaces USS y Modbus integradas Sistema de refrigeración Avanzado	
--	---	--

Tabla 7. 7: Características Variador SINAMICS V20

Debido a que las prestaciones requeridas para este problema son mínimas, los dos variadores cumplen a la perfección con las necesidades requeridas, pero se optará por la alternativa N°1 debido a que ofrece una ventaja económica con relación a la alternativa N°2

Para tal caso el Variador de Velocidad será parametrizado de forma tal que pueda ser regulado la velocidad desde la terminal Táctil que ha de ser colocado para el comando de las máquinas.

7.2.3. Solución a las Oscilaciones de Temperatura

7.2.3.1. Selección de Detector de Temperatura

Para este caso será instalado un Detector de temperatura en reemplazo del ya existente, será conectado al PLC de manera a poder tener un control automático de la temperatura mediante el sistema de control PID, que en este caso sería la de mantener la temperatura en un valor de 80 ° C. Este Sensor será ubicado estratégicamente entre los rodillos.

Este Sensor será de la marca **Autonic** debido a que es una de las marcas existentes en el mercado, será del tipo TC tipo J de 2 hilos por lo cual brindará una respuesta rápida en la medición de temperatura, este tipo de sensor permite manejar temperaturas que van desde los -150°C a los 1200°C, valores que comprenden el rango al cual se pretende controlar la temperatura de los rodillos.

7.2.3.2. Selección de Relé de Estado Sólido

Para poder implementar un control PID de temperatura de los rodillos es necesario colocar un relé de estado sólido trifásico debido a que las conmutaciones de salidas en este tipo de control rondan el orden de los milisegundos, en este caso se opta por uno de la marca (preguntar a Everest) este será el encargado de la activación de las resistencias.

7.2.4. Solución a las imperfecciones de las placas.

7.2.4.1. Selección de Sensor Fotoeléctrico.

Las imperfecciones en las placas de madera son constantes dentro del proceso de producción debido al mal amarre de las placas, por tal caso es necesario tener un control sobre las medidas de las placas, de manera a que pueda ser cortado sin ningún inconveniente. En este sentido una solución a esta problemática es la de colocar de manera estratégica un Sensor del tipo Fotoeléctrico, con este sensor se podrá censar la llegada de la madera y así poder asegurar el correcto amarre de las mismas.

7.2.4.2. Selección de Final de Carrera

Es necesario la colocación de cuatro sensores de finales de carreras adicionales tanto al inicio de recorrido del motor de corte como también al final de dicho recorrido de forma tal a que estos sensores puedan ser colocados como entradas de nuestro PLC, de manera a poder mejorar el funcionamiento de la maquina productora de placas.

7.2.5. Selección de Elementos Varios

En este apartado serán elegidos los elementos necesarios para el arranque de los motores de la cepilladora, tales como Contactor, Relé Térmico e Interruptor termomagnético, cabe resaltar que los elementos con los cuales se cuenta en el proceso serán reutilizados adaptándolos al control por medio del PLC.

7.2.5.1. Selección de Contactores y relé térmico.

Para la elección de los contactores se analizará la corriente y potencia nominal de los motores, que en este caso serán los motores de la Cepilladora.

Parámetros para la Selección de Contactores, Relé Térmico y Interruptores termomagnéticos				
MOTOR	Tensión de Mando	Potencia	Corriente Nominal	Categoría de Uso
	VAC	P (KW)	I (A)	
Maquina Cepilladora M1	220 V	2,2	4,79	AC3
Maquina Cepilladora M2	220 V	7,5	15,28	AC3
Maquina Cepilladora M3	220 V	7,5	15,28	AC3

Tabla 7. 8: Tabla de Parámetros de Selección de componentes

Al realizar consultas pertinentes a empresas comerciales dedicados a la venta de estos equipos cumpliendo los rangos en que deben trabajar se opta por contactores y relés térmicos de la marca WEG (Tabla 7.9)

Selección de Contactor y Relé Térmico			
Tipo de Arranque	Marca	Tipo	Modelo
Motor 1			
Directo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 9.11-30D23 220V
Directo	WEG	Relé de Sobrecarga Térmico	RW17-1D3-D063 (4-6,3 A)
Motor 2			
Estrella-Triangulo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 12.11 220V
Estrella-Triangulo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 12.11 220V
Estrella-Triangulo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 9.11-30D23 220V
Estrella-Triangulo	WEG	Relé de Sobrecarga Térmico	RW17-1D3-U010 (7-10 A)
Motor 3			

Estrella-Triangulo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 12.11 220V
Estrella-Triangulo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 12.11 220V
Estrella-Triangulo	WEG	CONTACTOR TRIPOLAR	CWB 9.11-30D23 220V
Estrella-Triangulo	WEG	Relé de Sobrecarga Térmico	RW17-1D3-U010 (7-10 A)

Tabla 7. 9: Selección de Contactores y Relé Térmico.

7.2.5.2. Selección de Interruptor Termomagnético.

Cumpliendo con los requerimientos descritos en la Tabla 7.8, se opta por los interruptores de la marca Weg, los cuales son:

Selección de Interruptor Termomagnético			
Tipo de Arranque	Marca	Tipo	Modelo
Motor 1			
Directo	WEG	INTERRUPTOR TRIPOLAR	MDW-C10-3
Motor 2			
Estrella-Triangulo	WEG	INTERRUPTOR TRIPOLAR	MDW-C20-3
Motor 3			
Estrella-Triangulo	WEG	INTERRUPTOR TRIPOLAR	MDW-C20-3

Tabla 7. 10: Tabla de Selección de Interruptor Termomagnético.

7.2.6. Diseño de Sistema de Control.

En un proceso industrial existen equipos y dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse en niveles jerárquicos para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área:

El Sistema de Control que ha de ser aplicado para este proceso de producción de placas está dentro de los 2 últimos niveles de la pirámide de automatización,

en donde en el Nivel de campo y proceso estarán tanto el PLC 1200 y la pantalla HMI que fueron elegidos con anterioridad, en este caso serán los encargados de comandar y supervisar todo lo relacionado a este proceso, pudiendo tener así un control total sobre todas las máquinas que componen el proceso. En el nivel de Entrada/Salida encontraremos los sensores finales de carrera, el sensor fotoeléctrico, el sensor de temperatura como también el variador y todos los motores.

En la siguiente imagen se ve la relación que existe entre los elementos de control y el proceso en sí.

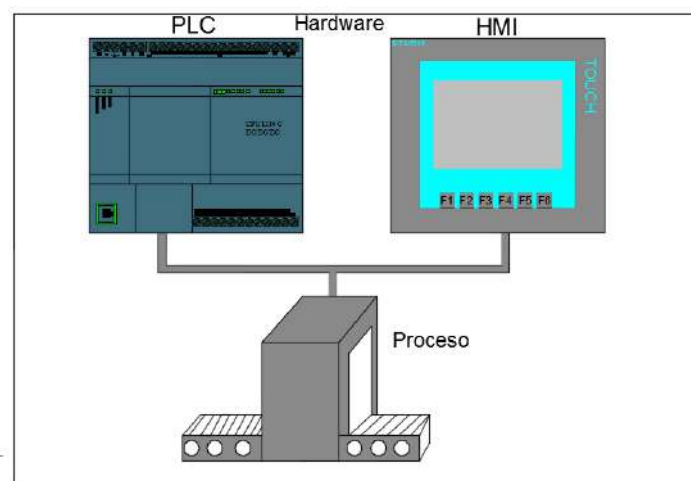


Figura 7. 16: Relación Hardware-Proceso

Para el nuevo sistema de control se incorpora un controlador lógico programable (PLC), el cual tendrá la obligación comandar a los dispositivos existentes para el control de las máquinas, además existirá un sistema de visualización por medio de una pantalla HMI desde donde se podrá controlar y monitorear todo el proceso.

En el diseño se usan algunos softwares para realizar la configuración, programación y diseño del proyecto, tales como:

- TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL (TIA PORTAL V13 SP2) para la configuración y programación de la pantalla HMI KTP 600 y el PLC 1214 DC/DC/DC
- AUTOCAD para el diseño de los esquemas de potencia y mando del sistema.

Por medio de las tablas 7.11 y 7.12 se puede observar la parametrización de las variables dentro del PLC.

Para el nuevo Sistema de Control se debe tener claro la organización de las entradas y salidas del sistema, por lo tanto:

Dirección en el PLC	Tipo de Dato	Descripción
General		
I0.0	Bool	Llave de Activación General del Sistema
Maquina Cepilladora		
I0.1	Bool	Llave de Activación Mando Local-Remoto Maquina Cepilladora
I0.2	Bool	Pulsador Start Cepilladora
I0.3	Bool	Pulsador Stop Cepilladora
I0.4	Bool	Pulsador de Emergencia Cepilladora
I0.5	Bool	Relé Térmico Motor 1 Cepilladora
I0.6	Bool	Relé Térmico Motor 2 Cepilladora
I0.7	Bool	Relé Térmico Motor 3 Cepilladora
Maquina Circular Múltiple		
I1.0	Bool	Llave de Activación Mando Local-Remoto
I1.1	Bool	Pulsador Start
I1.2	Bool	Pulsador Stop
I1.3	Bool	Pulsador de Emergencia
I1.4	Bool	Relé Térmico Motor 4
I1.5	Bool	Relé Térmico Motor 5
Producción de Placas		
I2.0	Bool	Pulsador Start Producción de Placas
I2.1	Bool	Pulsador Stop Producción de Placas
I2.2	Bool	Pulsador de Emergencia PP
I2.3	Bool	Relé Térmico Motor de Amarre
I2.4	Bool	Relé Térmico Motor de Corte

I2.5	Bool	Sensor Capacitivo
I2.6	Bool	Sensor Final de Carrera Cilindro Derecho
I2.7	Bool	Sensor Final de Carrera Cilindro Izquierdo
I3.0	Bool	Sensor Final de Carrera Corte.
IW96	INT	Sensor de Temperatura Termocupla Rodillos

Tabla 7. 11: Organización de entradas del PLC

Salidas del Sistema		
Dirección en el PLC	Tipo de Dato	Descripción
Maquina Cepilladora		
Q0.0	Bool	Contactador KM1 Motor 1
Q0.1	Bool	Contactador KM2 Motor 1
Q0.2	Bool	Contactador KM3 Motor 1
Q0.3	Bool	Contactador KM4 Motor 2
Q0.4	Bool	Contactador KM5 Motor 2
Q0.5	Bool	Contactador KM6 Motor 2
Q0.6	Bool	Contactador KM7 Motor 3
Q0.7	Bool	Lampara de activación de Motores
Q1,0	Bool	Lampara de Fallas en el Sistema
Maquina Circular Múltiple		
Q1.1	Bool	Contactador KM8 Motor 4
Q2.0	Bool	Contactador KM9 Motor 4
Q2.1	Bool	Contactador KM10 Motor 4
Q2.2	Bool	Contactador KM11 Motor 5
Q2.3	Bool	Lampara Activación de Motores
Q2.4	Bool	Lampara Fallas en el Sistema
Producción de Placas		
Q2.5	Bool	Salidas Resistencias Eléctricas
Q2.6	Bool	Contactador KM12 Motor de Amarre
Q2.7	Bool	Contactador KM13 Motor de Corte
Q3,0	Bool	Cilindro Baja Subida Motor de Corte
Q3,1	Bool	Cilindro Izquierda-Derecha Motor de Corte

Tabla 7. 12: Organización de Salidas del PLC.

A continuación, se estará realizando el diseño del sistema de control correspondiente, por medio de sus entradas y salidas conforme a la parametrización de variables hechas en el PLC.

7.2.6.1. Arranques Maquina Cepilladora

La automatización correspondiente de la Maquina cepilladora consiste en que los 2 motores de 10 Hp tendrán un arranque compensado mediante un Arranque Estrella-Triangulo, y el motor de 3 Hp tendrá un arranque directo.

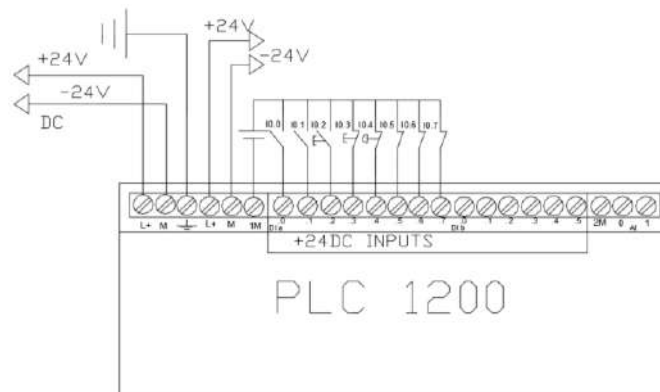


Figura 7. 17: Diagrama de Conexiones de Entradas

7.2.6.1.1. Forma de Marcha

En la figura 7.17 se puede apreciar el conexionado de las entradas al PLC, por lo tanto, la instalación tendrá el siguiente principio de funcionamiento

Puesta en Marcha

Llave Activación General (I0.0): Con esta llave el operador podrá habilitar toda la programación correspondiente a las tres máquinas del proceso.

Llave Activación Mando Local-Remoto (I0.1): Con esta llave el operador tendrá la opción de tener el control de la maquina desde su tablero de control o por medio de la Pantalla HMI ubicada en el Tablero de la Producción de Placas.

Pulsador Start (I0.2): Al oprimir este pulsador se realizarán los arranques consecutivos de los motores con un tiempo de 3 segundos entre arranques, específicamente en el siguiente orden: M1, M2 y M3.

Pulsador Stop (I0.3): Por medio de este pulsador se podrá parar de manera normal todo el sistema.

Pulsador de Emergencia (I0.4): Con este pulsador el operador tendrá la opción de una parada de emergencia en caso que detecte anomalías dentro de la máquina.

Relé Térmico (I0.5, I0.6, I0.7): Por medio del contacto normalmente cerrado de los Relés Térmicos se podrá realizar paradas extraordinarias de las maquinas, ya sea por sobrecarga en motores o por puntas importantes en el consumo de motores.

Condiciones de marcha

Cuando se dispare un relé térmico, el que sea de los 3 de potencia que llevará el sistema, se interrumpirá la marcha de todos los motores.

Señalizaciones

Al momento del arranque de todos los motores se activará una lámpara H1 de manera a que el operador sepa del estado de los arranques.

En caso de cualquier falla en el sistema, aparecerá un mensaje de alarma en la pantalla HMI que estará ubicada en el tablero principal figura 7.36, y a la vez a través de una lámpara de señalización H2 ubicada en el tablero de la máquina.

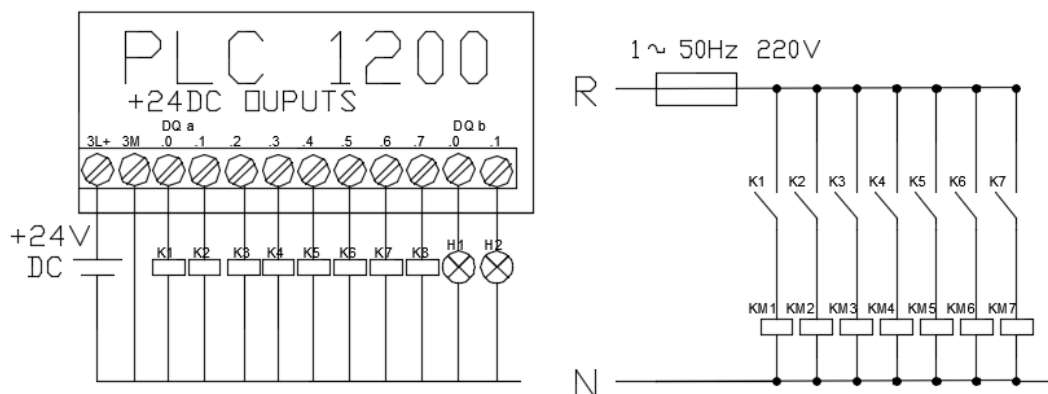


Figura 7. 18: Diagrama de Conexión de Salidas

En la Figura 7.18 se puede apreciar el conexionado de las salidas del PLC a los relés de interfaz que han de ser utilizados para la activación final de los contactores de los motores.

En el Apéndice B.2.1 se puede apreciar el programa de Control de la maquina hecho en el software de Programación TIA PORTAL V13 SP2.

Esquema de Potencia de la maquina

Con la aplicación de este automatismo la maquina tendrá el siguiente esquema de fuerza.

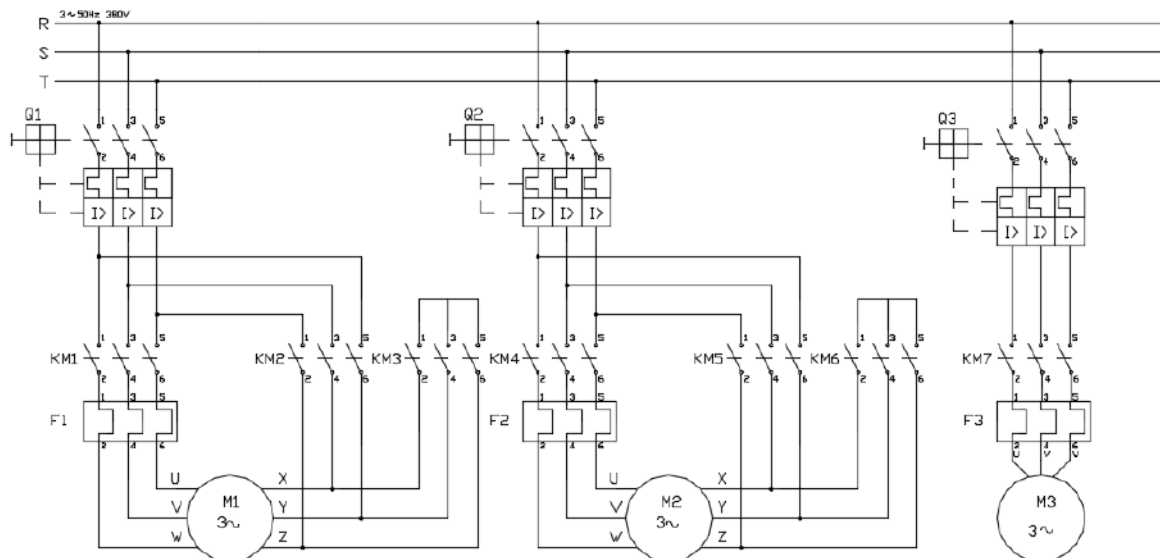


Figura 7. 19: Esquema de Potencia de la Maquina

7.2.6.1.2. Supervisión y Control por medio de la pantalla HMI

En las figuras 7.20 y 7.21 se puede apreciar el diseño final de la interfaz gráfica que le corresponderá a esta máquina tanto en estado de marcha y parada, teniendo también la misma posibilidad del arranque y parada desde la pantalla HMI siempre y cuando la **Llave de Activación Mando Local-Remoto** este desactivada. A través de esta pantalla se podrá observar los cambios de estados de los 3 motores, como también la señalización de activación de todos los motores por medio del indicador de activación.

El operador también tendrá la opción de navegar a las dos siguientes maquinas por medio de los botones con imágenes ubicados en la parte inferior de la pantalla, tendrá la posibilidad de regresar directamente a la pantalla principal del

Sistema por medio del botón inicio y también la de visualizar los avisos no acusados que se tenga del proceso.

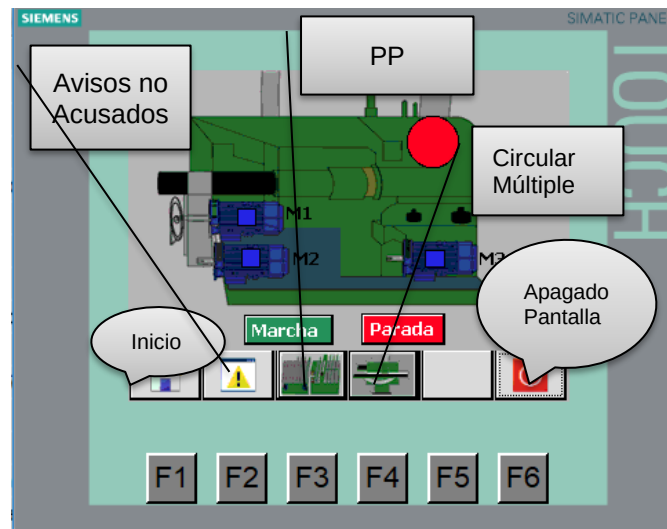


Figura 7. 20: Pantalla HMI Maquina Cepilladora en parada.

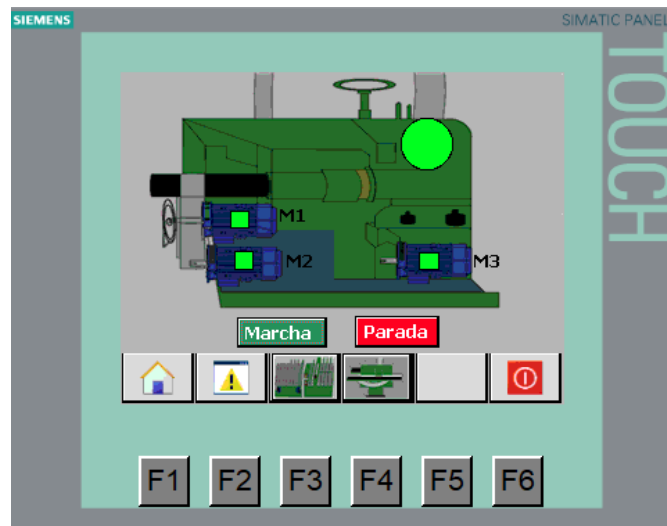


Figura 7. 21: Pantalla HMI Maquina Cepilladora

7.2.6.2. Control de Maquina Circular Múltiple

El automatismo de esta máquina consiste en el arranque consecutivo de dos motores uno de 50 HP y el otro de 5 Hp por medio del PLC. El arranque del motor de 50 HP es por medio del arranque Estrella-Triangulo, mientras que el motor de 5 HP tendrá un arranque directo.

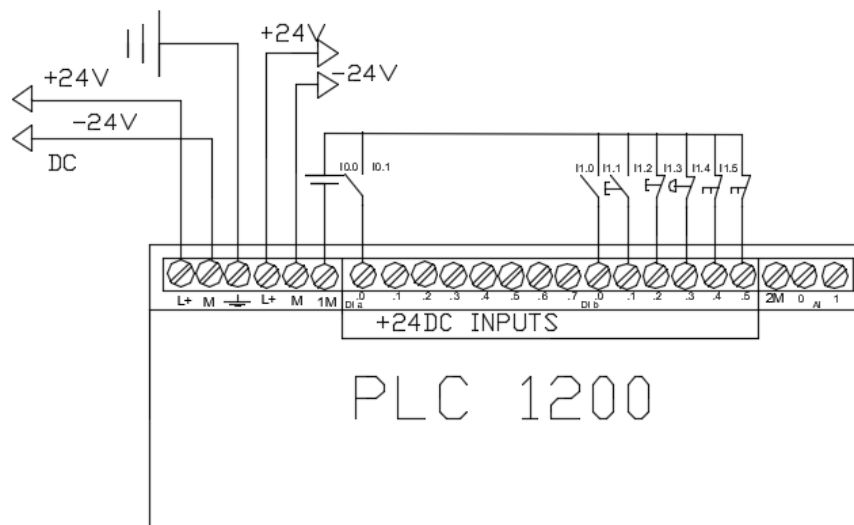


Figura 7. 22: Conexión de Entradas de la maquina al PLC

En la Figura 7.22 se puede apreciar las conexiones de entradas al PLC, en donde la instalación tendrá el siguiente funcionamiento:

7.2.6.2.1. Forma de Marcha.

Llave Activación General (I0.0): Con esta llave el operador podrá habilitar toda la programación correspondiente a las tres máquinas del proceso.

Llave Activación Mando Local-Remoto (I1.0): Con esta llave el operador tendrá la opción de tener el control de la maquina desde su tablero de control o por medio de la Pantalla HMI ubicada en el Tablero de la Producción de Placas.

Pulsador Start (I1.1): Al oprimir este pulsador se realizarán los arranques consecutivos de los motores con un tiempo de 3 segundos entre arranques, específicamente en el siguiente orden: M4 y M5.

Pulsador Stop (I1.2): Por medio de este pulsador se podrá parar de manera normal todo el sistema.

Pulsador de Emergencia (I1.3): Con este pulsador el operador tendrá la opción de una parada de emergencia en caso que detecte anomalías dentro de la máquina.

Relé Térmico (I1.4, I1.5): Por medio de los contactos normalmente cerrado de los Relés Térmicos se podrá realizar paradas extraordinarias de las maquinas,

ya sea por sobrecarga en motores o por puntas importantes en el consumo de motores.

Condiciones de marcha

Cuando se dispare un relé térmico, el que sea de los 2 de potencia que llevará el sistema, se interrumpirá la marcha de todos los motores.

Señalizaciones

Al momento del arranque de todos los motores se activará una lámpara H3 de manera a que el operador sepa del estado de los arranques.

En caso de cualquier evento que se tenga en la maquina aparecerá un mensaje de alarma en la pantalla HMI que estará ubicada en el tablero principal figura 7.36, y a la vez a través de una lámpara de señalización H4 ubicada en el tablero de la máquina.

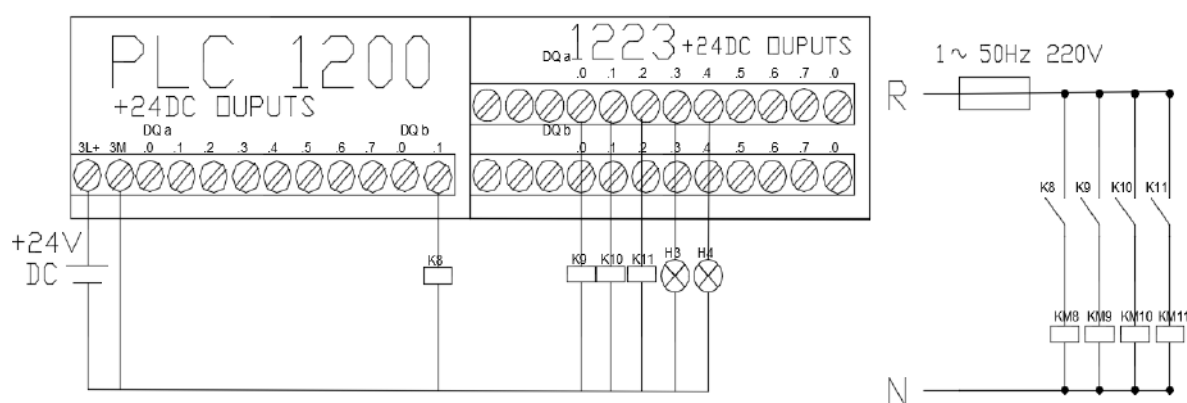


Figura 7. 23: Diagrama de Conexión de salidas

En la figura 7.23 se puede observar el diagrama de conexiones de salidas del PLC, en este caso son utilizados relés de interfaz K8, K9, K10, K11 como método auxiliar en la activación de los contactores debido a que las bobinas de accionamiento de los contactores trabajan a una tensión de 220 V.

Esquema de Potencia de la Maquina

Con la implementación de este automatismo la maquina tendrá el siguiente esquema de Potencia.

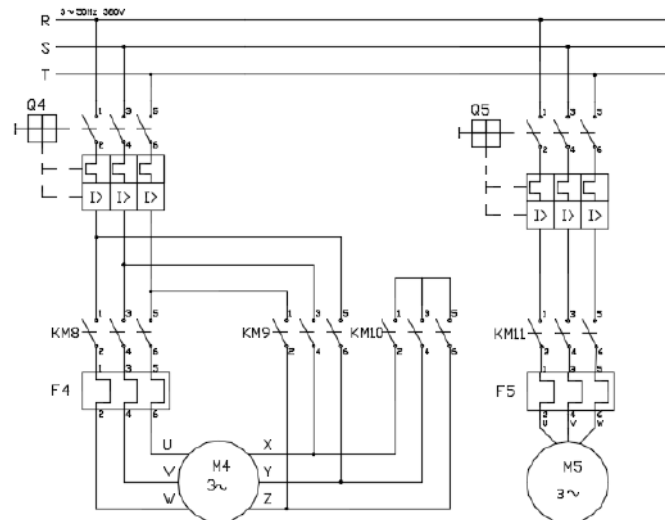


Figura 7. 24: Esquema de Potencia de la Maquina Circular Múltiple

7.2.6.2.2. Supervisión y Control Pantalla Circular Múltiple

En las figuras 7.25 y 7.26 se puede apreciar el diseño final de la interfaz gráfica que le corresponderá a esta máquina tanto en estado de marcha y parada, teniendo también la misma posibilidad del arranque y parada desde la pantalla HMI siempre y cuando la **Llave de Activación Mando Local-Remoto** este desactivada. A través de esta pantalla se podrá observar los cambios de estados de los 2 motores, como también la señalización de activación de todos los motores por medio del indicador de activación.

El operador también tendrá la opción de navegar a las dos siguientes máquinas por medio de los botones con imágenes ubicados en la parte inferior de la pantalla, tendrá la posibilidad de regresar directamente a la pantalla principal del Sistema por medio del botón inicio y también la de visualizar los avisos no acusados que se tenga del proceso.

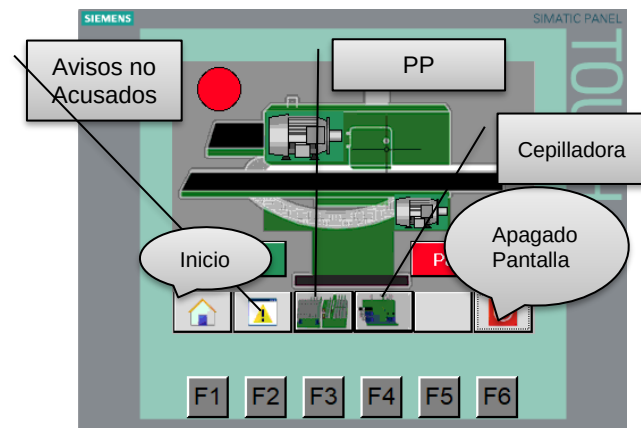


Figura 7. 25: Pantalla Circular Múltiple en parada

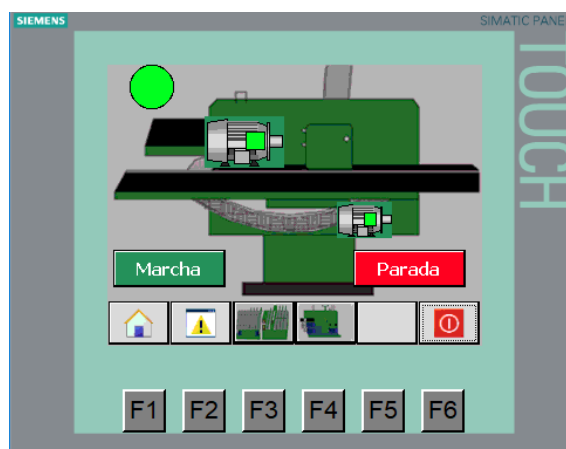


Figura 7. 26: Pantalla Circular Múltiple en marcha

7.2.6.3. Control de Producción de Placas

La automatización correspondiente de este conjunto de máquinas será la de la activación automática de las máquinas cumpliendo con la secuencia propia que tenía anteriormente, pero con la salvedad de que todas las activaciones que se realizaban en forma manual se realizaran en forma automática de ahora en más, utilizando los dispositivos elegidos en los apartados anteriores. Cabe resaltar que se estarán realizando activaciones paralelas como es el caso de las resistencias eléctricas.

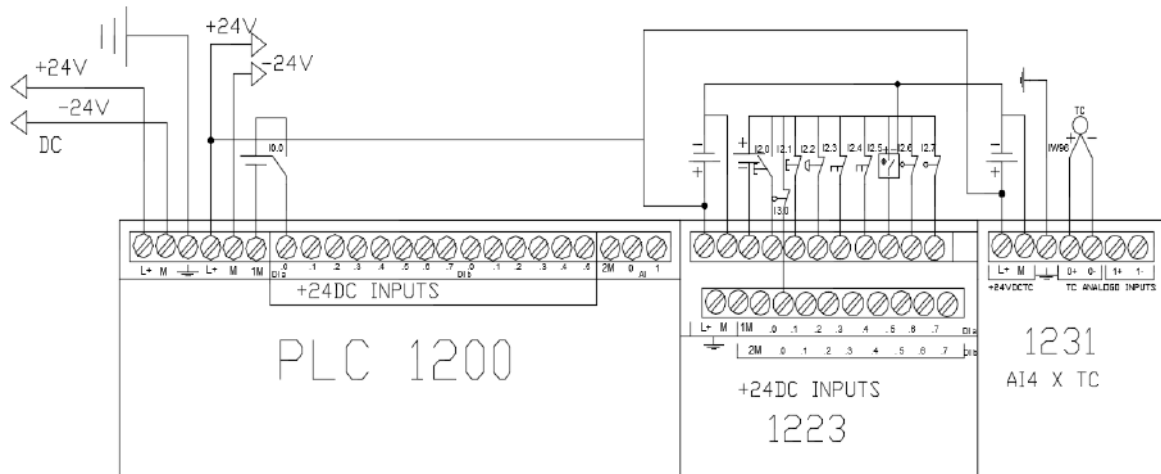


Figura 7. 27: Diagrama Conexión de Entradas al PLC

En la Figura 7.27 se puede apreciar el diagrama de conexión de entradas al PLC, en donde la instalación tendrá el siguiente funcionamiento

7.2.6.3.1. Supervisión y Control Producción de Placas

En la figura 7.28 se puede visualizar el diseño final de la interfaz gráfica que le corresponderá a esta máquina, teniendo también la misma posibilidad del arranque y parada desde la pantalla HMI por medio de los botones Marcha y Parada.

Motor de Avance: En esta pantalla el operador tendrá la posibilidad de ingresar la velocidad del motor de avance en un rango de 0 a 50 Hz, en donde si el operador llegase a ingresar valores erróneos que sobrepasen los 50 Hz y que estén por debajo de 0 o sea valores negativos, automáticamente se podrá visualizar en la pantalla un mensaje de error ver Apéndice B.3. Además de poder observar por medio del indicador si el motor está en funcionamiento. Toda la configuración correspondiente a los parámetros del Variador se puede observar en el Apéndice B.3.1.

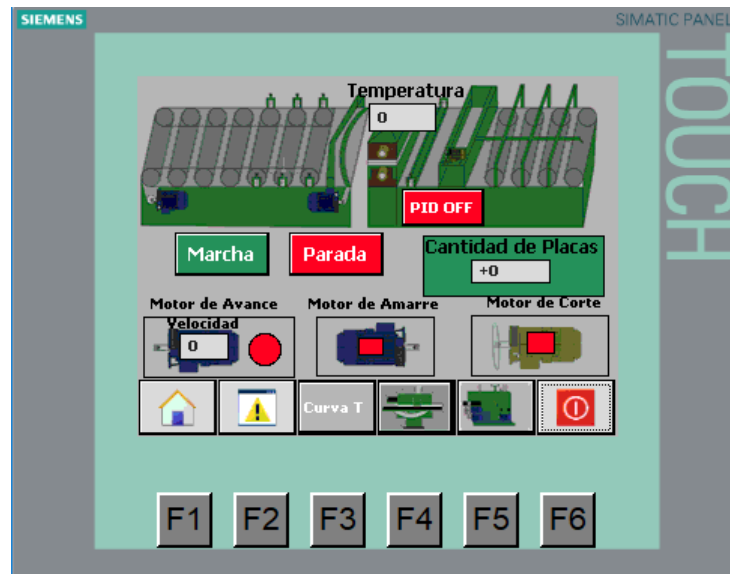


Figura 7. 28: Pantalla Producción de Placas en parada.

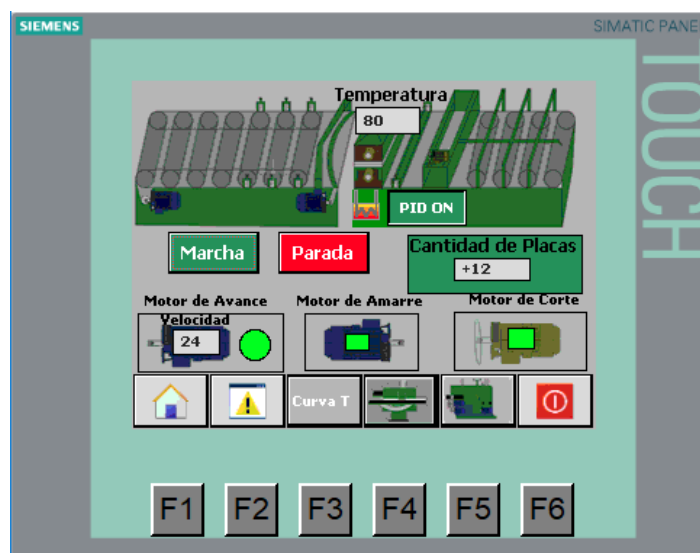


Figura 7. 29: Pantalla Producción de Placas en estado activo.

Temperatura de los Rodillos: Por medio de esta pantalla el operador podrá visualizar la temperatura en la cual se encuentran los rodillos, dicha temperatura será estabilizada en 80 grados por exigencia del proceso. Este control se realizará por medio del controlador PID que posee el PLC, ver Apéndice B.4 la configuración del Controlador PID en TIA PORTAL, debido a que se cuenta con un tiempo de retardo para llegar a la temperatura deseada el operador podrá

habilitar el control por medio del **Botón PID** antes de comenzar el proceso. La activación de las resistencias podrá ser visualizado en la pantalla HMI Figura 7.29

Botón Curva T: Activa una imagen en donde se puede visualizar la curva de la temperatura en función del tiempo Figura 7.30

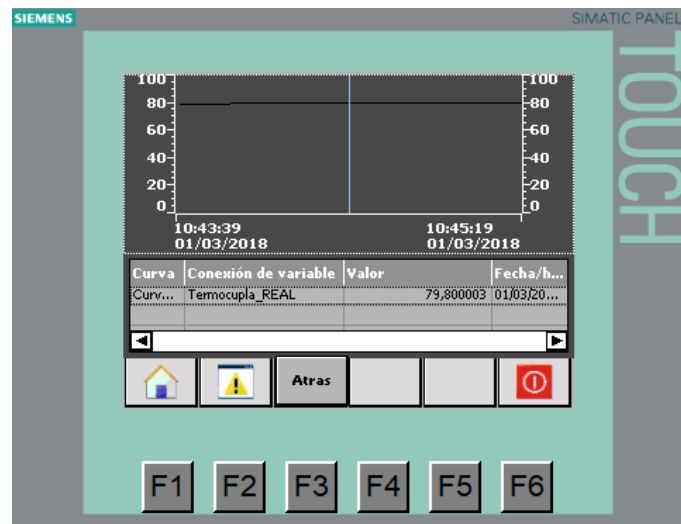


Figura 7. 30: Pantalla Curva de Temperatura

Cantidad de Placas: Una de las opciones que tendrá el operador es la de poder visualizar la cantidad de placas que se estén fabricando dentro del proceso.

Motor de Avance y Motor de Corte: Por medio de las indicaciones se podrá observar el estado de los motores tanto en estado de marcha y parada.

Botón Cepilladora y Circular Múltiple: A través de estos botones con imágenes ubicados en la parte inferior de la pantalla de la maquina el operador podrá acceder a las otras dos máquinas con que cuenta el proceso.

7.2.6.3.2. Forma de Marcha de la Maquina

Llave Activación General (I0.0): Con esta llave el operador podrá habilitar toda la programación correspondiente a las tres máquinas del proceso.

Pulsador Start (I2.0): Al oprimir este pulsador se realizarán los arranques consecutivos de los motores con un tiempo de 3 segundos entre arranques,

específicamente en el siguiente orden: **Motor de Avance M6 y Motor de Amarre M7**.

Pulsador Stop (I2.1): *Por medio de este pulsador se podrá parar de manera normal todo el sistema.*

Pulsador de Emergencia (I2.2): Con este pulsador el operador tendrá la opción de una parada de emergencia en caso que detecte anomalías dentro de la máquina.

Relé Térmico (I2.3, I2.4): Por medio de los contactos normalmente cerrado de los Relés Térmicos se podrá realizar paradas extraordinarias de las máquinas, ya sea por sobrecarga en motores o por puntas importantes en el consumo de motores.

Sensor Fotoelectrico (I2.5): Por medio de Sensor se podrá parar el motor de avance de manera a poder amarrar durante 5 segundos y de forma correcta el lugar donde ha de ser cortado la primera placa. Este sensor será ubicado estratégicamente dentro de la máquina, su función principal es la de asegurar el correcto amarre de la primera placa.

Sensor Final de Carrera de Corte (3.0): Este Sensor es el encargado de detectar la llegada de la placa de manera a que pueda ser cortado, al detectar la llegada de la placa de madera para el motor de avance, luego de unos 5 segundos el motor de amarre también para. A su vez activa al Cilindro de Bajada-Subida, esto a su vez ocasiona que el motor de Corte se active luego de 3 segundos.

Sensor Final de Carrera Cilindro Derecho (2.6): Este Sensor es el encargado de detectar que el Cilindro de Bajada-Subida se haya desplazado en su totalidad. Da la orden de que el **Cilindro Izquierda-Derecha** empiece a desplazarse de modo a que el **Motor de corte** pueda cortar la placa en su totalidad. A su vez tiene la función de hacer que el **Cilindro Bajada-Subida** vuelva a su posición original una vez que haya vuelto de su primer desplazamiento, será ubicado al final del recorrido del cilindro.

Sensor Final de Carrera Cilindro Izquierdo (2.7): Está ubicado al final de recorrido del **Cilindro Izquierda-Derecha**, al detectar que el cilindro se desplazó en su totalidad hace que el **Motor de Corte** pare y también que el cilindro retroceda nuevamente a su posición original.

Sensor de Temperatura Termocupla Rodillos (IW96): Es el encargado de medir la temperatura de los rodillos, esta temperatura podrá mantenerse en 80 grados mediante un sistema de control PID que será aplicado a los rodillos mediante las resistencias eléctricas, para tal control es utilizado un relé de estado sólido trifásico.

Condiciones de marcha

Cuando se dispare un relé térmico, el que sea de los 2 de potencia que llevará el sistema, se interrumpirá la marcha de todos los dispositivos que componen la máquina, también por sobre carga del motor de avance y aumento de la temperatura a más de 85 grados.

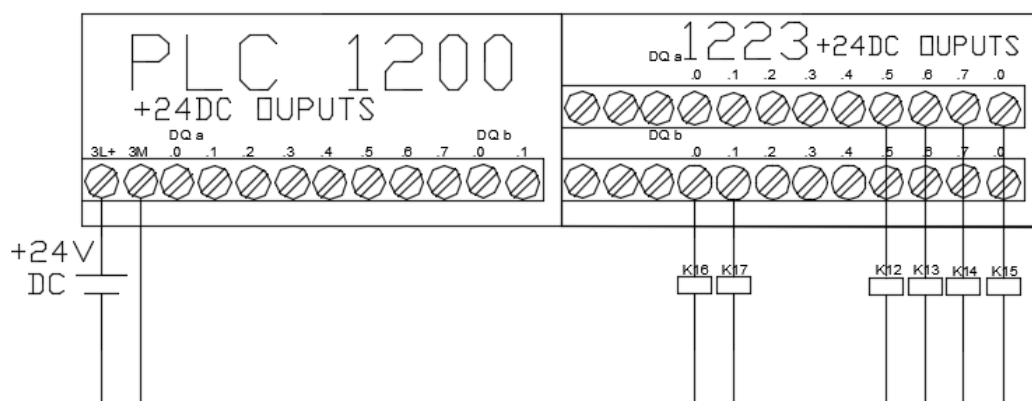


Figura 7. 31: Diagrama de Conexiones de Salidas del PLC

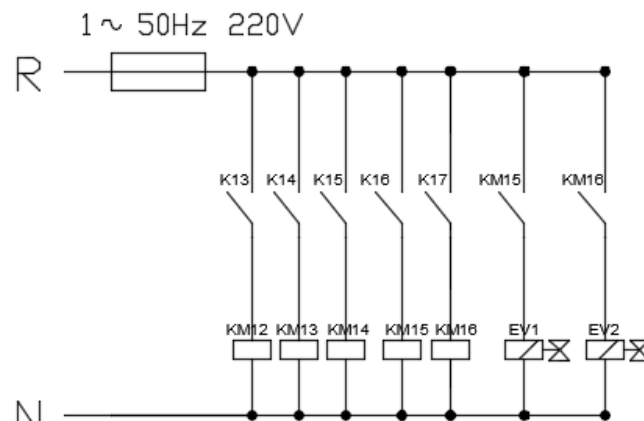


Figura 7. 32: Esquema de Conexiones de los relés auxiliares

En las figuras 7. 31 y 7.32 se puede observar el diagrama de conexiones de salidas del PLC, como en los anteriores apartados son utilizados también relés de interfaz en este caso K13, K14, K15, K16, K17 como método auxiliar en la activación de los contactores debido a que las bobinas de accionamiento de los mismos trabajan a una tensión de 220 V. Además, de observar la conexión del PLC al relé de estado sólido K12 y también las activaciones de las dos bobinas de las Electroválvulas por medio de KM15 y KM16.

Esquema de Potencia

Esta Maquina tendrá el siguiente esquema de Potencia, en donde el Motor de avance es controlado por medio de un Variador de Velocidad y las resistencias eléctricas serán activadas a través del Relé de Estado Sólido instalado para tal caso. Los dos Motores mantienen su esquema de Potencia original, pero con la salvedad de que sus accionamientos son controlados por el PLC y la pantalla HMI.

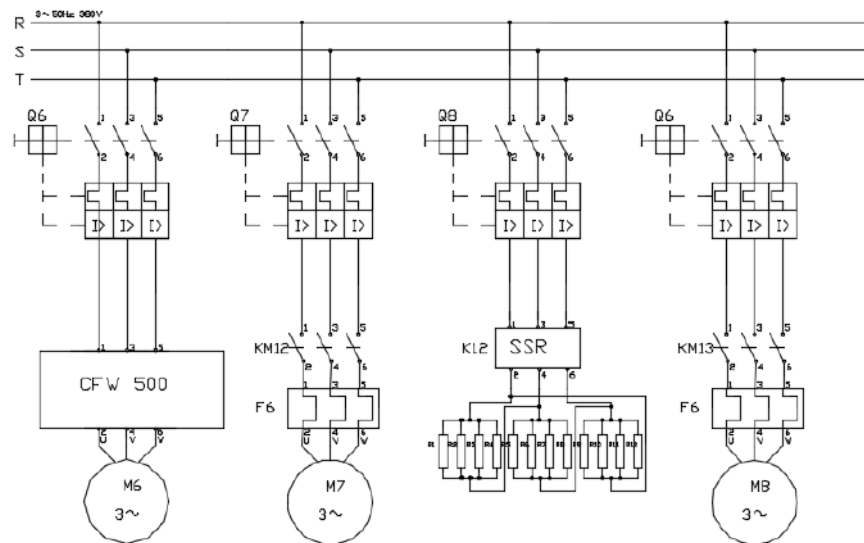


Figura 7. 33: Esquema de Potencia Producción de Placas.

7.2.6.4. Avisos del Sistema

En las figuras 7.34 y 7.35 se puede apreciar a modo de ejemplo activaciones de un Pulsador de Emergencia y de todos los relés térmicos con las cuales se cuenta dentro de una máquina. Con estos avisos el operador podrá identificar que dispositivo ocasiono el cese del funcionamiento de la máquina, pudiendo así ahorrar tiempo en la búsqueda del problema. Si el problema persiste el mensaje no desaparecerá, pero si será posible minimizarlo.

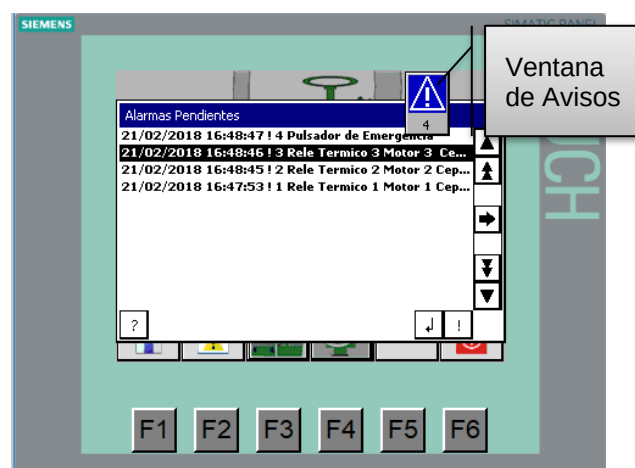


Figura 7. 34: Ejemplo de Avisos pendientes en el proceso

Avisos no acusados: El operador podrá aceptar el aviso por medio del Botón de acuse, pero si es que el problema persiste la maquina no podrá arrancar nuevamente, estos avisos aparecen en cualquier pantalla del HMI, pero tales avisos no influirán en el funcionamiento de las demás máquinas. Los avisos no acusados pueden ser cerrados sin la necesidad de aceptarlos, pero se lo podrá visualizar por medio del botón de avisos no acusados.

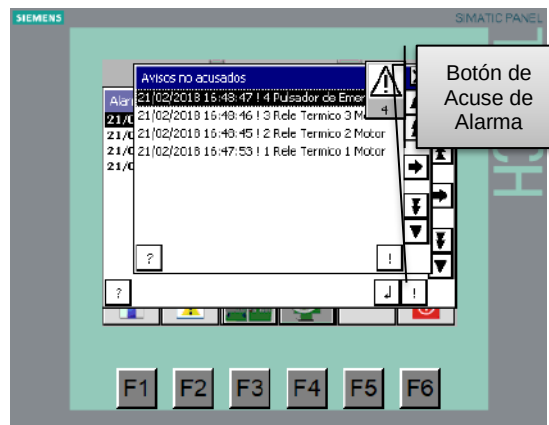


Figura 7. 35: Ejemplo de Avisos de alarmas en el proceso

7.2.6.5. Pantalla principal del Proceso

Imagen de raíz o pantalla inicial, es la ventana principal del proyecto donde por medio de los botones se puede acceder a las ventanas del proyecto como son: Maquina Cepilladora, Circular Múltiple y Producción de Placas. También es posible acceder a los avisos no acusados y apagar la pantalla HMI.



Figura 7. 36: Pantalla principal del proceso

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Por medio del levantamiento de datos se logró identificar todos los elementos que componen las maquinas en cada fase del proceso, por el cual se pudo evidenciar todos los puntos vulnerables que ameritaban una automatización.
- Como elemento de control fue elegido un PLC 1200 con sus respectivos módulos y una pantalla HMI de la marca Siemens, implementando de esta manera una lógica programada.
- Se mejoró el sistema de Arranque de la Cepilladora mediante 2 Arranques Estrella-Triangulo y un arranque Directo.
- Fue implementado un variador de velocidad de la marca Weg para solucionar el inconveniente del control de Velocidad del motor de Avance en donde el operador podrá ingresar los valores de velocidad por medio de la pantalla HMI.
- De modo a optimizar el control de temperatura de los rodillos fue implementado y programado en el PLC un control PID de temperatura para que de esta manera se evite los incendios reiterados en el proceso.
- El mal amarre y posterior mal corte que ocasionaba imperfecciones en la primera placa durante el proceso y que acarreaba un gran problema posterior será solucionado mediante la instalación de un sensor fotoeléctrico que tendrá la función de censar la llegada de la placa.
- Fue diseñado y programado un sistema de control de cada máquina del proceso, en donde el operador podrá realizar activaciones desde la pantalla HMI o por medio de los pulsadores dentro de su respectivo tablero de control.
- Las tres máquinas del proceso fueron dotadas de paradas de emergencias auxiliares.
- De modo a reducir los tiempos de detección de fallas fue diseñado un sistema de avisos por medio de la pantalla HMI en donde el operador

podrá identificar que dispositivo ocasiono el cese de funcionamiento de la máquina.

- Mediante la lógica programada fue posible la reducción de tiempos de activación de máquinas.

VI. CONCLUSIONES

Con este trabajo se concluye que fue posible identificar los problemas con los cuales se contaba anteriormente dentro del proceso y que mediante la implementación de la lógica programada fue posible diseñar un sistema de control y monitoreo totalmente automatizado a todas las fases que componen el proceso por medio de la implementación de un Controlador Lógico Programable y una pantalla HMI, a través del cual se pudo dar solución a todos los inconvenientes encontrados.

Por medio de comparaciones fue posible determinar todos los componentes electrónicos, sensores necesarios para buena automatización del proceso.

Fue posible reducir los tiempos de activación de las maquinas lo que significa un aumento de producción en el proceso.

Mediante la implementación de estos automatismos se aumentó la seguridad en la operación de los equipos, además se podrá obtener un producto de mayor calidad. La identificación de fallas podrá ser visualizada en la pantalla del sistema lo que significará menor tiempo de parada.

Se podrá prolongar la vida útil de las maquinas mediante la realización de mantenimientos preventivos

Por medio de la realización del análisis económico queda demostrado que en un periodo de 5 años la tasa de inversión de retorno es del 87 % concluyendo así que el proyecto es totalmente viable tanto técnica como económicamente.

VII. RECOMENDACIONES

En base a los análisis realizados en la elaboración de este proyecto se recomienda:

La implementación en su totalidad de este Proyecto de automatización por parte de la empresa FAQPAR SA.

Realizar proyectos de automatización aplicando la lógica programada como elemento de control en otros sectores de la fábrica.

Profundizar más en la carrera de Ingeniería en Electrónica en áreas referentes al Sistema de Control Distribuido, instrumentación y los protocolos de comunicación enfocados a la industria.

Realizar pasantías universitarias en empresas que tengan sistemas de procesos totalmente automatizados de manera a que el alumno pueda adquirir suficiente experiencia antes de insertarse al ámbito laboral.

VIII. APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Determinación de Costos de los Materiales

En este apartado se detallarán los costos individuales de los materiales necesarios para la implementación de este Proyecto de automatización, en donde los costos se dividen en dos grupos principales los cuales son Elementos Eléctricos de Automatización y Hardware de Control con Accesorios

En la tabla A.1 se puede apreciar los elementos eléctricos-electrónicos necesarios para la implementación de este proyecto de automatización como son Interruptores, Relés, contactores, variador, sensores y demás materiales teniendo en cuenta las distintas modificaciones realizadas para el buen funcionamiento de este nuevo automatismo.

Item	Cantidad	Unidad	Designación de trabajo o Dispositivo	Costo unitario	Costo Total
1	1	unid.	INTERRUPTOR TRIPOLAR TERMOMAGNÉTICO 3X10 A	52.273	52.273
2	2	unid.	INTERRUPTOR TRIPOLAR TERMOMAGNÉTICO 3X16 A	52.273	104.545
3	1	unid.	INTERRUPTOR TRIPOLAR TERMOMAGNÉTICO 3X25 A	52.273	52.273
4	1	unid.	Convertidor de Frecuencia CONVERSOR CFW500	2.171.409	2.171.409

			AO6P1T4NB20H00 380V 3HP		
5	1	unid.	MODULO EXPANSION CFW500-IOS	303.182	303.182
6	2	unid.	CONTACTOR TRIPOLAR CWB 9.11- 30D23 220V	71.614	143.227
7	2	unid.	CONTACTOR TRIPOLAR CWB 12.11 220V	78.932	157.864
8	1	unid.	RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO RW17-1D3- D063 (4-6,3 A)	166.750	166.750
9	1	unid.	RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO RW17-1D3- U010 (7-10 A)	178.355	178.355
10	1	unid.	CAJA METAL. 1000 X 600 X 350 PARA MAQUINA CEPILLADORA	876.578	876.578
11	2	unid.	CAJA METAL. 1200 X 800 X 350 PARA MAQUINA FABRICADORA DE PLACAS	1.518.000	3.036.000
12	1	unid.	SENSOR DE TEMPERATURA TC TIPO J	501.818	501.818
13	1	unid.	SENSOR OPTICO SICK	499.466	499.466
14	1	unid.	RELE DE ESTADO SOLIDO TRIFASICO	355.455	355.455
15	3	ml.	RIEL METALICO PARA TABLEROS	9.558	28.673
16	10	ml.	CABLE CANAL RANURADO 40X70 MM	9.113	91.132
17	1	gl.	TORNILOS, PRECINTOS, CONECTORES, TERMINALES, BORNES PARA TABLEROS	550.000	550.000

18	3	unid.	PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO WEG	33.455	100.364
19	3	unid.	PULSADOR NORMALMENTE CERRADO WEG	33.455	100.364
20	2	unid.	LUZ INDICADORA COLOR VERDE WEG	26.136	52.273
21	2	unid.	LUZ INDICADOR COLOR AMARILLO WEG	26.136	52.273
22	3	unid.	FINAL DE CARRERA STECK	104.545	313.636
23	3	unid.	PULSADOR DE EMERGENCIA WEG	62.727	188.182
24	5	unid.	SELECTOR DE 2 POSICIONES WEG	41.818	209.091
25	200	ml.	CABLE INSTRUMENTACIÓN 6 P 1 MM2 INPACO	9.962	1.992.427
26	100	ml.	Cable instrumentación 1P 1 mm2 INPACO	3.659	365.909
27	60	ml.	ELECTRODUCTO 50 MM2 TIGRE	1.406	84.368
28	1	gl.	ELEMENTOS ELECTRICOS MENORES	1.000.000	1.000.000
TOTAL DE MATERIALES					13.727.885

Tabla A. 1: Detalles de los costos de los Elementos Eléctricos de Automatización

En la tabla A.2 se puede observar los elementos que compondrán el Sistema de Control del Proceso como lo son el Autómata Programable, Pantalla HMI, Módulos y accesorios.

Ítem	Cantidad	Designación de trabajo o Dispositivo	Costo unitario	Costo Total
1	1	PLC 1200 CPU 1214 DC/DC/DC	3.310.093	3.310.093
2	1	SM 1223 DI 16 x 24 V DC, DQ 16 x 24 V DC	2.436.020	2.436.020

3	1	MÓDULO DE ENTRADA TERMOPAR SM 1231 AI4 X TC X 16 BIT	2.016.615	2.016.615
4	1	CSM 1277	999.120	999.120
5	1	FUENTE LOGO POWER, 1X 100-240 VAC / 24 VDC, 2.5 A	505.927	505.927
6	1	PANEL KTP 600 BASIC COLOR PN, 6" TÁCTIL Y 6 TECLAS	8.242.409	8.242.409
7	20	RELE DE INTERFAZ 24 V	78.123	1.562.453
8	2	CABLE UTP CATEGORÍA 6, 4M	14.845	29.691
9	4	CONECTORES RJ45 CATEGORÍA 6	3.345	13.382
TOTAL DE MATERIALES				19.115.709

Tabla A. 2: Detalles de costos del Hardware de Control y accesorios

Cabe mencionar que algunos de los elementos eléctricos existentes serán reutilizados en el nuevo sistema de automatización del proceso adecuándose por supuesto a la nueva lógica de control. En resumen, el costo de materiales total en guaraníes se puede observar en la tabla A.3

Item	Designación	Costo Total
1	Elementos Eléctricos de Automatización	13.727.825
2	Hardware de Control	19.115.709
Total Honorarios		32.843.534

Tabla A. 3: Total de costos de los materiales

Apéndice A.2: Determinación de honorarios para la mano de Obra

En este apartado se expone el costo de mano de obra necesario para la ejecución e implementación del Proyecto de Automatización, teniendo en cuenta las horas de programación y análisis que conlleva la realización del nuevo Sistema de Control y de la mano de obra técnica necesaria para la realización del trabajo.

En la tabla A.4 se puede observar los honorarios individuales que percibirán tanto el Ingeniero Analista y Programador en horas de trabajo como la remuneración que percibirá el técnico electricista encargado de realizar las adecuaciones y nuevas instalaciones por cada día trabajo.

Ítem	Cantidad	Unidad	Designación de trabajo	Costo unitario	Costo Total
1	180	Hs	Honorario Ingeniero Analista y Programador	200.000	36.000.000
2	20	Días	Honorario Personal Técnico	450.000	9.000.000
Total Honorarios					45.000.000

Tabla A. 4: Honorarios Profesionales

Apéndice A.3: Beneficios y Gastos Económicos de la implementación del Sistema

En este apartado se cuantificarán los beneficios que se obtendrán con la implementación de este nuevo Sistema de Automatización, además de la cuantificación de los gastos adicionales que se tendrá en materiales para la producción de más cantidad de placas.

Como se mencionó en apartados anteriores se tendrá un aumento de productividad del 20 % debido a que se redujeron los tiempos de activaciones, ese aumento se ve reflejado en la tabla A.5 en donde en forma mensual se tendrá un ingreso adicional de 11.050.000 gs.

Ítem	Unidad	Aumento de Producción P/mes	Costo Unitario/Gs	Sub Total Mensual	Total Anual
1	m3	26	425.000	11.050.000	132.600.000

Tabla A. 5: Ingreso mensual adicional por placas producidas

Este ingreso mensual adicional le generara a la empresa un aumento anual de **132.600.000 Gs.** Otro punto muy importante a tener en cuenta son los costos de materiales adicionales que se tendrá al producir 26 m3 mas de placas, según informaciones recocidas de la fábrica se estima que se tendría un costo adicional en forma mensual de unos 8.500.000 Gs, expresada en forma anual se tendría un gasto adicional en materiales de unos 102.000.000 Gs.

Otro ahorro monetario importante que se obtendrá con la implementación de este sistema es la del ingreso mensual del operario que se encargaba exclusivamente de la activación manual de las maquinas, cuyo ingreso mensual según datos

proporcionados por la empresa sería la de 1.600.000 Gs lo que equivale un ahorro anual de **19.200.000 Gs**.

Como se ha mencionado en un apartado anterior las pérdidas anuales que se tenían por paradas de producción con este nuevo sistema de automatización se volverán un ahorro para la empresa, tomando como referencia las pérdidas del año 2014 este monto sería la **13.600.000 Gs**

Apéndice A.4: Costo Mantenimiento Preventivo

De manera a poder prolongar la vida útil de los dispositivos que serán instalados y de los que serán reutilizados es necesario la realización de por lo menos 2 mantenimientos preventivos anuales a todos los equipos que compondrán el nuevo sistema.

Este mantenimiento consistirá en la verificación del buen funcionamiento, limpieza, control y cambio si corresponde de todos los componentes eléctricos, electrónicos que componen este proceso de Producción de Placas.

En la tabla A.6 se puede observar el presupuesto que será destinado a los trabajos de mantenimiento.

Ítem	Cantidad	Unidad	Designación de trabajo	Costo unitario	Costo Total
1	2	gl.	Trabajos de Mantenimientos	3.000.000	6.000.000
Total Trabajos de Mantenimiento					6.000.000

Tabla A. 6: Presupuesto Mantenimiento Anual

Apéndice A.5: Parada de Producción para Implementación del Proyecto.

Para la implementación de este nuevo sistema de automatización necesariamente se deberá de realizar una parada de por lo menos 15 días de manera a poder realizar las modificaciones y pruebas correspondientes. Durante este tiempo la Fabrica dejara de producir placas de madera lo cual en términos monetarios se ve reflejada en la tabla A.8.

Días	Unidad	Producción de Placas p/día	Costo Unitario p/m3	Total
15	m3	5	425.000	31.875.000

Tabla A. 7: Perdida de producción durante parada

Como se puede observar en la tabla A.7 en el lapso de 15 días la Fabrica dejará de producir placas por un valor de **31.875.000** Gs.

Apéndice B: Ingeniería de diseño

Apéndice B.1: Maquinas y elementos del Proceso



Figura B. 1: Maquina Cepilladora



Figura B. 2: Maquina Circular Múltiple



Figura B. 3: Maquina Fabricadora de Placas



Figura B. 4: Sistema de Arranque Manual de la Cepilladora



Figura B. 5: Rodillos de Avance Producción de Placas



Figura B. 6: Sistema de Amarre con hilos PP



Figura B. 7: Sistema derretido de hilos con rodillos



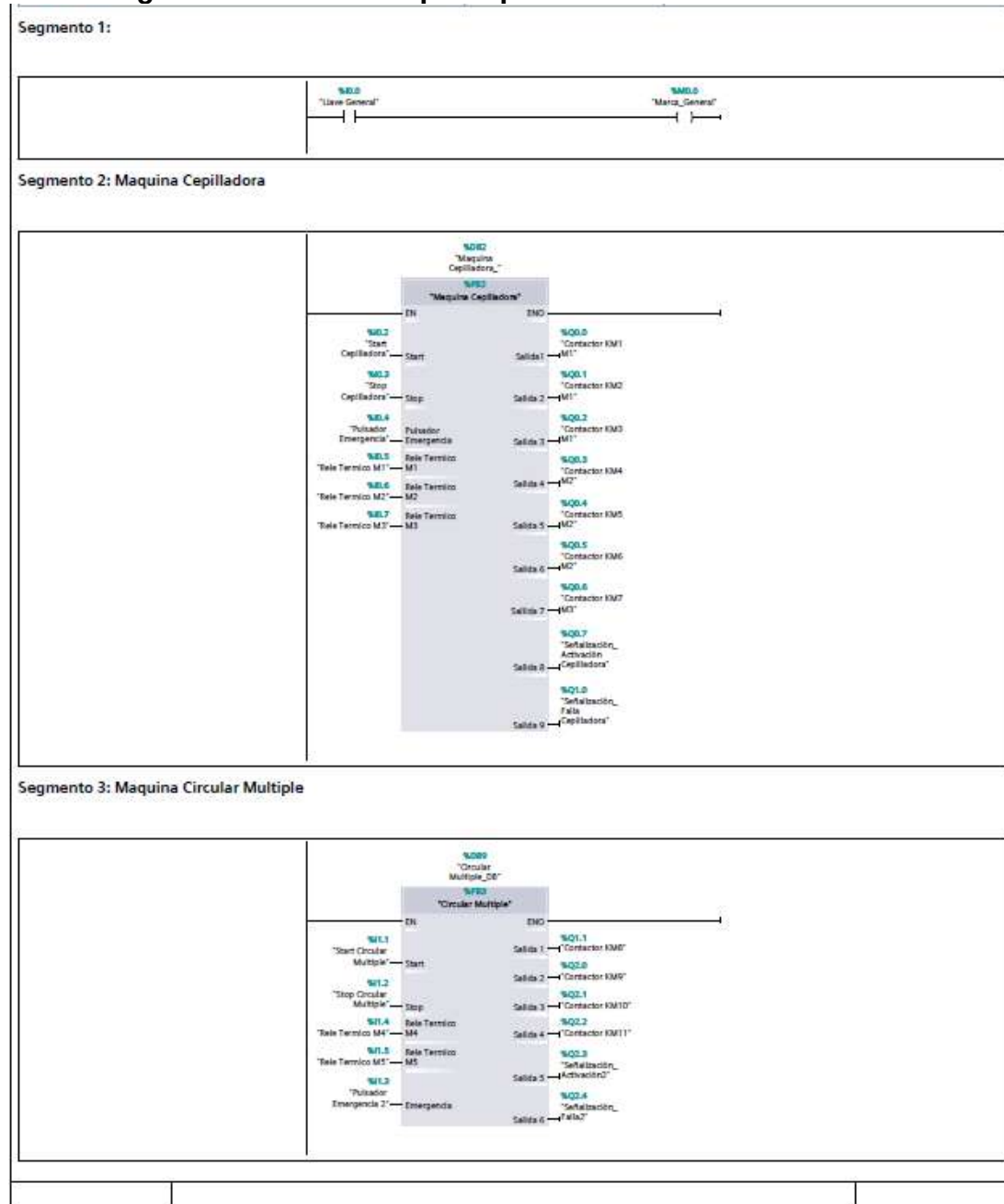
Figura B. 8: Display de Visualización de Temperatura

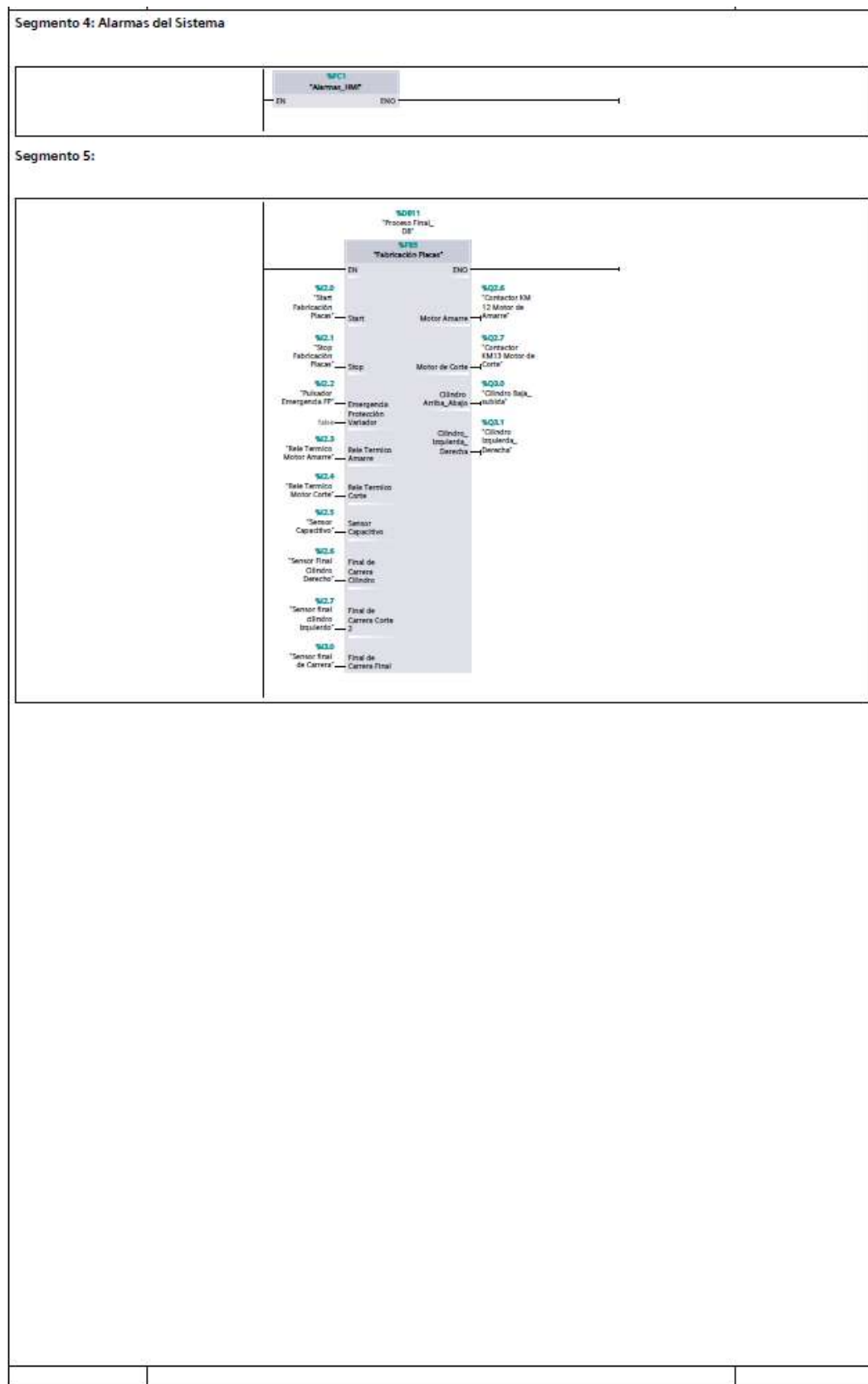


Figura B. 9: Final de Carrera Producción de Placas

Apéndice B.2: Programación del Proceso en TIA PORTAL V13 SP2

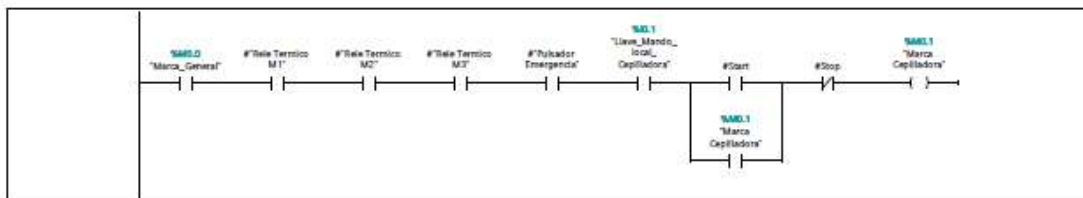
B.2.1 Programación del Main principal



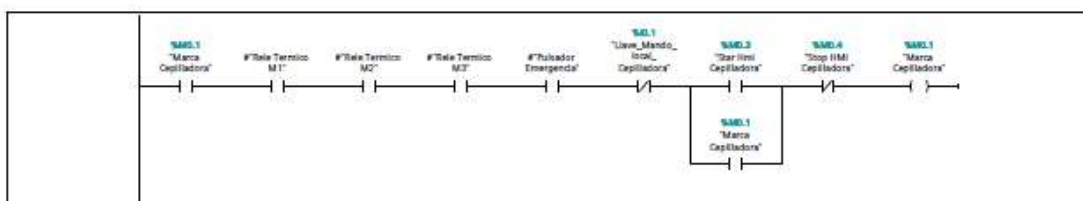


B.2.1 Programación Bloque Cepilladora

Segmento 1: Activaciones y Protecciones (Mando Local)



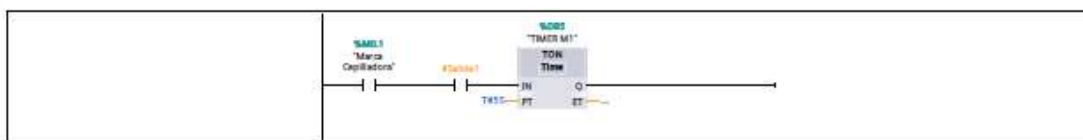
Segmento 2: Activaciones y Protecciones (Mando Remoto)



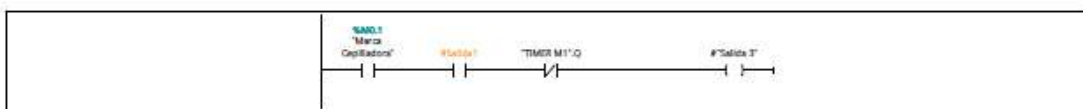
Segmento 3: Activación del primer Contactor



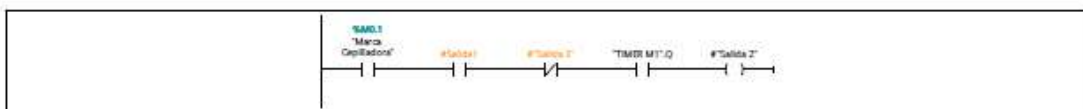
Segmento 4: Activación del Temporizador 1 para arranque Estrella-Triangulo



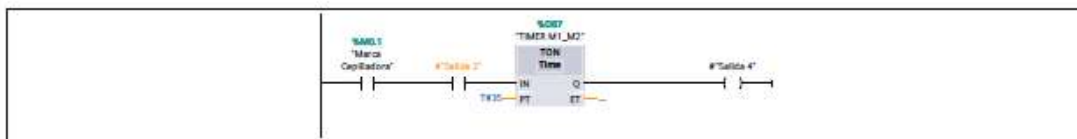
Segmento 5: Activación del Contactor 3 (Motor en Estrella)



Segmento 6: Activación del Contactor 2 (El sistema pasa a Triangulo)



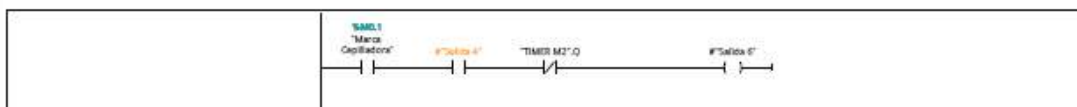
Segmento 7: Temporización para arranque de Segundo Motor



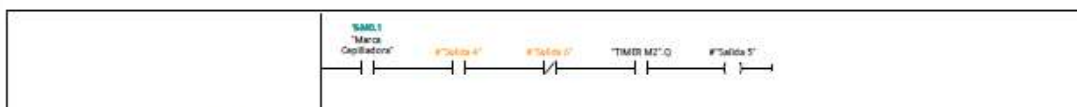
Segmento 8: Activación de Temporizador para arranque Estrella-Triangulo del segundo Motor



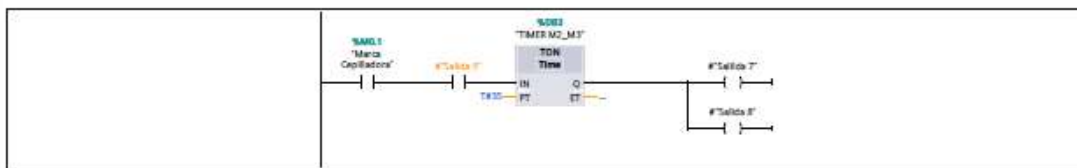
Segmento 9: Activación de Contactor 6



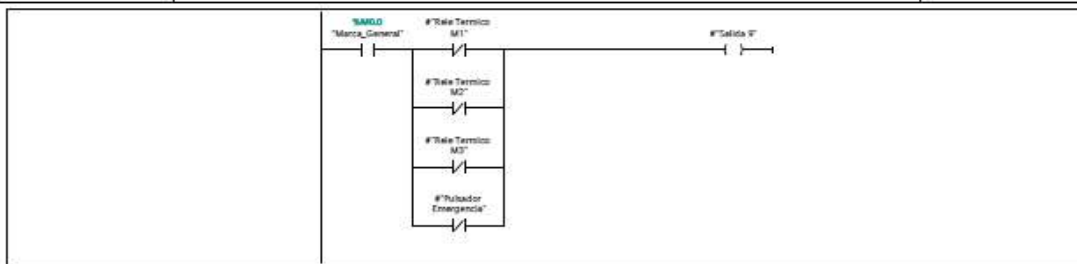
Segmento 10: Activación de Contactor 5 (El Sistema Pasa a Triangulo)



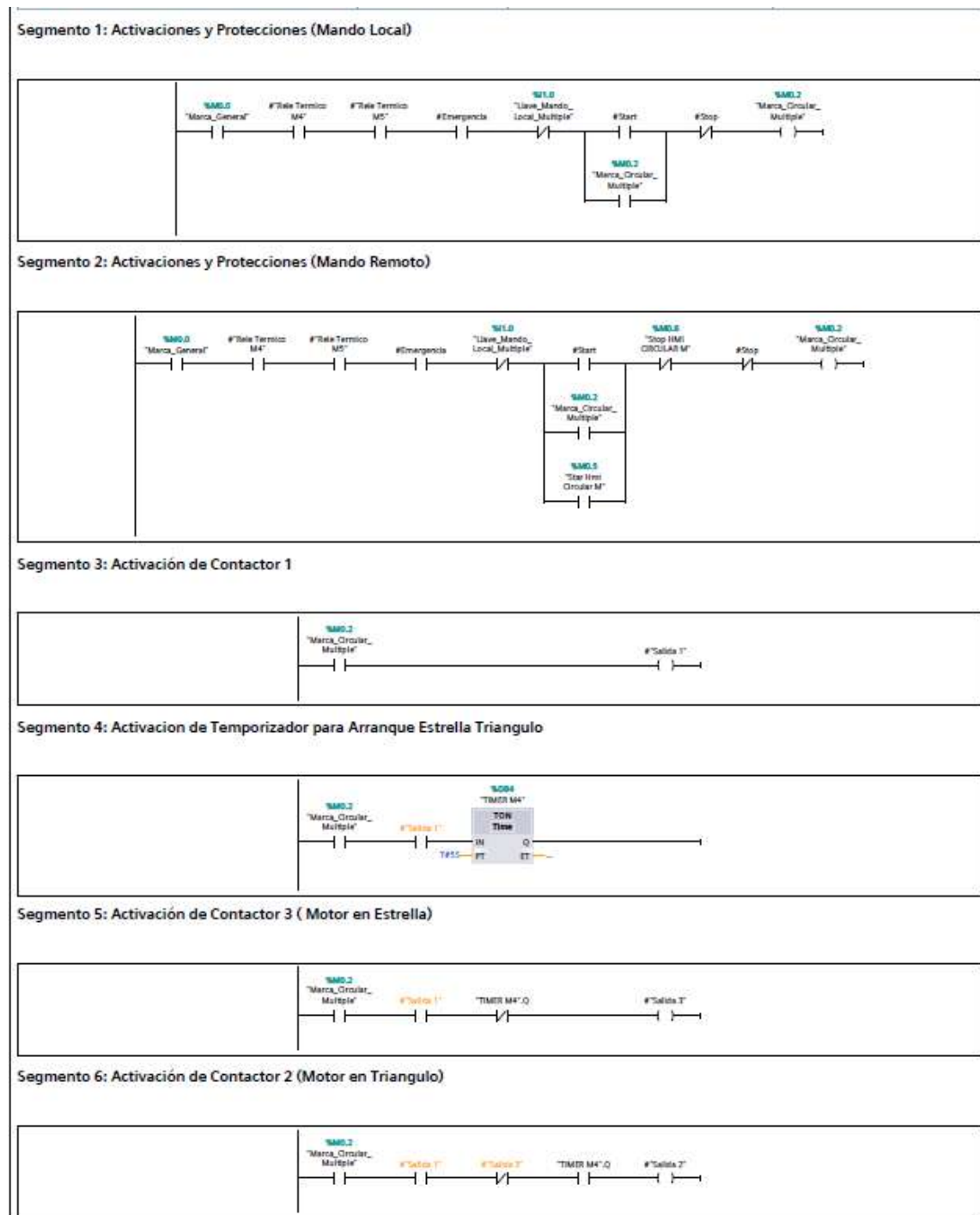
Segmento 11: Activación de Temporizador para Arranque de Motor 3



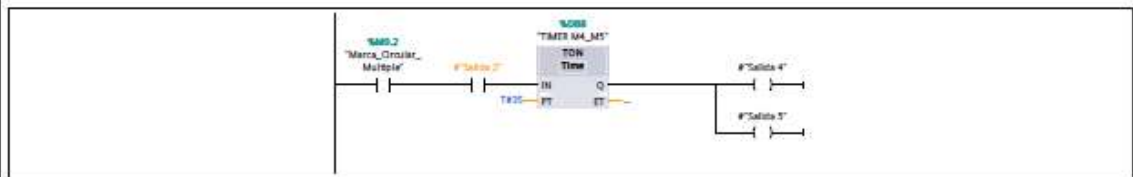
Segmento 12: Activaciones de la lampara de Avisos



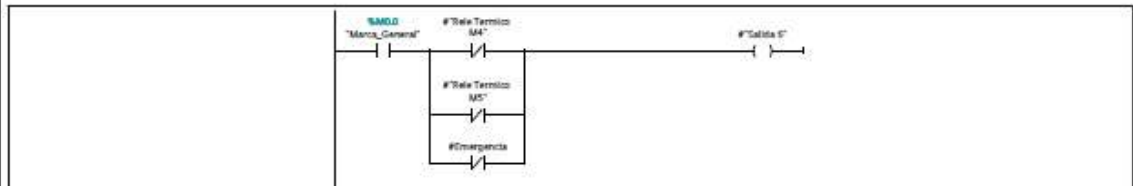
B.2.2 Programación Bloque Circular Múltiple



Segmento 7: Activación de Temporización para arranque del Segundo Motor

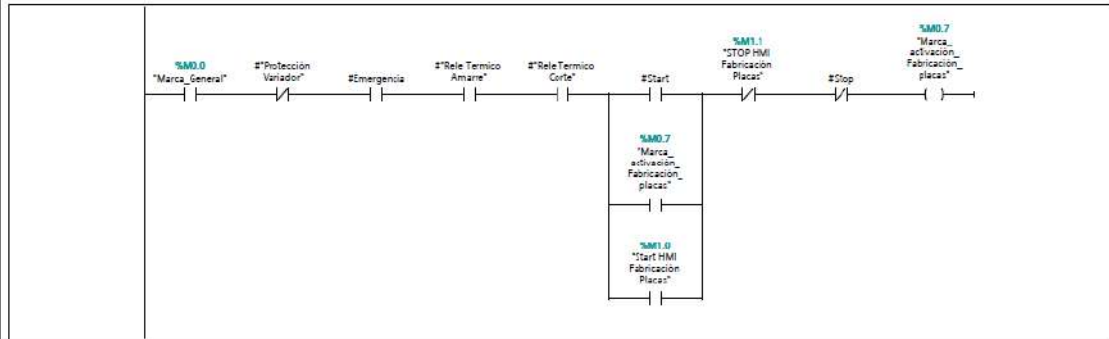


Segmento 8: Activación de Lámpara de Avisos

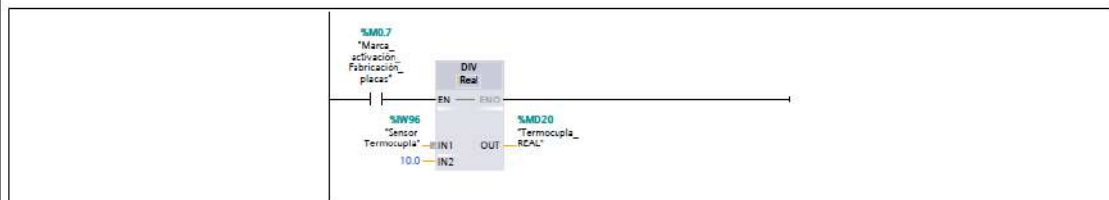


B.2.3 Programación Bloque Producción de Placas

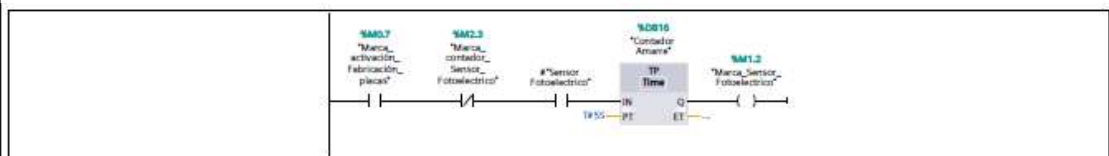
Segmento 1: Puesta en Marcha y protecciones



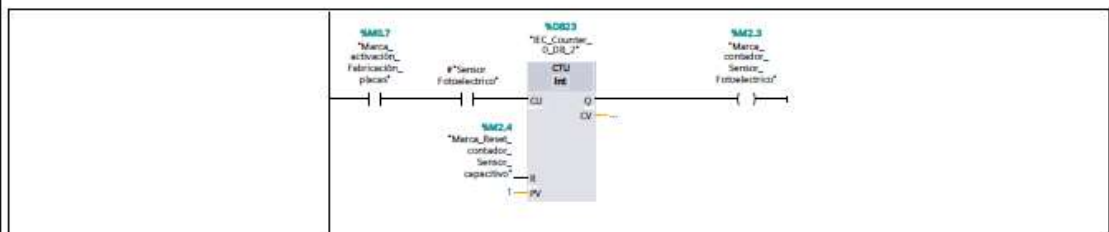
Segmento 2: Convertir valor del modulo Termocupa a valor real // Valor dividido 10



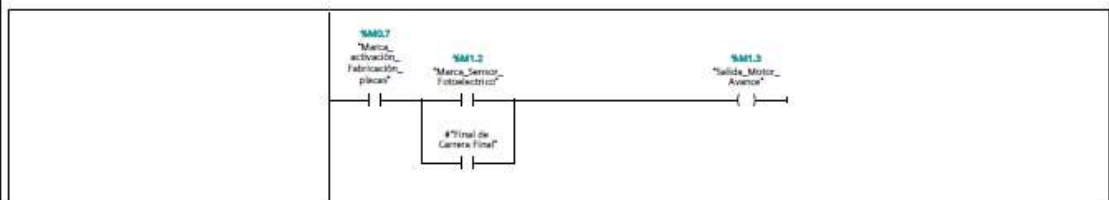
Segmento 3: Detección Fotoelectrica de la primera placa



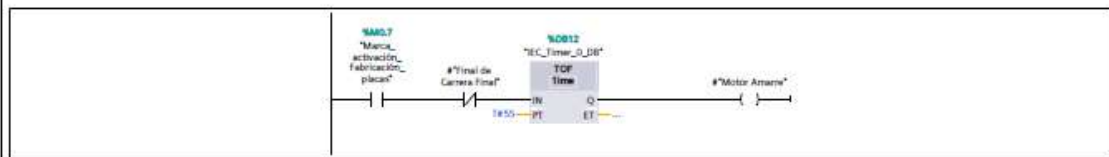
Segmento 4: Funcionamiento del Sensor Fotoelectrico una sola vez al inicio del proceso



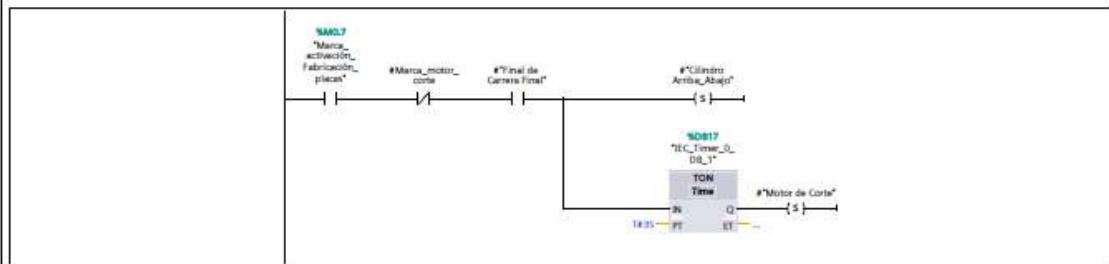
Segmento 5: Funcionamiento de motor de Avance



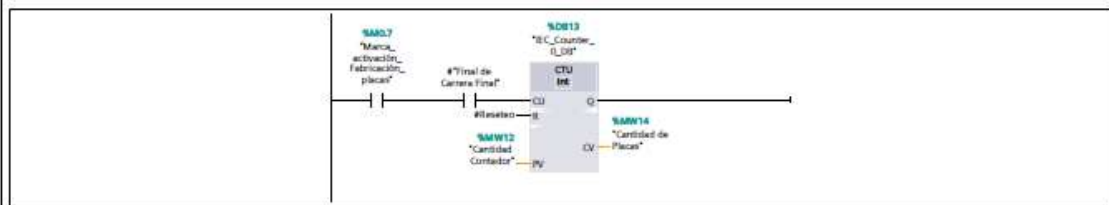
Segmento 6: Desactivación del motor de amarre 5 Segundos despues de de accionamiento final de Carrera Final



Segmento 7: Activación de Motor de Corte y Cilindro Arriba_Abajo



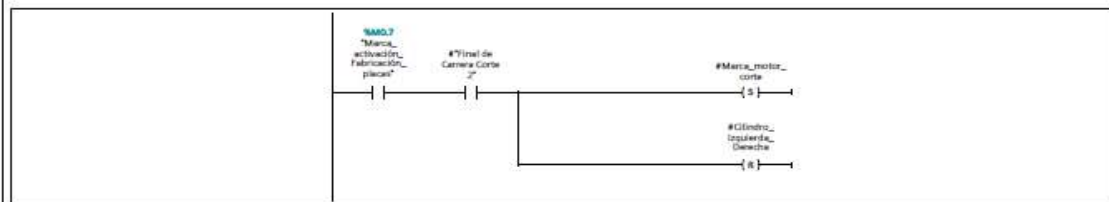
Segmento 8: Contador de Placas



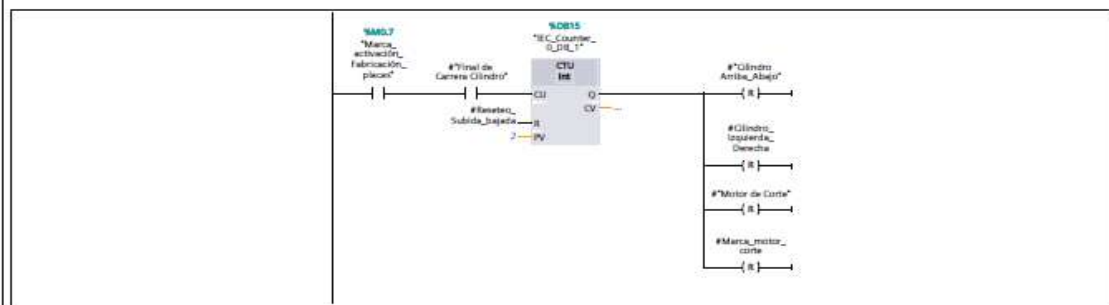
Segmento 9: Activación de Cilindro_Izquierda_Derecha



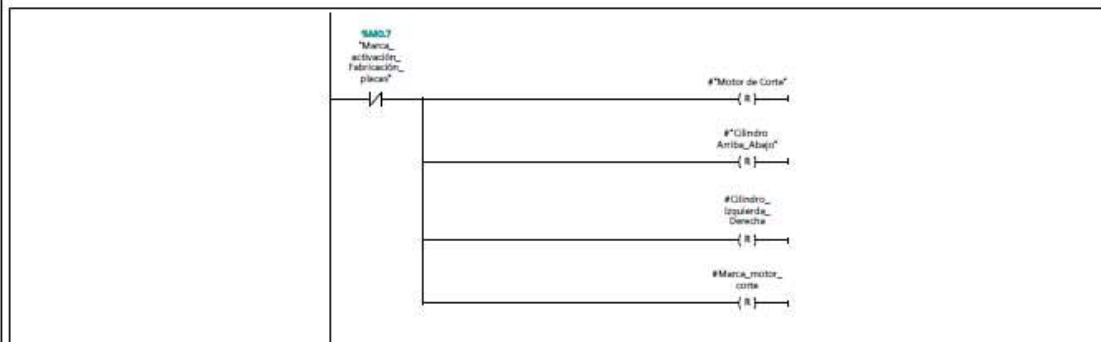
Segmento 10: Desactivación Cilindro_Izquierda_Derecha



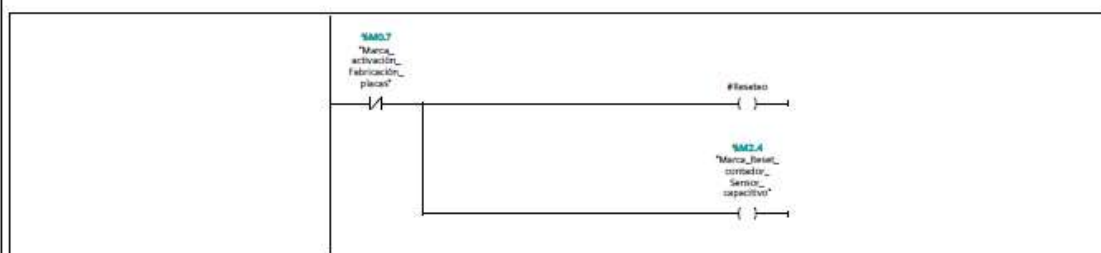
Segmento 11: Desactivación de Cilindro_Arriba_Abajo



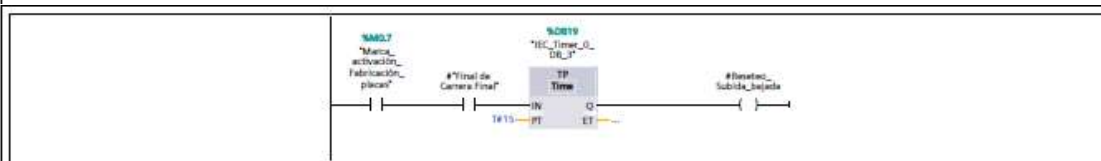
Segmento 12: Reseteo de Salidas y Marcas



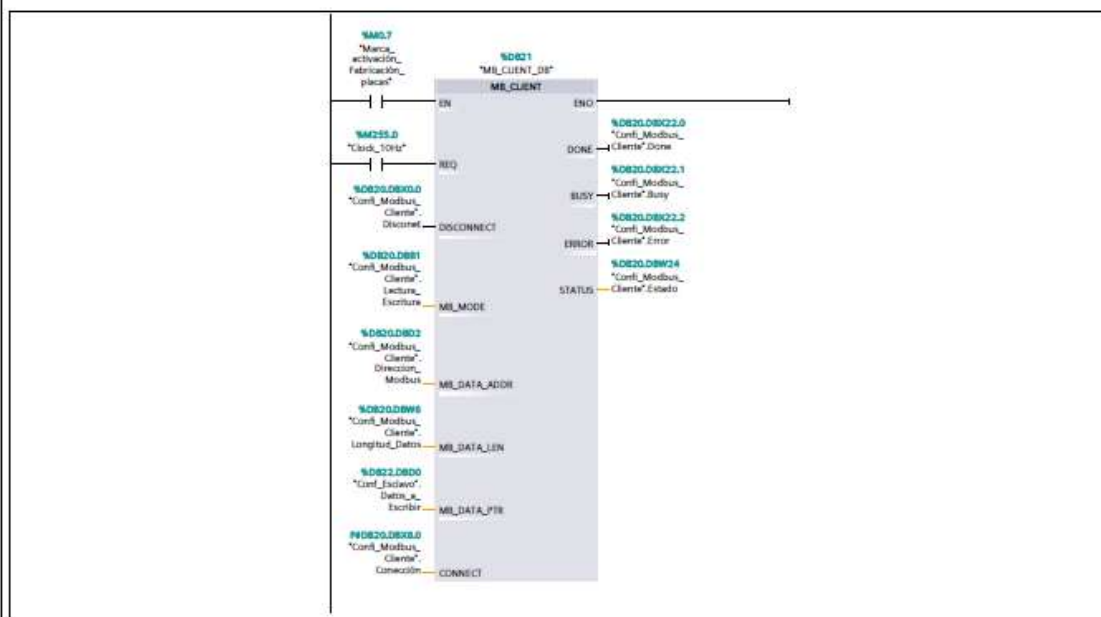
Segmento 13: Reseteo de Contador de Placas y Contador Sensor Capacitivo



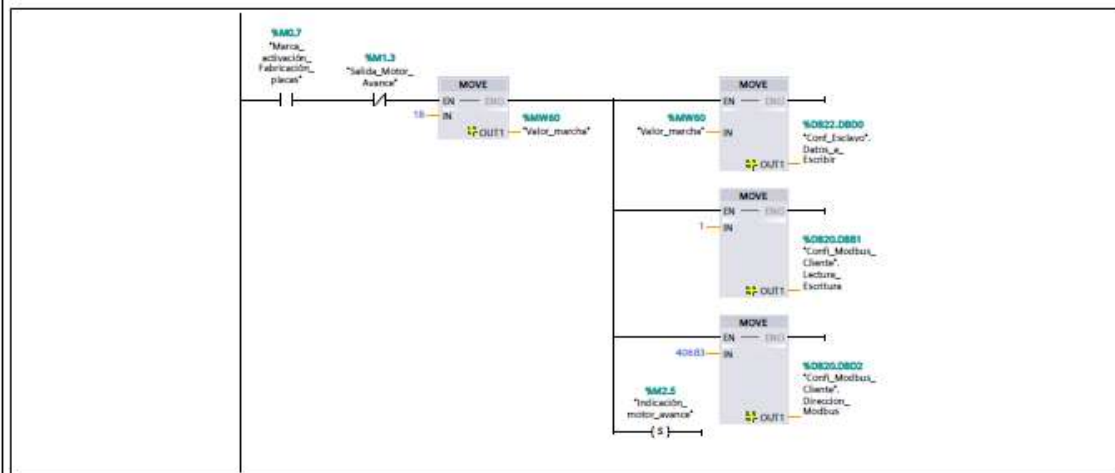
Segmento 14: Reseteo contador Subida Bajada



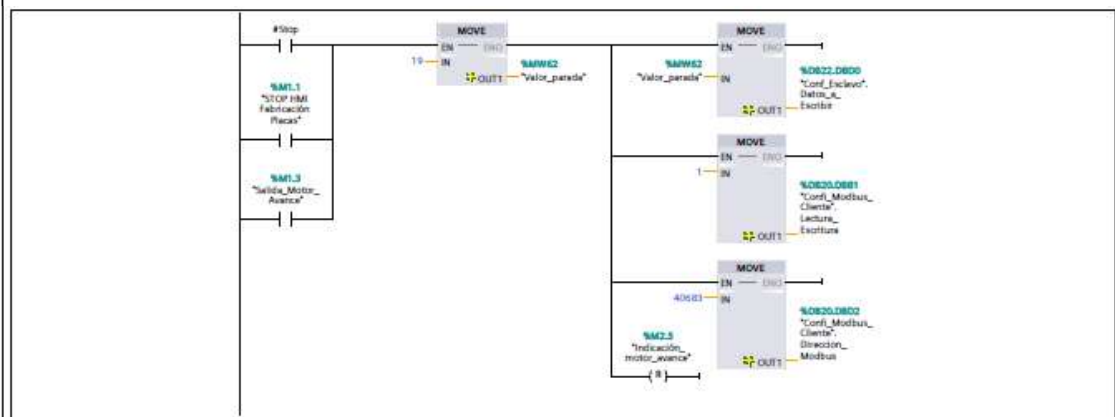
Segmento 15: Configuración Maestro Modbus para variador



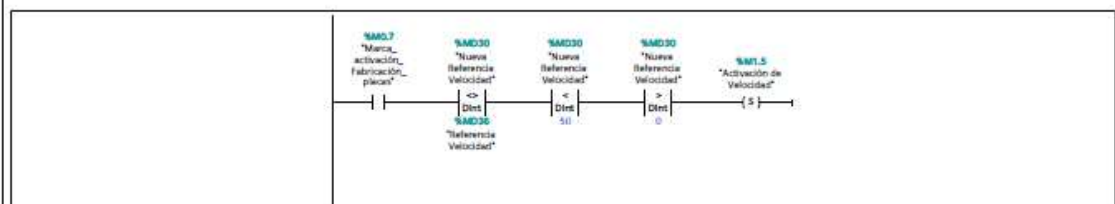
Segmento 16: Marcha de Variador



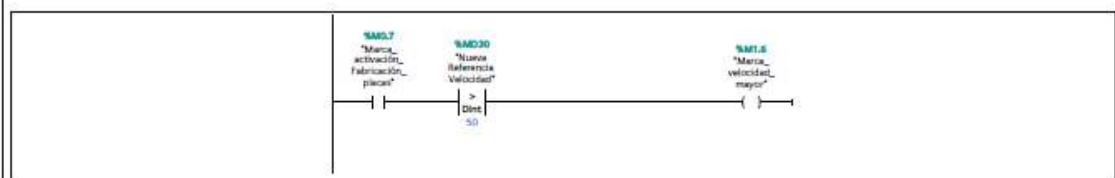
Segmento 17: Paro de Variador



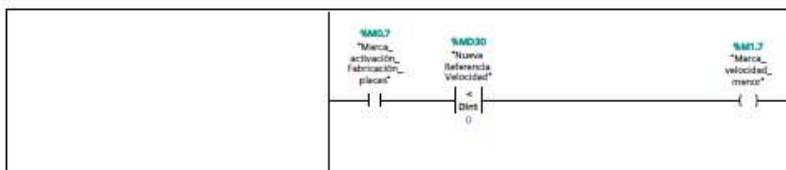
Segmento 18: Se comprueba si existe una nueva referencia de velocidad y se activa una marca



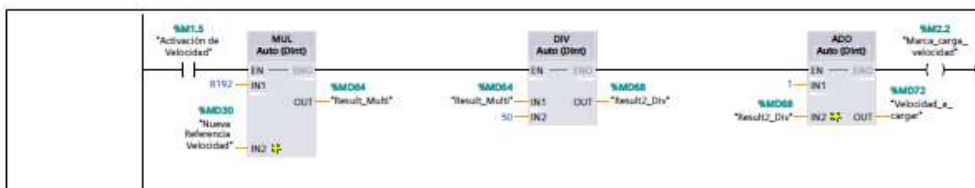
Segmento 19: Si la referencia es mayor a cincuenta se activa un mensaje de Error



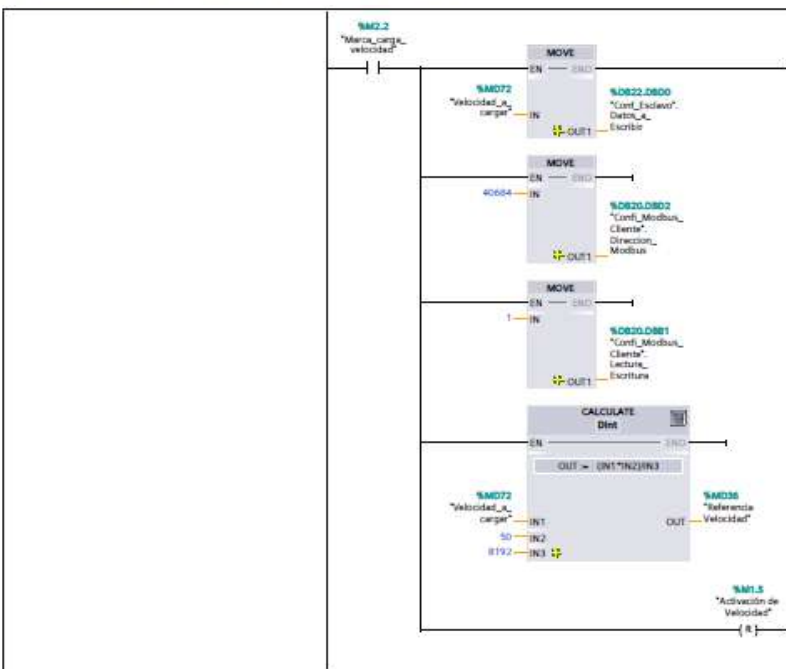
Segmento 20: Si la referencia es menor a a se activa un mensaje de Error



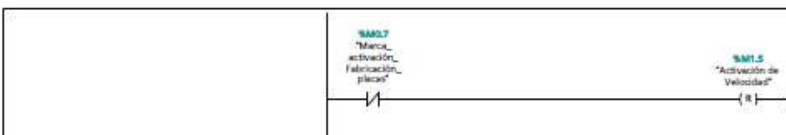
Segmento 21: Calculo Matematico para adecuar al funcionamiento del variador



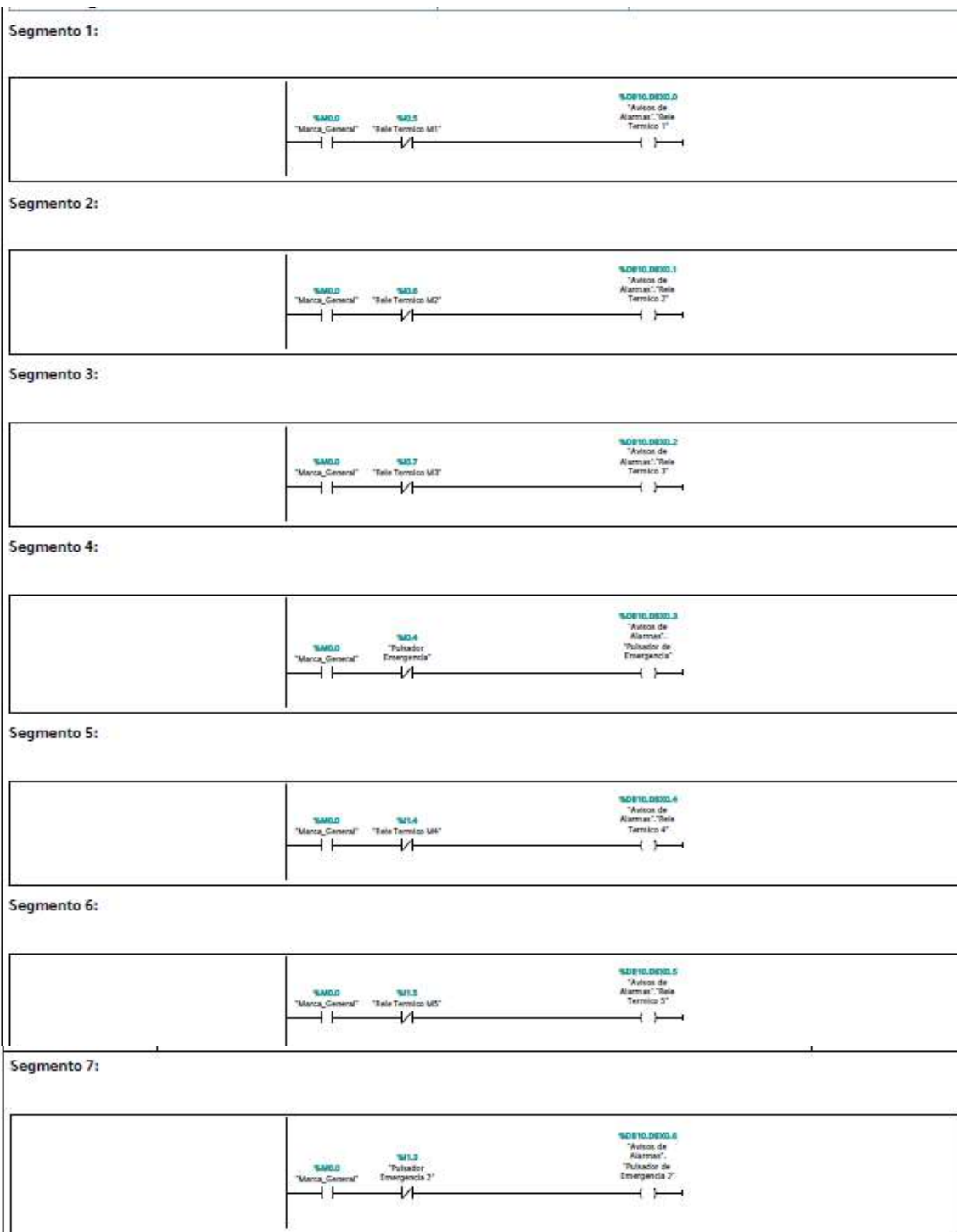
Segmento 22: Cargar la Nueva Referencia de Velocidad

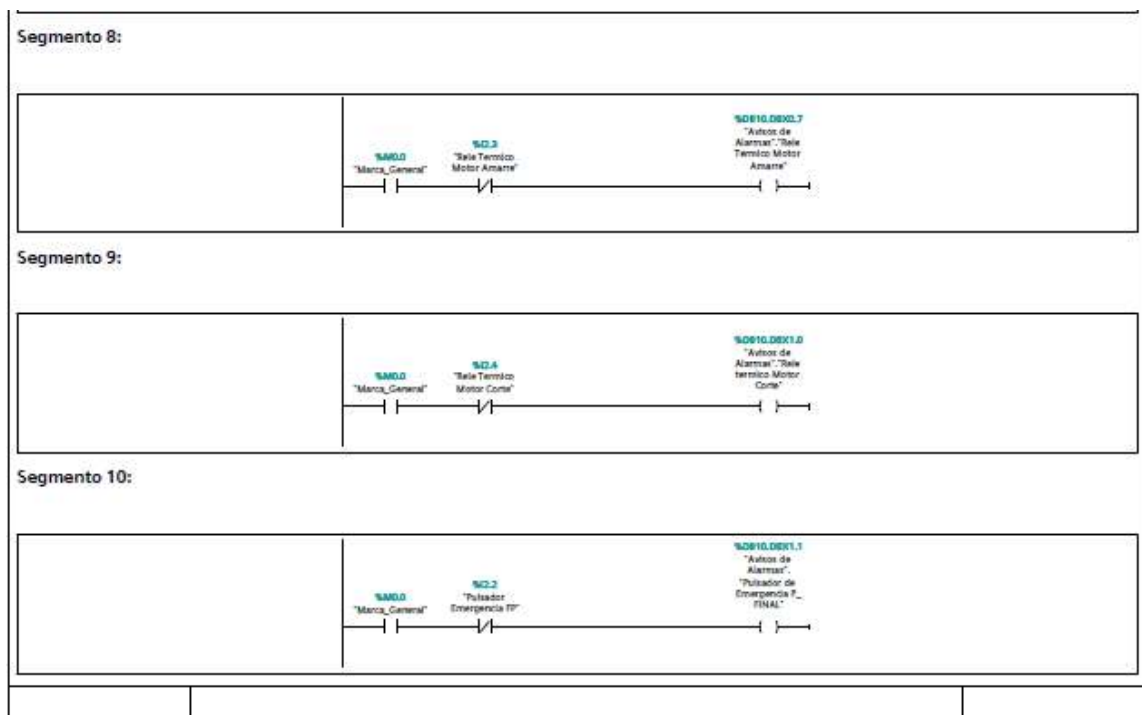


Segmento 23: Reseteo de Activación de Velocidad



B.2.4 Avisos del Sistema





Apéndice B.3: Parametrización

Variador de Velocidad y Eventos

Pantalla HMI

B.3.1 Parametrización Variador de Velocidad

Para que el variador de velocidad pueda comunicarse con el PLC S7 1200 por medio del protocolo de comunicación Modbus TCP es necesario la modificación de algunos parámetros principales dentro de la programación del variador, estos parámetros son los siguientes:

- **P0105 – SELECCIÓN 1ª/2ª RAMPA: 0**

Este valor activa la 1era Rampa. Es decir, tiempo de aceleración y desaceleración de cero a la velocidad máxima en 10 seg (Valor de Fabrica).

- **P0220 – SELECCIÓN FUENTE LOCAL/REMOTO: 9**

Define como fuente de origen del comando el local que este caso sería el PLC por medio del módulo Modbus TCP.

- **P0221 – Selección de la Referencia de Velocidad – Situación LOCAL:11**

Define como fuente de origen del comando el módulo Modbus TCP.

- **P0223 – Selección del Sentido de Giro – Situación LOCAL: 9**

Definen la fuente de origen para el comando “Sentido de Giro” Horario por medio del módulo Modbus TCP.

- **P0224 – Selección de Gira / Para – Situación LOCAL:4**

Definen la fuente de origen para el comando Gira/Para por medio del módulo Modbus TCP

- **P0225 – Selección de JOG – Situación LOCAL: 0**

La función JOG estará inactivo.

- **P0800 – Identificación del Módulo Ethernet: 1**

Permite identificar el tipo de módulo Ethernet conectado en el equipo, en este caso el Módulo TCP.

- **P0803 – Tasa de Comunicación Ethernet: 2**

Se ajusta la tasa de comunicación en 10Mbit/s, full dúplex

- **P0810 – Configuración de Dirección IP:0**

Permite programar como debe ser la configuración de dirección IP para el módulo TCP.

- **P0811 – Dirección IP1:192**
- **P0812 – Dirección IP2:168**
- **P0813– Dirección IP3:0**
- **P0814 – Dirección IP4:5**

Con estos parámetros se la asigna la dirección IP al módulo Modbus TCP.

B.3.1 Parámetros Escritura Variador de Velocidad

- **P0684 – PALABRA DE CONTROL VÍA MODBUS TCP**

Palabra de comando del convertidor de frecuencia vía interfaz Modbus TCP. Este parámetro solamente puede ser modificado vía interfaz Ethernet

Bits	15 a 8	7	6	5	4	3	2	1	0
Función	Reservado	Reset de Falas	Parada Rápida	Utiliza Segunda Rampa	LOC/REM	JOG	Sentido de Giro	Habilita General	Gira/Para

Figura B.7: Estructura de bits en el parámetro 684

Bits	Valores
Bit 0 Gira/Para	0: Para el eje del motor por rampa de desaceleración. 1: Gira el eje del motor de acuerdo con la rampa de aceleración hasta alcanzar el valor de la referencia de velocidad.
Bit 1 Habilita General	0: Deshabilita general el drive de frecuencia, interrumpiendo la alimentación para el motor. 1: Habilita general el drive, permitiendo la operación del motor.
Bit 2 Sentido de Giro	0: Girar el eje del motor en el sentido opuesto al de la referencia. 1: Girar el eje del motor en el sentido indicado en la referencia.
Bit 3 JOG	0: Deshabilita la función JOG. 1: Habilita la función JOG.
Bit 4 LOC/REM	0: Drive va para el modo local. 1: Drive va para el modo remoto.
Bit 5 Utiliza Segunda Rampa	0: Drive configurado para rampa de aceleración y de desaceleración del motor vía primera rampa; valores programados en los parámetros P0100 y P0101. 1: Drive configurado para rampa de aceleración y de desaceleración del motor vía segunda rampa; valores programados en los parámetros P0102 y P0103.
Bit 6 Parada Rápida	0: No ejecuta el comando de parada rápida. 1: Ejecuta el comando de parada rápida. Observación: cuando el tipo de control (P0202) es V/f o VVW no se recomienda la utilización de esta función.
Bit 7 Reset de Falas	0: Sin función. 1: Si en estado de falla, ejecuta el reset del drive.
Bits 8 a 15	Reservado.

Tabla B.1: Función de los bits para el parámetro P0684

- **P0685 – REFERENCIA DE VELOCIDAD VÍA MODBUS TCP**

Palabra de comando del convertidor de frecuencia vía interfaz Modbus TCP. Este parámetro solamente puede ser modificado vía interfaz Ethernet

Esta palabra utiliza resolución de 13 bits con señal para representar la frecuencia nominal (P0403) del motor:

- P0685 = 0000h (0 decimal) → velocidad del motor = 0
- P0685 = 2000h (8192 decimal) → velocidad del motor = frecuencia nominal (P0403)

Valores de referencias intermediarias o superiores pueden ser programados utilizando esta escala.

B.3.2 Mensajes de Error en Pantalla de Producción de Placas

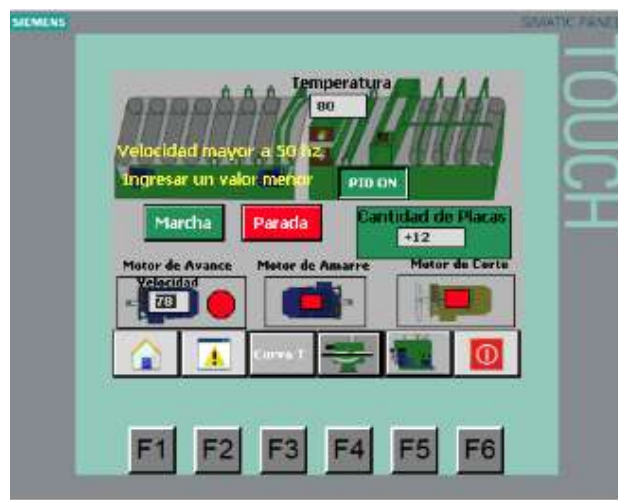


Figura B. 10: Mensaje de error en valores de Velocidad motor de Avance

Apéndice B.4: Control PID

Temperatura Rodillos

El PLC 1200 elegido para la automatización admite hasta 16 Lazos PID, su software de programación incorpora un asistente de configuración que facilita por medio de un objeto tecnológico de regulación la posibilidad de realizar un PID Autotuning, y así de esta manera poder calcular automáticamente valores de ajuste óptimos para los componentes proporcional, integral y derivativa.

La señal de entrada del controlador se obtiene por medio del Sensor Termocupla que será colocado estratégicamente entre los rodillos.

Primeramente, se debe agregar un Objeto tecnológico en el Software de programación TIA PORTAL, que pueden ser los siguientes:

- PID_Compact
- PID_3Step
- PID_Temp

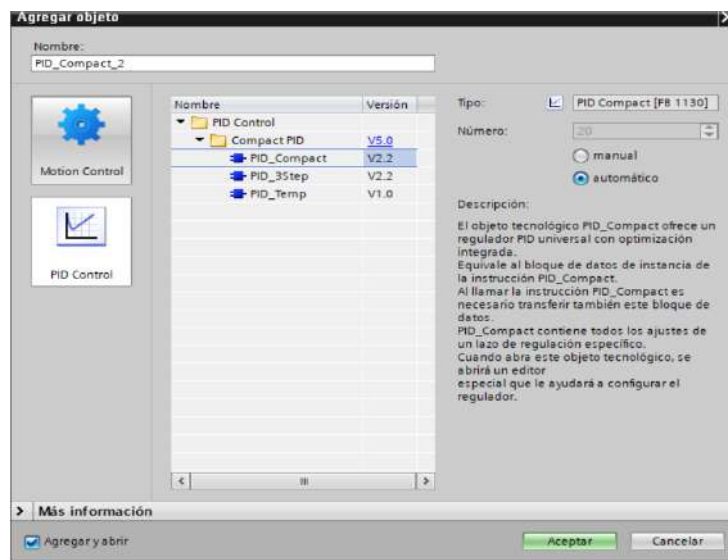


Figura B. 11: Objetos Tecnológicos TIA PORTAL V13 SP2

Para el presente proyecto será configurado el PID_Compact, con el cual se podrá regular la temperatura de los Rodillos.

A continuación, se agrega un bloque de Interrupción cíclica o OB30 donde se colocará el objeto tecnológico creado.

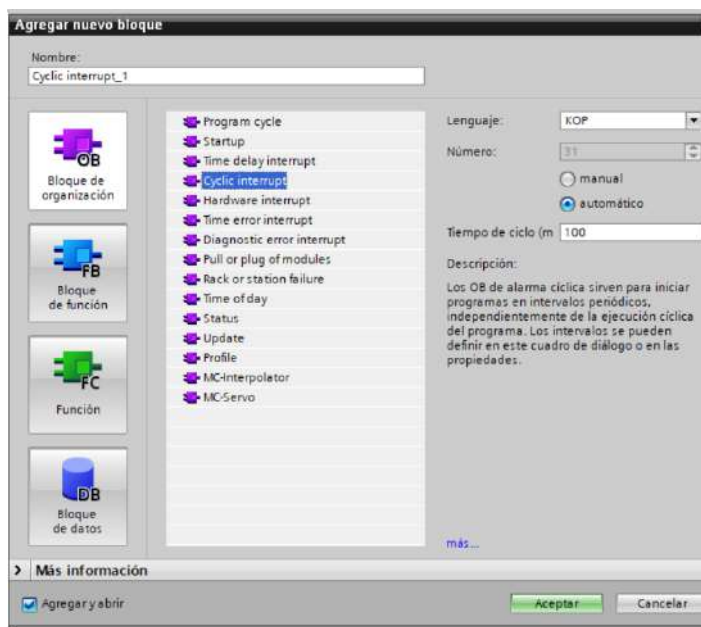


Figura B. 12: Bloque Cíclico de Interrupción en TIA PORTAL V13 SP2

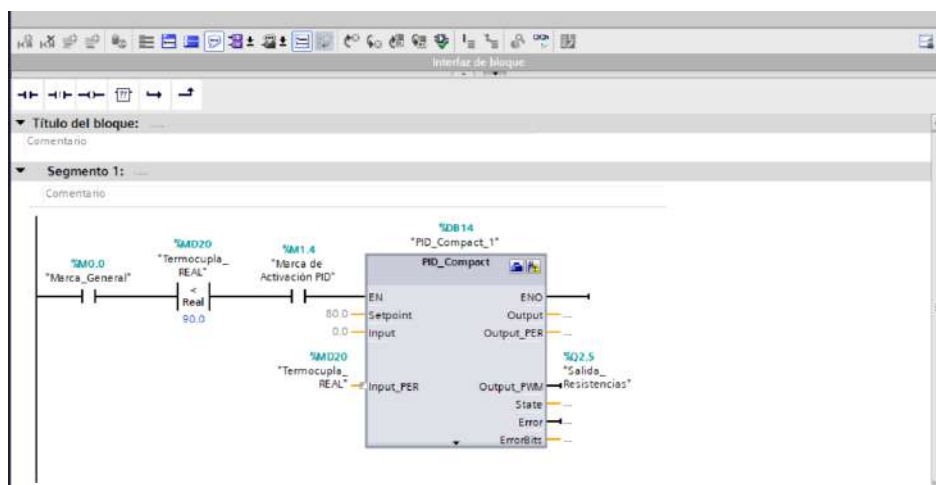


Figura B. 13: Asignación del PID Compact del proyecto

En la figura B.13 Se puede observar que para la activación del Controlador PID primeramente deberá estar activo la **Llave de Activación General**, como

también la marca de activación del Objeto tecnológico PID, esto podrá realizarse por medio del **Botón PID** ubicado en Pantalla Producción de Placas.

Si la temperatura de los rodillos sobre pasan los 85 grados automáticamente el control de temperatura se detendrá.

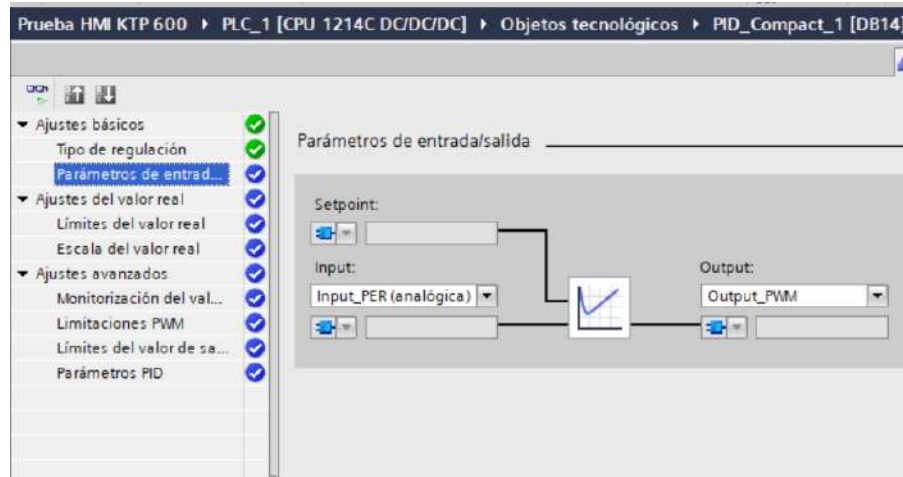


Figura B. 14: Configuración de los Parámetros de E/S del PID_Compact
Dentro del PID_Compact se deben especificar todas las variables involucradas en control de temperatura, tales son:

- Sensor de temperatura Termocupla
- El valor deseado o Set Point
- Salida a Resistencias

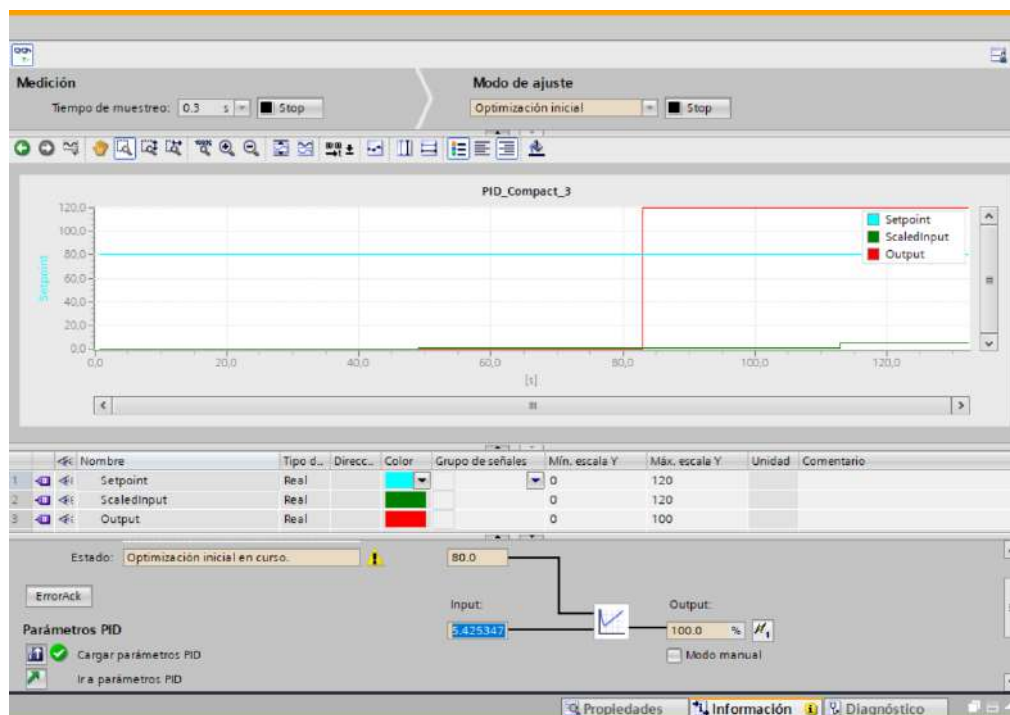


Figura B. 15: Cuadro de Optimización de los valores PID

En la Figura B.15 Se puede observar el cuadro de optimización inicial de valores del controlador PID, en este proceso se hallarán los valores adecuados para el control PID. Una vez hallado dichos valores se procede a la carga de los mismos al PLC.

Apéndice C: Evaluación económica

Apéndice C.1: Determinación de Flujo de Caja

Una vez determinados los ingresos y egresos que se obtendrán con el nuevo sistema se realiza el cálculo de flujo de caja proyectado en un periodo de 5 años respectivamente, en Tabla C.1 se observa el cálculo detallado.

FLUJO DE CAJA PROYECTADA						
Horizonte del proyecto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro por Pérdidas Anuales	13.600.000	13.600.000	13.600.000	13.600.000	13.600.000	13.600.000
Aumento de Productividad	132.600.000	132.600.000	132.600.000	132.600.000	132.600.000	132.600.000
Ahorro por Personal	19.200.000	19.200.000	19.200.000	19.200.000	19.200.000	19.200.000
Total de Ingresos	165.400.000	165.400.000	165.400.000	165.400.000	165.400.000	165.400.000
Total de Egresos	222.718.534	113.000.000	113.000.000	113.000.000	113.000.000	113.000.000
Costo de Materiales	32.843.534	-	-	-	-	-
Mantenimiento Preventivo	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000
Mano de Obra	45.000.000	-	-	-	-	-
Parada por Implementación	31.875.000	-	-	-	-	-
Costo Adicional Materia Prima	102.000.000	102.000.000	102.000.000	102.000.000	102.000.000	102.000.000
Imprevistos	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000
Utilidades antes de Impuesto	(57.318.534)	52.400.000	52.400.000	52.400.000	52.400.000	52.400.000
Impuesto	(5.731.853)	5.240.000	5.240.000	5.240.000	5.240.000	5.240.000
Flujo Neto de Caja	(51.586.681)	47.160.000	47.160.000	47.160.000	47.160.000	47.160.000

Tabla C. 1: Flujo de Caja Proyectada

Apéndice C.2: Determinación de la tasa de inversión de retorno

TIR

En base al flujo de caja realizado la tasa de inversión de retorno en un periodo de 5 años es del 87 %.

Horizonte del proyecto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo Neto de Caja	(51.586.681)	47.160.000	47.160.000	47.160.000	47.160.000	47.160.000
Tasa interna de retorno						87%

Tabla C. 2: Tasa interna de retorno en un periodo de 5 años

Apéndice C.3: Determinación del Valor Presente Neto

Tomando los valores obtenidos en el flujo de caja para un periodo de 5 años se determina que el Valor Presente Neto es de 90.858.756 Gs a una tasa de descuento del 24 % (tasa de inflación + valor al riesgo). Dado que el VPN>0 se puede concluir que el proyecto es absolutamente rentable.

Apéndice C.4: Determinación del Periodo de recuperación de la inversión

En base al flujo de caja proyectada obtenido en el Apéndice C.1 se puede determinar el periodo de recuperación de la inversión aplicando la fórmula siguiente:

$$PRI = [PN] + \frac{ABS(UPN)}{VFCPS}$$

Donde:

PN=0

UPN= -51.586.681

VFCPS= 47.060.00

Reemplazando en la ecuación se tiene que:

$$PRI = [0] + \frac{ABS(-51.586.681)}{47.060.000}$$

$$PRI = 1,09$$

Aplicando la formula se obtiene un PRI = 1,09, en donde se puede concluir que en un periodo de 1 año y un mes se estaría recuperando la inversión inicial.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD (ANDE), Reglamento de Baja Tensión, Asunción-Paraguay.
- [2] T. J. Maloney, Electrónica Industrial Moderna, México: Pearson Educación, Quinta Edición, 2006.
- [3] J. R. Viloria, Automatismos Industriales, Madrid España: Parainfo, 2008.
- [4] W. Bolton, Sistema de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Alfaomega, Segunda Edición.
- [5] J. A. R. P. Roberto Sanchis Llopis, Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño, Castellón de la Planta: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació, 2010.
- [6] [En línea]. Available: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [7] [En línea]. Available: http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lled/2003-04/0.Sens_Temp/Clasify/Termocuplas.htm. [Último acceso: 10 2017].
- [8] S. Electric, «Manual Electrotécnico,» Telesquemario Telemecanique.
- [9] «Automatización Industrial,» [En línea]. Available: <http://industrial-automatiza.blogspot.com/2011/01/fundamentos-electricos-4-reles.html>. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [10] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/contactores-y-reles-de-sobrecarga/3949447/>. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [11] [En línea]. Available: <https://www.infootec.net/rele-estado-solido/>. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [12] [En línea]. Available: <http://www.omronopportunity.com/es/reles-estado-solido/60-tst-25a.html>. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [13] [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-low-voltage-products/product-25580-469975.html>. [Último acceso: Octubre 2017].

- [14] Weg. [En línea]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-interruptores-mdw-dwp-rdw-siw-spw-50022713-catalogo-espanol.pdf>. [Último acceso: Octubre 2017].
- [15] S. Electric, «Manual y Catalogo del Electricista».
- [16] S. I. G. P. D. S. F. Ebel, Fundamentos de la técnica de automatización, 06/2008, F. Ebel, S. Durz.
- [17] L. G. R. ROSERO, «SISTEMA DE CONTROL DE PESO PARA LLENADO DE SACOS DE HARINA DE 50 KG”IBARRA ECUADOR, 2013.
- [18] S. AG, SIMATIC S7 CONTROLADOR PROGRAMABLE 1200 MANUAL DEL SISTEMA, NÜRNBERG ALEMANIA, 2009.
- [19] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2010.
- [20] A. R. Penin, Sistemas SCADA 2da-Edición, Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas, 2007.
- [21] [En línea]. Available: http://www.dhl.hegoa.ehu.es/iedl/Materiales/19_Evaluacion_economica.pdf. [Último acceso: Noviembre 2017].