ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA MÁQUINA ENVASADORA DE PRODUCTOS PARA EMPAQUE FLEXIBLE

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

ROY FERNANDO CHÉRREZ BELTRÁN
rjinjan@gmail.com

DIRECTOR: ING. PAULO QUELAL A.
paulo.quelal@pilautomation.com

Quito, Febrero 2009

DECLARACIÓN

Yo, Roy Fernando Chérrez Beltrán, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Roy Fernando Chérrez B.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Roy Fernando Chérrez Beltrán, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Paulo Quelal A.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Muchas son las personas que me ayudaron a culminar este proyecto y estoy eternamente agradecido por ello.

Al Ing. Julio Báez, quien fue la persona que me permitió sin restricción alguna, y más bien con todo su apoyo y confianza, implementar el proyecto en su empresa.
A Paulo Quelal, cuya ayuda desinteresada y comprometida permitieron que la dirección de este proyecto tenga bases sólidas.
A mis padres, que cada día me entregan su apoyo, comprensión y confianza.
A todos mis amigos, que con su motivación diaria de finalizar esta etapa en mi vida, me dieron fuerzas para hacerlo.

Y TE agradezco, porque con su magia, bondad y amor me permitió encontrar a estas personas en mi camino, personas llenas de valores y virtudes que contribuyeron enormemente en esta experiencia.

Muchas Gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que día a día viven una pasión, que al verse inmersos en ella, no les importa el tiempo ni el espacio. Si no que simple y sencillamente, ponen al corazón como motor en cada una de sus acciones para lograrlo.

CONTENIDO

DECLARACIÓN ii
CERTIFICACIÓN iii
AGRADECIMIENTOS iv
DEDICATORIA v
CONTENIDO vi

CAPITULO 1. 1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO. 1
1.1 ANTECEDENTES DE LA MARCA VOLPAK. 1
1.2 TIPOS DE MÁQUINAS VOLPAK. 2
1.2.1 ENVASADORAS HORIZONTALES 3
1.2.2 LÍNEA DE ENVASADORAS HIGIÉNICAS 3
1.2.3 ENVASADORAS VERTICALES 4
1.2.4 ESTUCHADORAS Y ENCAJADORAS 5
1.2.5 LÍNEAS COMPLETAS 5
1.3 ENVASADORA HORIZONTAL VOLPAK S-240DF. 6
1.3.1 COMPONENTES DE LA ENVASADORA HORIZONTAL VOLPAK S-240 DF 8
1.3.1.1 Bancada y tapas. 10
1.3.1.2 Cofre eléctrico. 10
1.3.1.3 Grupo motriz. 11
1.3.1.4 Compensador mordazas. 14
1.3.1.5 Punto de engrasado. 14
1.3.1.6 Bomba de vacío (venturi). 15
1.3.1.6.1 Principio de Funcionamiento de las Bombas de vacío PIAB. *16*
1.3.1.7 Desenrollador. 16
1.3.1.8 Perforador de fondo. 19
1.3.1.9 Triángulo formador. 21
1.3.1.9.1 Formador de fondo *23*
1.3.1.10 Alineador de la banda. 24
1.3.1.11 Dispositivo germicida. 24
1.3.1.12 Guías de papel. 25
1.3.1.13 Fotocélula. 26
1.3.1.13.1 Principio de funcionamiento del sensor. *27*
1.3.1.14 Mordazas independientes. Soldaduras inferiores. Soldaduras verticales. Refrigerador. 28
1.3.1.14.1 Corrección mordazas inferiores, verticales, refrigeradora *29*
1.3.1.15 Muesca de desgarre neumática 29
1.3.1.16 Arrastre de material. 30

1.3.1.17 Tijeras. **32**
1.3.1.18 Cambio de línea. **33**
1.3.1.19 Carro pinzas fijas. **33**
1.3.1.20 Carro pinzas móviles. **33**
1.3.1.21 Accionamiento ventosas abertura sobre. **34**
1.3.1.21.1 Soplador sobre en ventosas. *34*
1.3.1.22 Ventosas abertura fondo del sobre. **35**
1.3.1.23 Accionamiento boquillas. **35**
1.3.1.24 Accionamiento estirado estático. **36**
1.3.1.25 Mordaza soldadura superior. **37**
1.3.1.26 Mordaza superior refrigeradora. **37**
1.3.1.27 Expulsor sobre. **38**
1.3.1.28 Cinta de salida **39**
1.3.1.29 Armario eléctrico independiente. **39**
1.3.1.30 Sincronismo de levas del eje principal. **40**
1.3.1.30.1 Tipos de encoder. *40*
1.4 PROCESO DE ENVASADO DE LA MÁQUINA HORIZONTAL VOLPAK S-240 DF. **43**
1.4.1 SUBPROCESO DESBOBINACIÓN DE MATERIAL. **44**
1.4.2 SUBPROCESO ALINEACIÓN DE MATERIAL. **44**
1.4.3 SUBPROCESO DE ARRASTRE DE MATERIAL. **45**
1.4.4 SUBPROCESO DE SELLADO INICIAL CON CONTROL DE TEMPERATURA **47**
1.4.4.1 Tipos de sellado. **47**
1.4.4.2 Componentes del envase flexible y sus propiedades. **48**
1.4.4.2.1 Polietileno. *48*
1.4.4.2.2 Polipropileno. *51*
1.4.4.2.3 Poliéster *53*
1.4.5 SUBPROCESO CONTROL DE DOSIFICACIÓN **54**
1.4.5.1 Depósito de almacenamiento. **55**
1.4.5.1.1 Detector de nivel en el depósito *55*
1.4.5.2 Medidor magnético-inductivo **58**
1.4.5.2.1 Principio de funcionamiento del sensor. *61*
1.4.5.3 Electrónica de control **62**
1.4.5.4 Terminal de operación LAUER. **63**
1.4.6 SUBPROCESO DE SELLADO FINAL CON CONTROL DE TEMPERATURA. . **64**
1.4.7 SUBPROCESO DE SALIDA DE MATERIAL. **65**

CAPITULO 2. ..... **66**
DIMENSIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS. **66**
2.1 ESQUEMA DE ELEMENTOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN. **70**

2.2 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN EL TABLERO DE CONTROL..... 71
2.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y CORTE DE MOTORES. 75
2.3.1 PROTECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL DEL EJE DE LEVAS..... 75
2.3.1.1 Corriente de plena carga del motor (Ipc) 75
2.3.1.2 Conductor del circuito derivado (Id). 76
2.3.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic). 76
2.3.1.4 Dispositivo de corte. Contactor (Ie). 77
2.3.1.5 Accionamiento de velocidad. 77
2.3.1.5.1 Variador de velocidad MicroMaster 440 78
2.3.2 PROTECCIÓN DEL MOTOR DE CINTA DE SALIDA. 81
2.3.2.1 Accionamiento de velocidad. 81
2.3.2.1.1 Variador de velocidad Sinamics G110. 81
2.3.3 PROTECIÓN DEL MOTOR DESBOBINADOR DE MATERIAL. 85
2.3.3.1 Accionamiento de velocidad. 85
2.3.4 PROTECCIÓN DEL MOTOR ASPIRADOR RETAL MUESCA DE DESGARRE. 85
2.3.4.1 Corriente de plena carga (Ipc) 86
2.3.4.2 Conductor del circuito derivado (Id). 86
2.3.4.3 Protección del Circuito Derivado (Ic). 86
2.3.4.4 Dispositivo de corte. Contactor (Ie). 87
2.3.5 PROTECCIÓN DEL MOTOR ASPIRADOR RETAL PERFORADOR DE FONDO. 87
2.3.6 PROTECCIÓN DEL SERVOMOTOR DE ARRASTRE DE MATERIAL. 87
2.3.7 PROTECCIÓN DEL VENTILADOR DE AIRE 87
2.3.8 RESUMEN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y CORTE PARA LOS MOTORES DE LA MÁQUINA VOLPAK S-240 DF 87
2.4 SOLDADURAS DE SELLADO. 89
2.4.1 PROTECCIÓN DE LAS SOLDADURAS DE 1000 W. 91
2.4.1.1 Corriente de plena carga (Ipc) 91
2.4.1.2 Conductor del circuito derivado (Id). 91
2.4.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic). 91
2.4.2 PROTECCIÓN DE LAS SOLDADURAS DE 550 W. 92
2.4.2.1 Corriente de plena carga (Ipc) 92
2.4.2.2 Conductor del circuito derivado (Id). 92
2.4.2.3 Protección del Circuito Derivado (Ic). 92
2.4.3 TRANSFORMADOR DE SELLADO. 93
2.4.4 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE SELLADO. 93
2.4.4.1 Conductor del circuito alimentador (IaT). 93
2.4.4.2 Protección del circuito alimentador (IbT). 95
2.5 GERMICIDA 95
2.5.1 PROTECCIÓN DEL GERMICIDA 95
2.5.1.1 Corriente de plena carga (Ipc) 95

2.5.1.2 Conductor del circuito derivado (Id). 95
2.5.1.3 Protección del circuito derivado (Ic). 96
2.6 ILUMINACIÓN. 96
2.6.1 PROTECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN. 96
2.6.1.1 Corriente de plena carga (Ipc) 96
2.6.1.2 Conductor del circuito derivado (Id). 96
2.6.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic). 97
2.7 MÓDULOS ELECTRÓNICOS ADICIONALES. 97
2.7.1 TARJETA ELECTRÓNICA PARA MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.. 97
2.7.1.1 Lógica de control de la tarjeta electrónica. 98
2.7.1.2 Corriente de plena carga (Ipc) 100
2.7.1.3 Conductor del circuito derivado (IdT). 101
2.7.1.4 Protección del Circuito Derivado (IcT). 101
2.7.2 MÓDULO ELECTRÓNICO DE CONTROL DE FRENO DEL CUERPO DE ARRASTRE. 101
2.7.3 TARJETA DE CONTROL PARA LA ACTIVACIÓN DEL FRENO DEL CUERPO DE ARRASTRE (TARJETA FCR). 102
2.8 DISPOSITIVO DE PARO DE EMERGENCIA. 103
2.9 OPTOACOPLADORES DE POTENCIA 105
2.10 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC). 106
2.10.1 CARÁCTERÍSTICAS DEL PLC S7-200, CPU 226. 107
2.11 MÓDULOS DE EXPANSIÓN DEL PLC. 110
2.11.1 DISTRIBUCIÓN Y DATOS TÉCNICOS DE LOS MÓDULOS DE AMPLIACIÓN. 111
2.11.2 DISTRIBUCIÓN Y DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS. 114
2.11.3 DISTRIBUCIÓN Y DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS PARA TERMOCUPLAS. 116
2.12 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL. 120
2.12.1 PROTECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL. 121
2.12.1.1 Corriente de plena carga (Ipc) 121
2.12.1.2 Conductor del circuito derivado (Id). 121
2.12.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic). 122
2.13 INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA (HMI). 122
2.13.1 COMUNICACIONES DE LA PANTALLA TÁCTIL 123
2.13.1.1 Comunicación con el sistema de control. 123
2.13.1.2 Comunicación con el medio de programación. 124
2.14 ALIMENTADOR PRINCIPAL 127
2.14.1 CONDUCTOR DEL CIRCUITO ALIMEMTADOR 127
2.14.2 PROTECCIÓN DEL CIRCUITO ALIMENTADOR. 128

CAPITULO 3. 129
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN 129
3.1 INTRODUCCIÓN A STEP 7-MICRO/WIN. 129
3.2 PROGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA ENVSADORA HORIZONTAL VOLPAK S240-DF 131
3.2.1 PROGRAMA PRINCIPAL 132
3.2.2 SUBRUTINA DE INICIALIZACIÓN. 133
3.2.3 CREACIÓN DE BASES DE TIEMPO. 134
3.2.4 SUBRUTINA DE RESET Y SIRENA. 134
3.2.5 SUBRUTINA PARA MENSAJES DE AVISOS. 136
3.2.6 SEGURIDAD DE NIVEL ALTO. 139
3.2.7 SEGURIDAD DE NIVEL BAJO. 140
3.2.8 SUBRUTINA DE DOSIFICACIÓN 141
3.2.9 SUBRUTINA DE CONTROL DE NIVEL. 143
3.2.10 CONTROL DE TEMPERATURA. 144
3.2.10.1 Regulación PID en el PLC S7-200. 144
3.2.10.2 Algoritmo PID 146
3.2.10.2.1 Término proporcional de la ecuación PID. 148
3.2.10.2.2 Término integral de la ecuación PID. 148
3.2.10.2.3 Término diferencial de la ecuación PID. 149
3.2.10.2.4 Selección del tipo de regulación 150
3.2.10.3 Algoritmo para el control de temperatura. 151
3.2.10.3.1 Habilitación de las soldaduras de la máquina. 151
3.2.10.3.2 Pre procesamiento de valores para el algoritmo PID. 152
3.2.10.3.3 Interrupción temporizada para el cálculo del algoritmo PID. 153
3.2.10.3.4 Señal de salida PWM del algoritmo PID. 154
3.2.10.4 Ajustes para la medición de temperatura 155
3.2.10.5 Calibración de los parámetros del controlador PID. 157
3.2.11 VELOCIDAD DEL MOTOR PRINCIPAL. 160
3.2.12 ARRANQUE Y FRENO DEL MOTOR PRINCIPAL 162
3.2.13 SUBRUTINA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR PRINCIPAL. 162
3.2.14 ARRASTRE DE MATERIAL. 163
3.2.15 DESBOBINACIÓN DE MATERIAL. 164
3.2.16 PERFORADOR DE FONDO. 165
3.2.16.1 Corrección del perforador de fondo. 166
3.2.17 INCISIONES SOBRE EL MATERIAL. 167
3.2.18 ALINEACIÓN DEL MATERIAL. 168
3.2.19 CORRECCIÓN DEL ARRASTRE DE MATERIAL. 170
3.2.20 MUESCA DE DESGARRE. 170
3.2.21 ABERTURA DEL SOBRE. 171
3.2.22 REGISTRO DE SOBRE NO ABIERTO. 173

3.2.23 ILUMINACIÓN Y GERMICIDA..... 174
3.2.24 LIMPIEZA DE LA SOLDADURA SUPERIOR. 174
3.2.25 RECHAZO DEL SOBRE NO ABIERTO. 175
3.2.26 MOTOR CINTA DE SALIDA. 175
3.2.27 FUNCIÓN CONTADOR RÁPIDO DEL PLC SIEMENS..... 176
3.2.27.1 Descripción de las operaciones con contadores rápidos. 177
3.2.27.2 Programar un contador rápido. 178
3.2.27.2.1 Definir el contador y el modo. 178
3.2.27.2.2 Ajustar el byte de control 179
3.2.27.2.3 Ajustar los valores actuales y predeterminados..... 180
3.2.27.2.4 Asociar interrupciones 181
3.2.27.2.5 Byte de estado 182
3.2.27.3 Subrutina de inicialización del contador rápido 182
3.2.28 ENVÍO DE VALORES A LOS MÓDULOS DE SALIDA ANALÓGICA..... 183
3.2.29 CARGA DE VALORES PREDEFINIDOS DE LAS LEVAS. 184
3.2.30 SUBRUTINA LEVAS. 185
3.2.30.1 Subrutina de la leva 0 186
3.2.30.2 Subrutina de la leva 1. 187
3.2.31 SUBRUTINA DE DATOS DE PRODUCCIÓN..... 188
3.2.32 SUPERVISIÓN. 190
3.3 INTRODUCCIÓN DEL SOFTWARE WINCC-FLEXIBLE. 190
3.4 PROGRAMA DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA. 191
3.4.1 PLANTILLA. 192
3.4.2 PANTALLA PRINCIPAL 192
3.4.2.1 Configuraciones. 193
3.4.2.1.1 Parámetros PID..... 194
3.4.2.1.2 Sincronismo de levas. 194
3.4.2.1.3 Supervisión. 194
3.4.2.1.4 Temporizadores y contadores..... 194
3.4.2.1.5 Pantalla táctil 194
3.4.2.2 Producción. 194
3.4.2.3 Selección de idioma. 195
3.4.2.4 Historial de avisos. 195
3.4.2.5 Velocidad de motores. 196
3.4.2.6 Vista de usuarios. 196
3.4.2.7 Salir de la HMI. 196
3.4.3 PANTALLA DE DESBOBINACIÓN 196
3.4.4 PANTALLA DE SOLDADURA Y PERFORACIÓN 197
3.4.5 PANTALLA DE DOSIFICACIÓN 197
3.4.6 PANTALLA DE ILUMINACIÓN Y CARRO MÓVIL. 197
3.4.7 ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS. 197

3.4.8 VARIABLES. 198
3.4.9 COMUNICACIÓN HMI PLC. 199
3.4.10 AVISOS DE BIT. 200
3.5 PROGRAMACIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD. 201
3.5.1 AJUSTE DE PARÁMETROS DE VARIADORES. 201
3.5.1.1 Variador MicroMaster 440 del motor principal. 201
3.5.1.2 Variador Sinamics G110 del motor del desbobinador. 208

CAPITULO 4. 210
PRUEBAS Y RESULTADOS. 210
4.1 DESBOBINACIÓN DE MATERIAL 210
4.2 ALINEACIÓN DE MATERIAL 215
4.3 SELLADO DE MATERIAL. 217
4.4 FRENO DEL CUERPO DE ARRASTRE. 219
4.5 DOSIFICACIÓN DE PRODUCTO. 220
4.6 DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ACTIVADO DE LEVAS. 221

CAPITULO 5. 224
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 224
5.1 CONCLUSIONES 224
5.2 RECOMENDACIONES. 227

ANEXOS 228

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 242

RESUMEN

La creación de un sistema de control y visualización para la máquina envasadora horizontal Volpak S-240DF con tecnología actual de controladores lógicos programables fue el motivo de este proyecto de titulación.

La descripción general del proceso permite conocer los componentes de la máquina envasadora y su interrelación en la creación de empaques flexibles dosificados.

El dimensionamiento de dispositivos de protección, corte, maniobra, accionamiento y control para el tablero, permite identificar los equipos necesarios para implementar las funciones de la máquina.

El sistema de control para cubrir los requerimientos de la máquina fue implementado en un controlador lógico programable PLC de Siemens S7-200, CPU 226, por su robustez en ambientes industriales. Y la interfaz hombre máquina HMI se implementó en una pantalla táctil de Siemens TP177 B, para crear un sistema de visualización amigable y funcional para la parte operativa.

Finalmente, se realizan pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de las funciones de la máquina envasadora Volpak.

PRESENTACIÓN

La industria de los empaques flexibles tiene una amplia gama de estaciones, desde la materia prima en una extrusora hasta la salida del empaque dosificado en una cinta de salida.

Las máquinas Volpak toman un área de esta industria, especializándose en crear el empaque, sellarlo, dosificarlo y presentarlo como producto final.

Una de ellas es la máquina envasadora horizontal Volpak S-240DF con funciones de desbobinación, alineación de material, sellado, corte, dosificación, estirado y salida del producto; cada una de ellas sincronizadas con un eje de levas que atraviesa toda la máquina.

Los actuales controladores lógicos programables PLC, incluyen varias funciones de control, operaciones de aritmética en coma flotante, manejo de contadores rápidos, reguladores PID, altas velocidades de procesamiento, alta capacidad de almacenamiento de programa de usuario; características que dentro del ámbito industrial son muy necesarias.

El PLC Siemens de la gama S7-200, cumple con los requerimiento necesarios para implementar el sistema de control de este tipo de máquinas envasadoras.

Un sistema de visualización, donde los pulsantes son historia, hacen de la pantalla táctil de Siemens, una opción muy funcional para el grupo de operación de la máquina.

Una nueva gama de equipos en el área de automatización contribuyen a optimizar las capacidades instaladas de las industrias y mejorar el manejo operativo de las mismas

CAPITULO 1.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

1.1 ANTECEDENTES DE LA MARCA VOLPAK.

Volpak es una de las empresas del sector de maquinaria para envasado y embalaje con mayor implantación internacional. Está especializada en el diseño y fabricación de máquinas confeccionadoras y envasadoras de empaques flexibles, máquinas estuchadoras y encajadoras, con capacidad para realizar procesos automatizados integrales de envasado.

Una de las características del envase flexible es la gran variedad de presentaciones y diseños que se pueden realizar. Esta empresa presenta varias líneas de producción de envases y empaques flexibles, como lo muestran la Figura 1-1 y Figura 1-2.

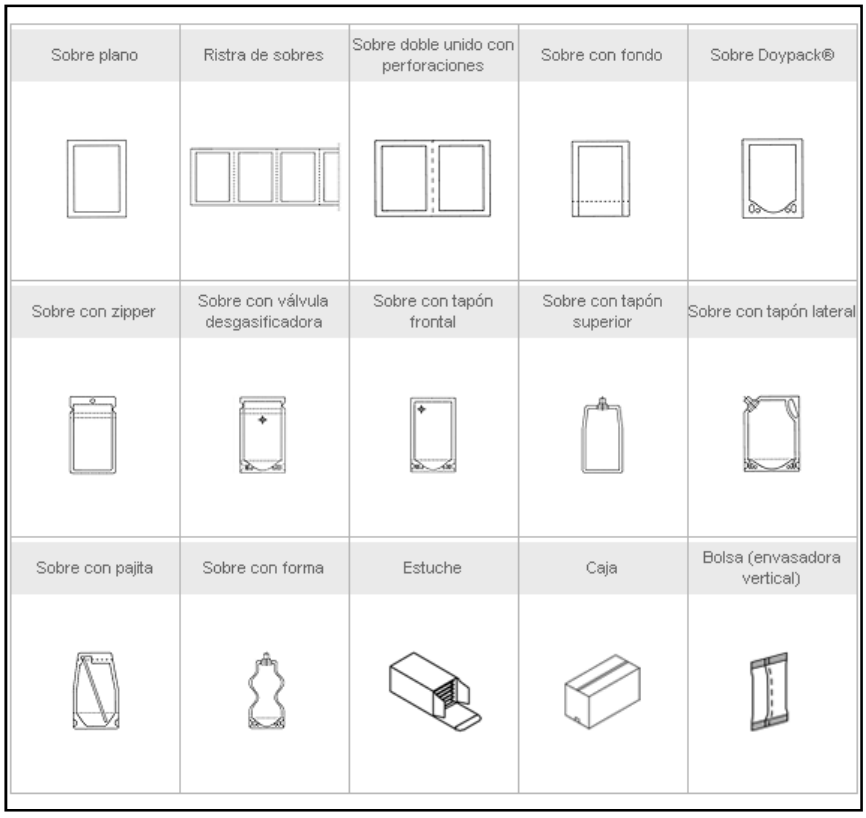


Figura 1-1: *Tipos de empaques flexibles de la empresa Volpak.*

Esta compañía comercializa una alta gama de envases con diferentes características para varias industrias, como por ejemplo: alimenticia, farmacéutica, química y cosmética.

INDUSTRIA ALIMENTICIA

Bebidas

INDUSTRIA FARMACÉUTICA

Polvo farmacéutico

INDUSTRIA QUÍMICA

Detergente líquido y productos para el hogar

INDUSTRIA COSMÉTICA

Cuidado personal

Figura 1-2: *Tipos de envases de la empresa Volpak.*

1.2 TIPOS DE MÁQUINAS VOLPAK.

Dentro de cada línea de producción existe un tipo de máquina especializada para llevar a cabo ese proceso. A continuación se lista algunos tipos de máquinas de la empresa Volpak.

- Envasadoras horizontales.
- Línea de envasadoras higiénicas.

- Envasadoras verticales.
- Estuchadoras y encajadoras.
- Líneas completas.

1.2.1 ENVASADORAS HORIZONTALES

Las máquinas envasadoras horizontales están diseñadas para una gran variedad de sobres y aplicaciones para la industria alimenticia, farmacéutica, química y cosmética.

Están especializadas en crear sobres planos de tamaño pequeño y mediano con producciones de 60 hasta 360 sobres / minuto.

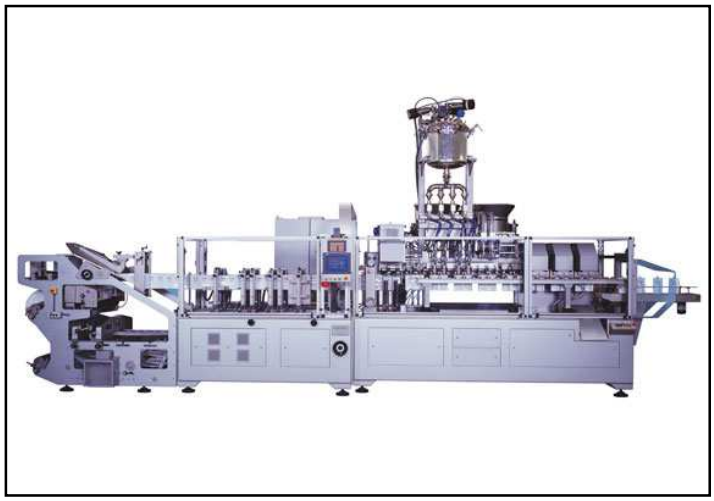


Figura 1-3: *Máquina envasadora horizontal.*

1.2.2 LÍNEA DE ENVASADORAS HIGIÉNICAS

Volpak ha desarrollado equipos Wash Down, Ultraclean y Asépticos, basados en un diseño higiénico de acero inoxidable con la capacidad de ser lavadas con manguera y la posibilidad de descontaminar el material con rayos UV alcanzando altos niveles de limpieza o bien eliminando impurezas del envase a partir de peróxido vaporizado.

Figura 1-4: *Máquina envasadora higiénica.*

1.2.3 ENVASADORAS VERTICALES

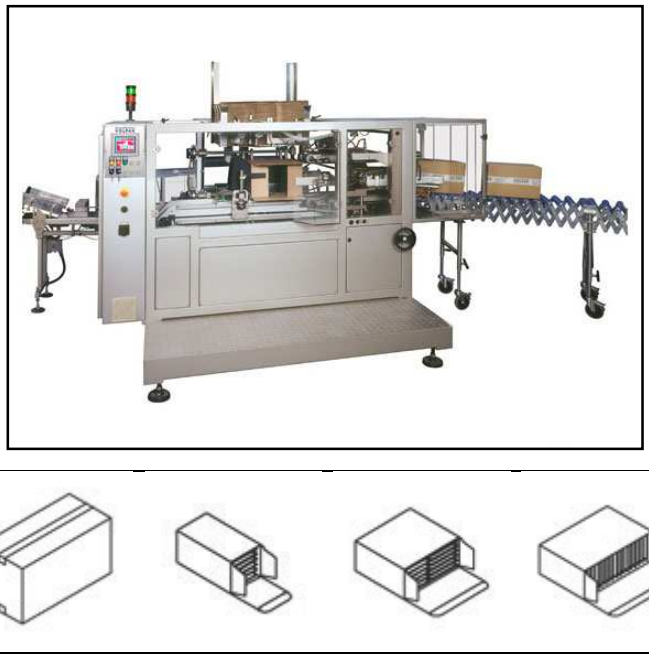
Las envasadoras verticales se caracterizan por su simplicidad. Estas máquinas presentan características de ciclo flexible y variable, permitiendo optimizar todas y cada una de sus funciones según las características del material, del producto y de las condiciones ambientales con que tengan que operar, ofreciendo siempre óptimos resultados. Todo ello con gran facilidad de uso y mantenimiento.

Figura 1-5: *Máquina envasadora vertical.*

1.2.4 ESTUCHADORAS Y ENCAJADORAS

La línea de estuchadoras y de encajadoras está desarrollada para la manipulación, agrupación y tratamiento de envases flexibles.

Las máquinas encajadoras de carga lateral son de diseño compacto, son ideales para el encajado automático de productos rígidos tipo estuche y la automatización del final de la línea de envasado.



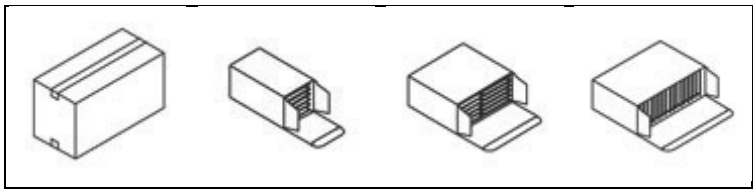


Figura 1-6: *Máquina encajadora.*

1.2.5 LÍNEAS COMPLETAS

Volpak posee líneas integrales de envasado, estuchado y encajado ya sea con equipo de fabricación propia o bien integrando tecnología de varios fabricantes.

Para instalaciones de farmacia Volpak dispone de una línea completa estandarizada donde partiendo de dos envasadoras de sobres cuádruples con una producción total de 36.000 sobres/hora, los sobres son agrupados en estuches de 20 unidades incorporando dispensador de folleto y sistemas de control por visión.

1.3 ENVASADORA HORIZONTAL VOLPAK S-240DF.

La empresa EasyPack Cia. Ltda. adquirió la máquina Volpak S-240DF. Ésta no poseía el tablero de control que permita proteger, visualizar, accionar y controlar el proceso de esta máquina.

La envasadora horizontal Volpak S-240DF es entonces la máquina sobre la cual se desarrollará este proyecto de titulación, describiéndola e implementando el sistema de control para la misma. Los sensores y actuadores que serán utilizados para este propósito, son propios de la envasadora.

Como ya se mencionó, la máquina pertenece a la línea de envasadoras horizontales, cuenta también con un diseño abierto (modular) y de fácil acceso a todos los mecanismos, de sencillo manejo y bajo costo de mantenimiento.

Esta máquina está especializada principalmente para satisfacer necesidades de la industria de bebidas, como zumos, bebidas isotónicas, etc. Es capaz de confeccionar sobres tipo stand up con pajilla, con tapones frontales, laterales o bien centrados en la soldadura superior. Además, la S-240DF está preparada para realizar sobres con distintas formas personalizadas según preferencias del cliente.

Dispone de 4 estaciones de dosificado, permitiendo incorporar dosificadores distintos para sobres con multi componentes en su interior o también aprovechar las mismas para poder dividir la dosis, optimizando la producción de la máquina.

Algunas características técnicas de esta máquina son:

- Mecánica interna aislada y protegida.
- Sistema continuo de desbobinado con frenado neumático.
- Mordazas de sellado vertical ajustables e independientes.
- Arrastre de material por brazo mecánico.
- Tijeras de fácil ajuste para mantenimiento y rápido cambio de formato.
- Doble sistema combinado de apertura de sobre.

- Máxima protección interna del carro móvil.
- Ajuste mecánico del estirado estático del sobre.
- Triángulo formador de papel.
- Regulación de perforadores de fondo.
- Alineador de banda directo.
- Detección de marcas de impresión.

Los accesorios para la confección de sobres son:

- Aplicador de pajillas.
- Muescas de desgarre para fácil apertura del sobre.
- Incisiones mecánicas.
- Germicida.
- Cinta de salida agrupadora de sobres.

Figura 1-7: *Envasadora horizontal Volpak S-240DF.*

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones que da el fabricante de este tipo de máquinas envasadoras:

Tabla 1-1: *Especificaciones técnicas de la envasadora Volpak S-240DF.*

Especificaciones Técnicas		MODELO: S-240 DF	
		SIMPLE	DOBLE
FORMATO DEL SOBRE (A, H, F)	MIN. (mm.)	70 x 70 x 25	50 x 70 x 25
	MAX. (mm.)	240 x 240 x 80	120 x 240 x 80
VOLUMEN (con fondo)	MAX. (cc.)	2000	500
VELOCIDAD (sobres/min)	Hasta	80	160
MATERIAL DE ENVASE		Termo sellable	
DIAM. BOBINA (mm.)	DIAM. MAX	600	
	ANCHO MAX.	745	
	DIAM. NÚCLEO	70 / 72 – 150 / 152	
DATOS ELÉCTRICOS		220 V @ 60 Hz	
NIVEL SONORO		Inferior a 70 dB	
MEDIDAS DE LA MÁQUINA	(mm.; L x A x H)	4850 x 1650 x 1800	
PESO NETO	Kg. (aprox)	5800	

1.3.1 COMPONENTES DE LA ENVASADORA HORIZONTAL VOLPAK S-240 DF

El fabricante prepara la máquina para el formato, material de envoltura y producto que el cliente haya indicado para la misma. Si se desea realizar un cambio de formato del sobre, la versatilidad del diseño de la máquina, lo permite, siempre y cuando, las regulaciones se encuentren dentro de las especificaciones técnicas de la misma.

A continuación se lista y se describen las partes que conforman la máquina. En el Anexo Nº 1 se presenta una visión global de la misma, donde se localizan cada una de las siguientes partes:

Tabla 1-2: *Componentes de la máquina envasadora Volpak S-240DF.*

POSICIÓN	DENOMINACIÓN
1	Bancada y tapas.
2	Cofre Eléctrico.
3	Grupo motriz.
4	Compensador mordazas.
5	Punto de engrasado.
6	Bomba de vacío (venturi).
7	Desenrollador.
8	Perforador de fondo.
9	Triángulo formador.
10	Alineador de la banda.
11	Dispositivo germicida.
12	Guías de papel.
13	Fotocélula.
14	Mordazas independientes. Soldaduras inferiores.
14.1	Corrección mordazas inferiores.
15	Mordazas independientes. Soldaduras verticales.
15.1	Corrección mordazas verticales.
16	Mordaza vertical independiente refrigeradora.
17	Muesca de desgarre.
18	Arrastre de material.
19	Tijeras.
20	Cambio de línea.
21	Carro pinzas fijas.
22	Carro pinzas móviles.
23	Accionamiento ventosas abertura de sobre.
23.1	Soplador sobre en ventosas.
24	Ventosas abertura fondo sobre.
25	Accionamiento boquillas.
26	Accionamiento estirado estático.

Tabla 1-2: *Continuación.*

POSICIÓN	DENOMINACIÓN
27	Mordaza soldadura superior.
28	Mordaza superior refrigeradora.
29	Expulsor sobre.
30	Cinta de salida.
31	Armario eléctrico independiente.

1.3.1.1 Bancada y tapas.

La estructura metálica que va a dar soporte a las soldaduras, el brazo de arrastre, tijeras, las estaciones de dosificado y pinzas de estirado se llama bancada.

Además, esta estructura está diseñada para proteger y acceder fácilmente a las partes mecánicas como son el eje de levas, el motor principal, los puntos de engrasado, etc., ya que cuenta con espacios abiertos como ventanas, las mismas que son recubiertas con tapas. Cuenta también con iluminación activada desde la pantalla táctil, para que la inspección y el mantenimiento se realicen dentro de un ambiente más visible.

Figura 1-8: *Bancada y tapas.*

1.3.1.2 Cofre eléctrico.

Este grupo está formado por los elementos de mando de la máquina, es decir, aquí se encuentran los pulsantes de marcha, paro, reset y paro de emergencia.

En este cofre se encuentra también la opción de trabajar con la función Jog de la máquina, la misma que permite el accionamiento de ésta por periodos de tiempo, una vez que se oprime el pulsante que se conecta a este punto. Esto permite al operador, el poder abordar a la máquina desde cualquier lugar e inspeccionarla detenidamente por periodos de ciclo de proceso.

Existe otro punto de elementos de mando, debajo de la pantalla táctil, aquí se replican los botones de marcha, paro, reset y paro de emergencia, permitiendo con ello que el operador tenga facilidad de manejo de los mismos, también desde la interfaz gráfica.

Por seguridad, la máquina cuenta con un paro de emergencia adicional en el área de desbobinado, logrando de esta manera proteger todas las secciones de la misma.

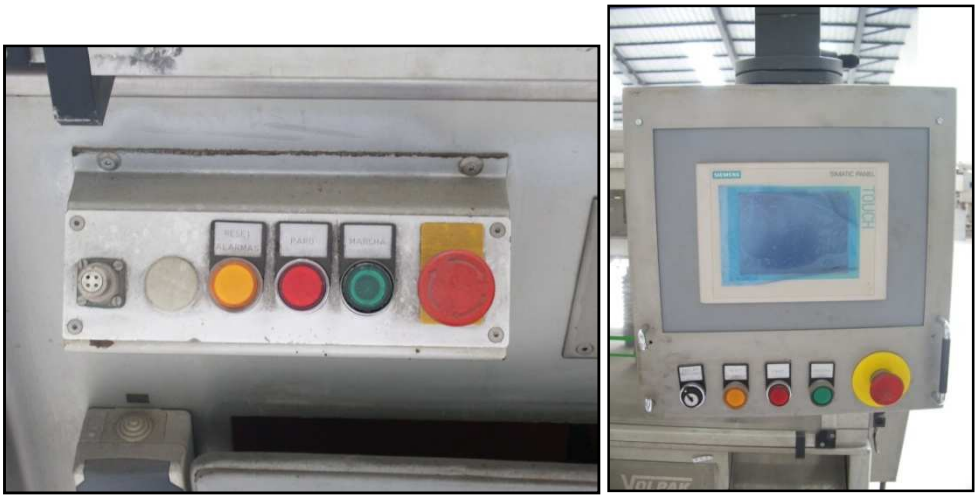
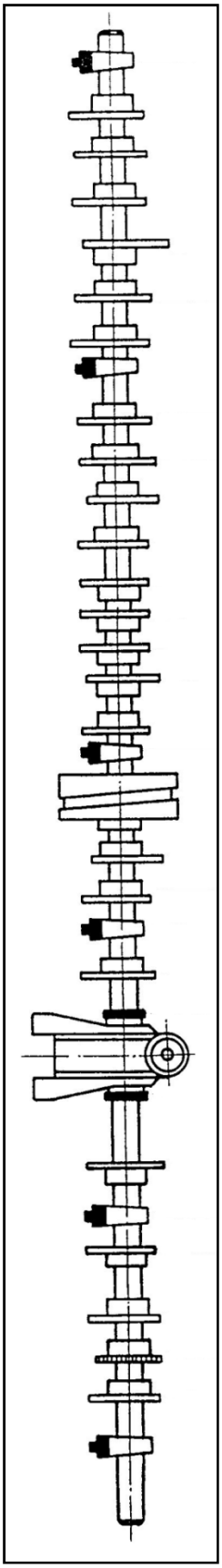


Figura 1-9: *Cofre eléctrico.*

1.3.1.3 Grupo motriz.

Este grupo está formado por el motor principal, variador de velocidad, volante de accionamiento manual, reductor y eje principal de levas. Este es el grupo motriz principal de la máquina desde donde parten todos los accionamientos por medio del eje principal de levas. A continuación se muestra el gráfico de distribución de levas sobre el eje principal:



SOPORTE
REFRIGERACIÓN SOLDADURA SUPERIOR
2ª SOLDADURA
PINZAS MÓVILES
1ª SOLDADURA
PINZAS FIJAS
ESTIRADO ESTÁTICO
SOPORTE
3ª Y 4ª BOQUILLA DOSIFICADORA
1ª Y 2ª BOQUILLA
PINZAS FIJAS
PINZAS MÓVILES
VENTOSAS FONDO
PINZA VENTOSAS
VENTOSAS SOBRE
CAMBIO DE LÍNEA
TIJERAS
SOPORTE
ARRASTRE CARRO
ARRASTRE PAPEL
PINZA ARRASTRE
SOPORTE
REFRIGERACIÓN SOLDADURA VERTICAL
GRILLÓN
GRILLÓN
SOLDADURA VERTICAL
SOPORTE
COMPENSADOR MORDAZAS
2ª SOLDADURA INFERIOR
RUEDA DENTADA + ENCODER
1ª SOLDADURA INFERIOR
SOPORTE
EJE MOTRIZ

VISTA FRONTAL DE LA MÁQUINA

Figura 1-10: *Distribución de levas en el eje principal.*

Como se mencionó anteriormente, la máquina sale preparada de fábrica, es por eso que la regulación y puesta a punto de todas las levas está ya realizada.

Sin embargo, se pueden realizar ajustes de levas debido a que éstas no están fijadas al eje rígidamente, bastará para ello aflojar los tornillos de fijación y desplazar radialmente la leva hacia delante o hacia atrás para adelantar o atrasar los movimientos de las diferentes partes de la máquina.

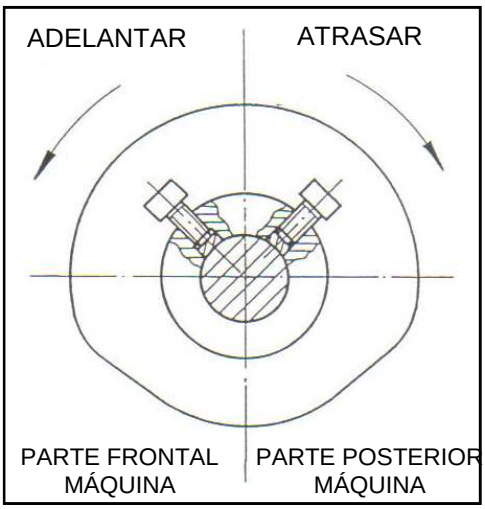


Figura 1-11: *Regulación de levas en el eje principal.*

Dentro de este grupo se encuentra el volante de accionamiento manual que permite la comprobación de todos los movimientos de la máquina y su puesta a punto, el mismo que será accionado por el operador siguiendo el sentido que se muestra en la bancada. Dicho volante está situado en la parte delantera de la máquina.

Figura 1-12: *Volante manual de accionamiento.*

1.3.1.4 Compensador mordazas.

Es un sistema conformado por un muelle (resorte), que permite modificar la presión del sellado de las mordazas de la soldadura vertical.

Normalmente el resorte está comprimido, y el momento de actuar la leva de la soldadura vertical, este resorte se expande, consiguiendo un aumento o disminución de la presión, según la compresión del mismo.

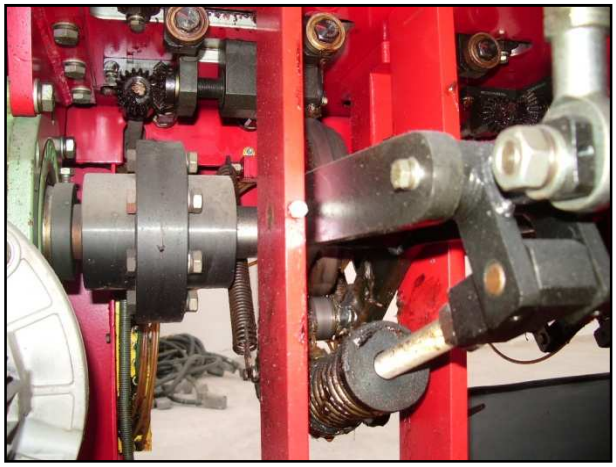


Figura 1-13: *Compensador mordazas.*

1.3.1.5 Punto de engrasado.

Este grupo se refiere a los puntos de lubricación de las partes móviles más importantes de la máquina, la misma que sale de fábrica con una aplicación de aceite especial anti-oxidante en todos sus mecanismos, formando una película de protección, especialmente pensada para evitar la oxidación de algunas partes de la máquina durante su transporte, sobre todo en ambientes marinos. La mayoría de los mecanismos de la máquina no necesitan de engrase por estar provistos de cojinetes auto lubricados.

El fabricante recomienda aplicar el siguiente tipo de grasa.

Tabla 1-3: *Tipo de grasa para aplicar a la máquina envasadora.*

TIPO DE GRASA	PERIODO DE ENGRASE	EQUIVALENCIA		
	(horas)	*ESSO*	*SHELL*	*MOBIL - OIL*
Grasa KRAFFT (grasa lítica) KL – SNR – IL o equivalente	200	Beacon 2	Shell Alvania R2	Mobilpex 47

Figura 1-14: *Punto de engrase.*

1.3.1.6 Bomba de vacío (venturi).

Este grupo consta la bomba de vacío PIAB MLD 25, encargada de la apertura del sobre, que junto al sistema de ventosas, superior e inferior, logra realizar su función adecuadamente.

Figura 1-15: *Bomba de vacío PIAB MILD 25.*

Este tipo de bomba está diseñada para trabajar con aire comprimido. Posee características de un buen rendimiento a bajos niveles de presión de alimentación y su diseño soporta un alto caudal de vacío, lo cual es recomendable cuando se manejan materiales porosos, obteniendo así una buena adhesión en las ventosas, para que la abertura del sobre sea la más óptima.

1.3.1.6.1 Principio de Funcionamiento de las Bombas de vacío PIAB.

Las bombas de vacío PIAB, son bombas accionadas por aire comprimido. Su construcción, permite el máximo aprovechamiento del aire comprimido consumiendo menos energía.

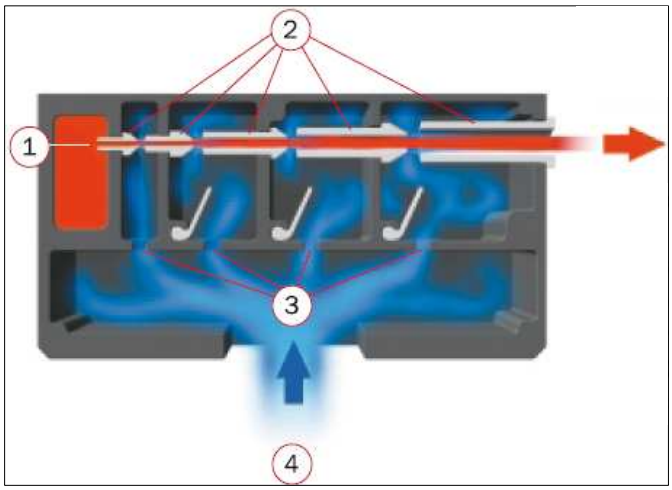


Figura 1-16: *Principio de funcionamiento de la bomba de vacío PIAB.*

Cuando el aire comprimido (1) pasa a través de las toberas (2), el aire existente en la zona es inducido por la corriente de aire comprimido. Un efecto de succión se crea en las aberturas de las diferentes etapas (3) y como resultado se genera una depresión o “vacío” (4).

1.3.1.7 Desenrollador.

También llamado desbobinador. Este grupo es el encargado de soportar las bobinas del material de entrada y desenrollarlo.

En la Figura 1-17 se muestra el grupo desbobinador y el recorrido que se debe seguir para el material de empaque.

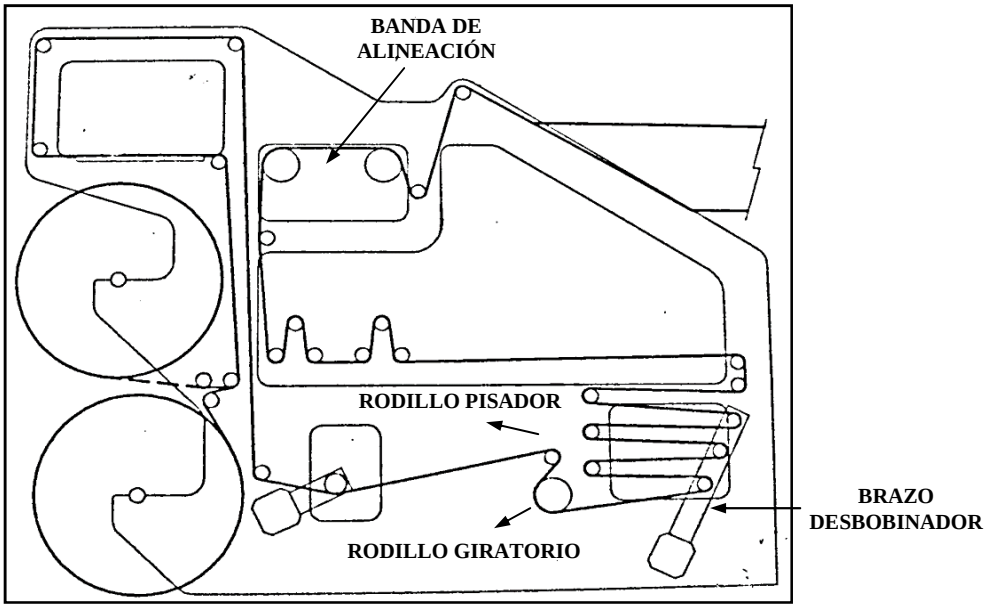


Figura 1-17: *Grupo desbobinador y recorrido del material de empaque.*

Para lograrlo cuenta con dos rodillos, un rodillo pisador y un rodillo giratorio cuyo eje está acoplado a un motor, el mismo que está accionado por un variador de velocidad. El material atraviesa entre ellos y desenrolla material de la bobina, siempre y cuando la superficie del rodillo pisador esté en contacto con el rodillo giratorio.

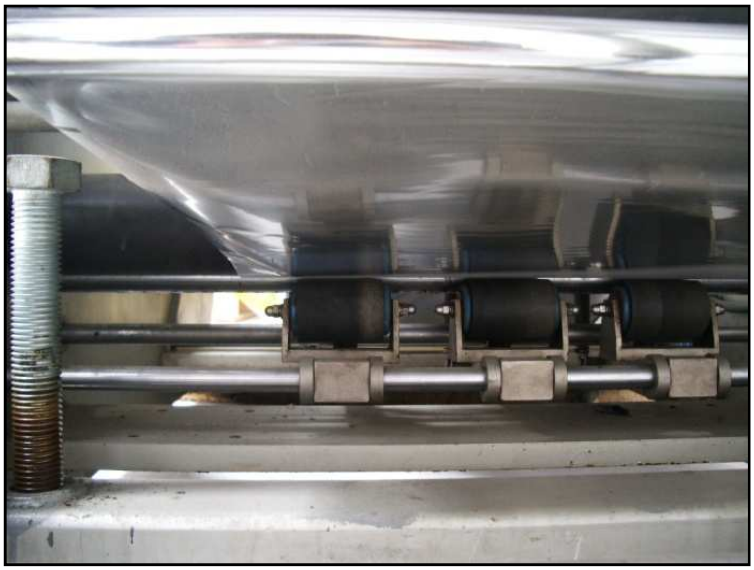


Figura 1-18: *Rodillo giratorio (superior) y rodillos pisadores (inferior).*

Este grupo posee una estructura a la cual se denominará brazo desbobinador, debido a la forma que toma el momento de operar la máquina. Este brazo tiene tres rodillos giratorios libres sobre los cuales atraviesa el material de empaque. A esta estructura está acoplado un pistón neumático de doble efecto, para generar tensión el momento de arrastre del material. Esta tensión puede ser controlada mediante un regulador de presión ubicado en la parte posterior de la máquina, que dosifica la cantidad de presión de aire que ingresa a uno de los racores del pistón.

El momento del arrastre de material, el brazo desbobinador desplaza el pistón, el mismo que comprime el aire que ingresa por el racor mencionado anteriormente, generando de esta manera tensión en el desplazamiento del material.

El otro racor del cilindro queda libre, con la finalidad de que el pistón pueda regresar a su posición original sin ninguna obstrucción.

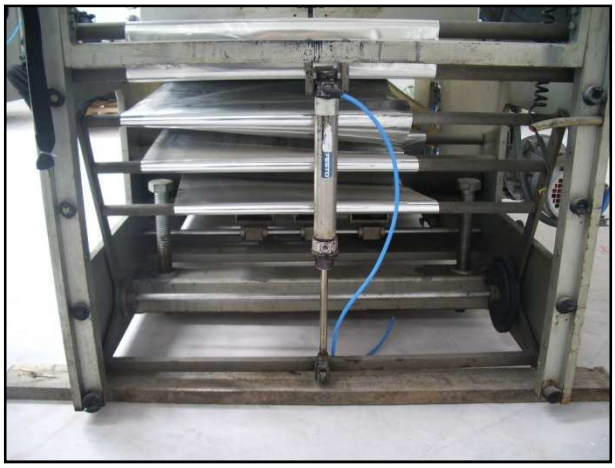


Figura 1-19: *Brazo desbobinador.*

Un freno de zapatas accionado neumáticamente detiene la salida del material de la bobina que el desbobinador y el arrastre de material ocasionan. La presión de las zapatas es regulada mediante extranguladores de aire ubicado en los cilindros del freno.

Figura 1-20: *Sistema de zapatas accionado neumáticamente.*

La máquina puede soportar dos bobinas al mismo tiempo de forma que cuando la primera se termina, un detector capacitivo informa el fin de la bobina y para la máquina.

Con esto, el operador fácilmente podrá unir el material de la bobina que se terminó con el material de la nueva bobina, siguiendo el paso de material indicado en la placa lateral de la máquina.

Este grupo posee dos pisadores en la parte superior, derecho e izquierdo, los mismos que permiten sostener al nuevo material y al material antiguo para poder unirlos mediante una cinta adhesiva.

1.3.1.8 Perforador de fondo.

El perforador de fondo es el grupo cuya misión es efectuar dos perforaciones en la parte inferior del sobre, dando estabilidad al mismo.

En el plegado, las perforaciones quedan encaradas permitiendo de esta manera la fusión del polietileno con las caras interiores del sobre al llegar a la estación de soldadura.

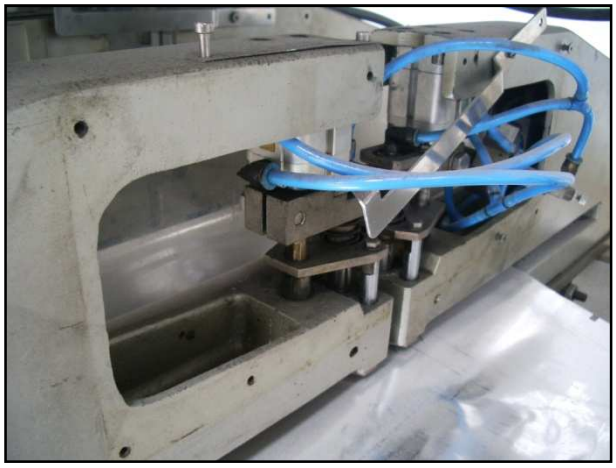


Figura 1-21: *Perforador de fondo.*

La Figura 1-22 ilustra el troquelado que realiza este grupo en el material.

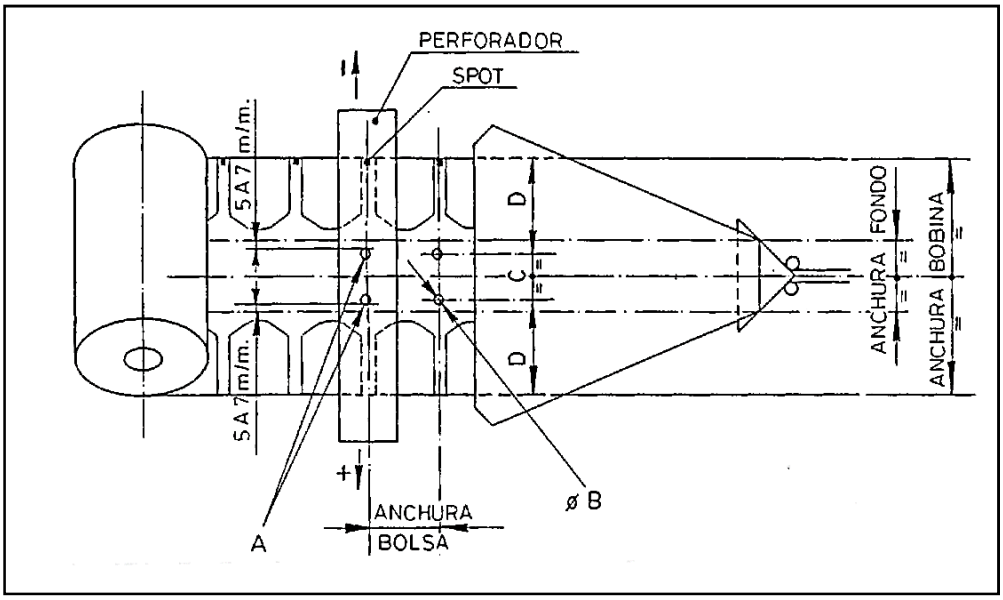


Figura 1-22: *Troquelado del perforador de fondo.*

Donde:

C: distancia entre centros.

A: agujeros del perforador

A medida que se van realizando sobres, puede suceder que las perforaciones se van descentrando con respecto a su impresión, a pesar de que previamente se haya regulado el perforador en anchura, esto se debe a errores de impresión. Para

poder corregir este pequeño descentramiento existe un rodillo compensador, el cual actúa en forma manual o automático; manual, mediante un selector y automático, mediante la señal emitida por un sensor de marcas ubicado en esta área; con el fin desplazar el material de la bobina en sentido longitudinal hasta que la impresión del sobre vuelva a centrarse con el centro de los punzones.

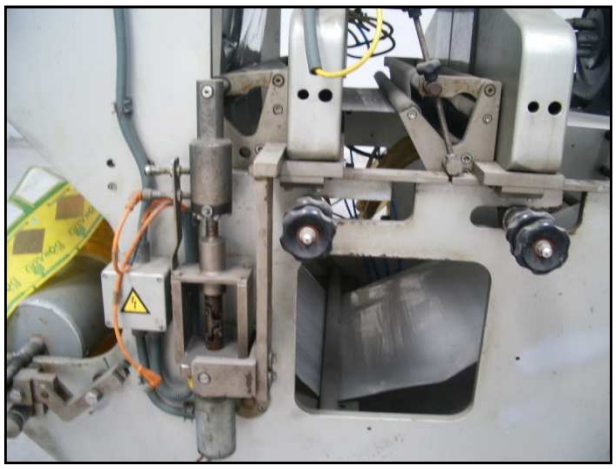


Figura 1-23: *Sistema de compensación del perforador de fondo.*

El desplazamiento longitudinal se realiza por el movimiento del eje del rodillo compensador mediante el accionamiento de un cilindro, acoplado en el extremo inferior; un tornillo sin fin lo hace ascender o descender para que el rodillo compensador cumpla su función. El tornillo sin fin es movido por un motor de corriente continua accionado por un sistema de control, el sistema cuenta con limitadores de máximo superior y mínimo inferior, para proteger al motor DC. Esta función de compensación se la puede activar o desactivar desde la pantalla táctil.

La Volpak S-240DF presenta dos grupos de perforadores independientes, que pueden ser activados indistinta o conjuntamente desde la interfaz gráfica, esto dependerá del formato que tenga el material a usar.

1.3.1.9 Triángulo formador.

El triángulo formador es el responsable de la variación de la altura del sobre y la variación de la anchura del fondo del mismo.

Para la variación de la altura del sobre la máquina cuenta con un volante ubicado en esta sección, así, al girar a la izquierda o a la derecha bajaremos o subiremos, respectivamente, el triángulo hasta conseguir la altura de formato deseada.

Figura 1-24: *Triángulo formador.*

Para la variación de la anchura del fondo, este grupo cuenta con una pieza que es intercambiable y que se fabrica a medida de cada fondo.

Figura 1-25: *Pieza del triangulo formador para variar el ancho del fondo.*

1.3.1.9.1 Formador de fondo

El formador de fondo o punta formadora es el encargado en crear el fondo del sobre para dividir en dos partes iguales la anchura del fondo. Para lo cual, el grupo cuenta con manillas que permiten realizar movimientos longitudinales y verticales, con la finalidad de acercar la punta formadora a la pieza que da la medida del fondo del sobre, para que la distancia que corresponde a la medida del fondo del sobre coincida en ambas piezas, dejando una separación entre las mismas de 1 mm.

Figura 1-26: *Formador de fondo o punta formadora.*

El formador de fondo, cuenta con una regulación de desplazamiento lateral, que no es de cambio continuo, ya que una vez regulado no debería variar, porque puede provocar que a no ser por causas fortuitas, como se aprecia en la Figura 1-27.

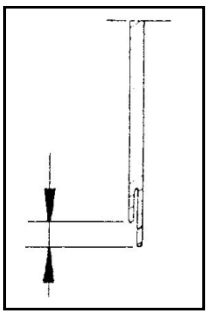


Figura 1-27: *Variación del fondo del sobre.*

En esta figura se observa un plegado deficiente del fondo.

1.3.1.10 Alineador de la banda.

Este grupo como su nombre lo indica es el encargado de mantener la banda de alineación, centrada, la misma que guía el material al siguiente grupo que es el triángulo formador. Cuenta con un selector que permite una alineación manual.

El alineador de la banda puede trabajar en modo automático, opción que puede ser activada o desactivada desde el HMI. Dos sensores detectan la presencia del material sin tener contacto alguno con él y emiten señales para que el sistema de control corrija automáticamente la banda evitando desajustes en la formación de sobres.

Figura 1-28: *Alineador de la banda.*

1.3.1.11 Dispositivo germicida.

El germicida es dispositivo que permite eliminar gérmenes presentes en la atmósfera o en el material del empaque flexible, cuyo principio de funcionamiento es la emisión de luz ultravioleta C (UV C).

Las lámparas germicidas de onda corta, con presión de mercurio, producen longitudes de onda ultravioletas. Aproximadamente el 95% de la energía ultravioleta emitida por las lámparas germicidas está en la línea de resonancia de mercurio de 254 nanómetros. Esta longitud de onda está en la región de efectividad germicida máxima contra virus, bacterias, esporas de hongos y microorganismos superiores, alterando el ADN y evitando así su reproducción.

La tecnología del uso de la luz ultravioleta es una desinfección no contaminante, porque no se está usando químicos, este método de desinfección es un proceso simple, barato y requiere un mantenimiento muy bajo.

Figura 1-29: *Lámpara germicida.*

Esta máquina cuenta con cuatro fluorescentes germicidas de vidrio de 15W, tamaño T8, libre de ozono, del fabricante Sylvania, las mismas que se pueden activar o desactivar desde la interfaz gráfica.

Algunas características principales de estas fluorescentes se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 1-4: *Características de la lámpara germicida.*

CÓDIGO	VATIOS	TAMAÑO	BASE
G1578	15	T8	G13
ANSI	**VIDA ÚTIL**	**SALIDA UV**	**ARRANCADOR**
ESPEC. No.	**(Hrs)**	**(W)**	
C78.81-2003	8000	4.9	FS-2

1.3.1.12 Guías de papel.

Este grupo es el encargado de dar un camino al material para la formación de los empaques flexibles. Cuenta con una regulación siempre y cuando el sobre cambie de formato en altura.

Figura 1-30: *Guías de papel.*

1.3.1.13 Fotocélula.

Este grupo es un sensor de contraste NT6 de la marca Sick, que es necesario en el caso de trabajar con material de envoltura con impresión publicitaria en su parte exterior.

Su trabajo consiste en el centrado de dicha impresión publicitaria (marcas, spots, o comúnmente llamados tacas), convenientemente impresa en cada unidad de sobre o paso de arrastre del material de envoltura. En el caso de que no exista impresión o que ésta sea continua se podrá desactivar este sensor a través de la pantalla táctil.

Este sensor cuenta con tornillos que permiten una regulación longitudinal y vertical del mismo, siempre y cuando exista un cambio de formato del sobre en anchura y ocasionalmente en altura.

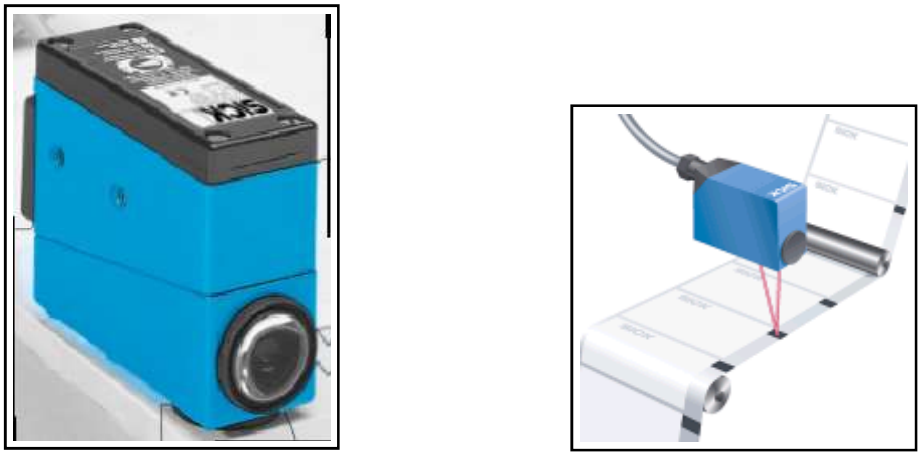


Figura 1-31: *Sensor de contraste NT6.*

1.3.1.13.1 Principio de funcionamiento del sensor.

El NT6 es un detector de marcas impresas de alta velocidad y componentes de estado sólido diseñado con dos emisores luminosos elegibles por selector, rojo y verde. Este sensor detecta las marcas impresas identificando el contraste entre una marca y su fondo. La superficie del material explorado puede ser áspera, lisa o reflectante; el material puede ser papel, plástico o metal.

El emisor proyecta sobre la superficie del material un punto luminoso, la superficie tiene marcas impresas que aparecen con distintos contrastes delante de dicho punto. Las marcas claras reflejan más luz que las oscuras.

El receptor mide la luz recibida y la transforma en una tensión proporcional, que aparece como control en la salida analógica. Esta salida analógica se compara internamente con un umbral ajustable. El ajuste se realiza de acuerdo con las luminosidades de las marcas y del fondo, quedando almacenado el color más claro. Dependiendo de la comparación, el sensor emite señales digitales de alto o bajo (conmutación con luz o con oscuridad).

El receptor reconoce los colores como diferentes intensidades de gris. Para aumentar el contraste entre colores de intensidades de gris semejantes, puede seleccionarse la emisión de luz roja o verde para observar cual proporciona el mayor contraste.

1.3.1.14 Mordazas independientes. Soldaduras inferiores. Soldaduras verticales. Refrigerador.

En la estación de sellado existen dos tipos de soldaduras, las inferiores y las verticales, cada una con su respectiva mordaza. Al presionar la soldadura a una temperatura controlada, se calienta el polímero del material termosellable, permitiendo una fusión entre las caras internas del material consiguiendo la forma de empaque.

Dependiendo de la soldadura y la mordaza, va a generar la forma del envase, así, si son las inferiores, va a permitir que el material se selle por la parte baja; si son las verticales, va a permitir que el material se selle lateralmente.

Cada mordaza es de acero inoxidable y se encuentra recubierta con teflón, un material que soporta altas temperaturas y evita que no exista un contacto directo con el material del empaque para no transmitir imperfecciones al mismo, el momento del sellado.

Se pueden mandar a fabricar de la forma que se desee dar al envase.
La máquina cuenta con dos soldaduras inferiores, una delantera y una trasera y cuatro soldaduras verticales.

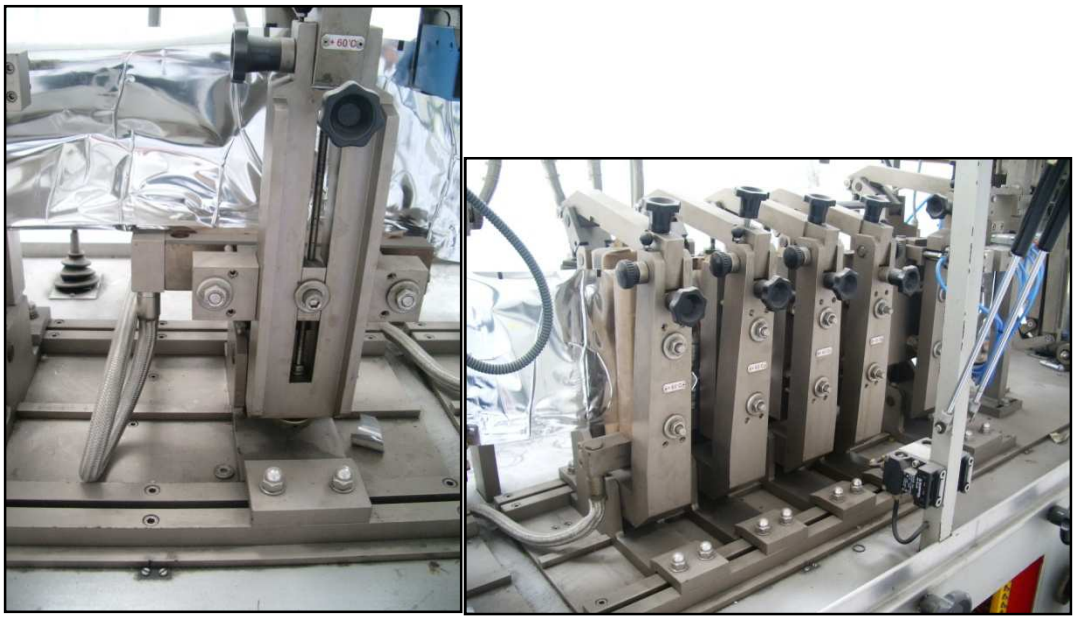


Figura 1-32: *Soldaduras inferior (izquierda) y soldaduras verticales (derecha).*

Por otro lado, luego de las soldaduras verticales existe un par de mordazas refrigeradoras vertical que cumple la función de enfriar al material para que no aparezcan arrugas para las siguientes estaciones.

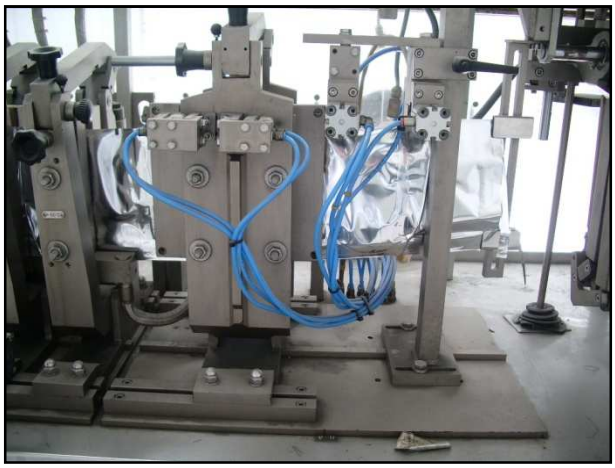


Figura 1-33: *Mordaza refrigeradora vertical.*

1.3.1.14.1 Corrección mordazas inferiores, verticales, refrigeradora

Las mordazas inferior, vertical y refrigeradora presentan una corrección, únicamente cuando el formato del material a trabajar ha cambiado en anchura.

Para tal efecto, cada soldadura cuenta con una regleta de visualización y un volante que permite mover la placa de la soldadura hasta conseguir la corrección requerida.

1.3.1.15 Muesca de desgarre neumática.

Uno de los accesorios de esta máquina para configurar el sobre es este grupo, formada por la muesca de desgarre neumática. Tiene la misión de efectuar un corte superior en el empaque flexible para facilitar su abertura. Dicho corte lo efectúa una cuchilla ubicada al final del vástago del pistón neumático y actúa sincronizadamente con el eje principal de levas. Esta opción se la puede activar o desactivar desde la interfaz gráfica.

Este grupo no trabaja independiente, sino que está montado en el grupo de la mordaza vertical refrigeradora, lo cual se debe considerar para su regulación.

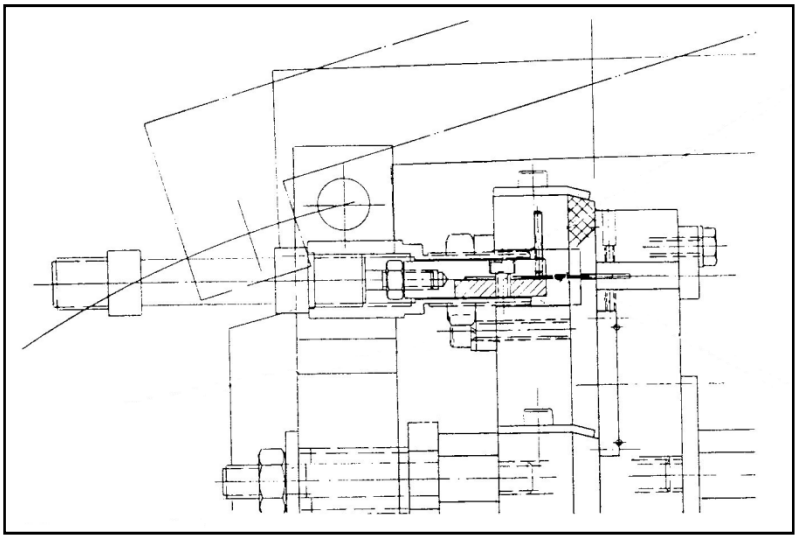


Figura 1-34: *Muesca de desgarre neumática.*

1.3.1.16 Arrastre de material.

Este grupo es el encargado de alimentar el film a las tijeras, y es el que marca exactamente el formato en anchura, del empaque. Consta de:

1. ***Cuerpo de arrastre***. Este cuerpo se divide en algunas partes:
Cuerpo fijo posterior y pinza móvil delantera. La pinza delantera móvil dispone de un mecanismo de abertura manual, para cuando sea necesario pasar papel, ya sea por rotura, por cambio de formato, o simplemente por cambio de bobina. La abertura de dicha pinza se efectúa a través de una manilla, la cual situada en la posición superior, deja libre la pinza para que la máquina pueda trabajar normalmente. Girando la manilla 90° hacia abajo, la pinza delantera móvil, se abre, aunque el cuerpo del arrastre esté en cualquier posición. Si por descuido se pusiera en marcha la máquina y la manilla no hubiera sido retornada a su posición original, no sucedería absolutamente nada, sino que la pinza siempre estaría abierta y no efectuaría el arrastre del film.

Figura 1-35: *Cuerpo de arrastre de material*

2. ***Freno cuerpo de arrastre***. Tiene la misión de frenar el cuerpo de arrastre, para efectuar la corrección del corte del empaque, ya que se requiere que el arrastre de papel tenga el formato deseado ± 0,5 mm. de excedente. Este freno se acciona, cuando la marca impresa del sobre es detectada por el sensor de marcas y existe la habilitación de esta función, desde el PLC.

Figura 1-36: *Freno del cuerpo de arrastre.*

3. ***Palancas de accionamiento***. Estas palancas se encuentran en el interior de la máquina. Una de ellas, sobre la cual se selecciona la distancia de arrastre de material, la misma que depende del formato del ancho del sobre. La otra palanca es la que recibe el movimiento de la primera y la que lo transmite al cuerpo de arrastre. Entre las 2 palancas existe un compensador por muelle, que es el que cede, cuando el freno se activa.

Se puede decir entonces, que el compensador por muelle, debe poseer una fuerza superior a la fuerza provocada por las masas en movimiento, y que dependerá de la velocidad de la máquina. Normalmente dicho compensador viene calibrado de Volpak para la velocidad a la que ha sido contratada la máquina. No obstante, si por algún motivo se variara esta velocidad, siempre en más, y se produjera algún desplazamiento del cuerpo de arrastre, de manera zigzagueante o con temblores se deberá comprimir más el muelle hasta que el efecto temblor desaparezca, es decir hasta que las espiras se toquen, ya que de lo contrario el freno no actuaría, siendo el sistema incapaz de corregir.

1.3.1.17 Tijeras.

Este grupo es el responsable del corte del material para formar el envase, y se lo realiza a través de un mecanismo de tijera en la cual, una lámina de acero inoxidable permanece fija sirviendo de apoyo; y la otra lámina afilada y acoplada a una palanca, conectada al eje principal de levas, corta sincronizadamente al material.

La máquina tiene la posibilidad de agregar otro dispositivo tijera que permite aumentar el número de cortes de empaques flexibles.

Figura 1-37: *Tijeras.*

1.3.1.18 Cambio de línea.

Este grupo está conformado por dos pinzas mecánicas acopladas al carro de pinzas móviles. Éstas pinzas sujetan los extremos del empaque flexible cortado y lo transportan a las siguientes estaciones de dosificado, estirado, sellado superior y salida de material. Debido a esto, estas pinzas se pueden regular dependiendo del ancho del sobre a transportar.

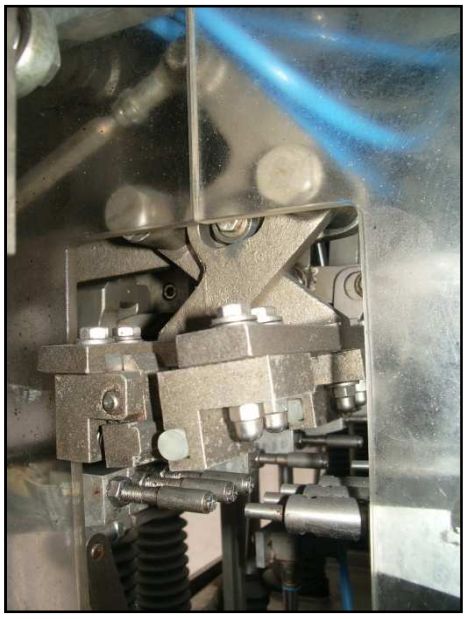


Figura 1-38: *Cambio de línea.*

1.3.1.19 Carro pinzas fijas.

Este grupo está conformado por un grupo de pinzas ubicadas a lo largo de un carro que cumplen la función de sujeción y soporte en los extremos del empaque flexible para evitar que se caiga el momento de transportarlo ni en el subproceso de dosificación, debido a esto, es necesario que estas pinzas sean fijas, de ahí la proveniencia del nombre del grupo.

1.3.1.20 Carro pinzas móviles.

Este grupo está conformado por un grupo de pinzas ubicadas a lo largo de un carro móvil que se desplaza sincronizadamente con el eje principal de levas, ya que cuenta con dos palancas acopladas al mismo. Estas pinzas tienen la función de sujeción y transporte del empaque flexible cortado a las siguientes áreas de la máquina, debido a esto recibe su nombre.

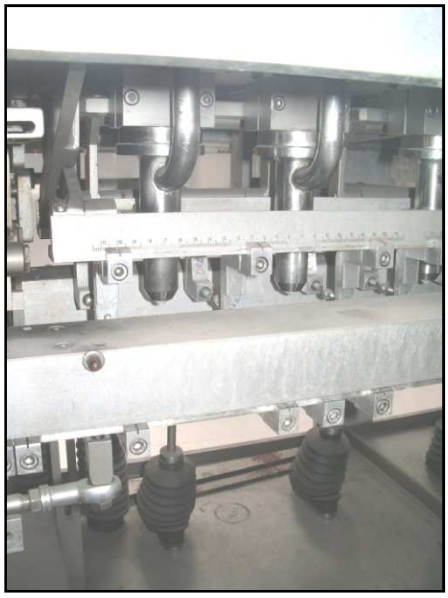


Figura 1-39: *Carro pinzas fijas (superior) y carro pinzas móviles (inferior).*

1.3.1.21 Accionamiento ventosas abertura sobre.

Este grupo está conformado por ventosas superiores, que absorben la superficie del material permitiendo abrir la parte superior del sobre.

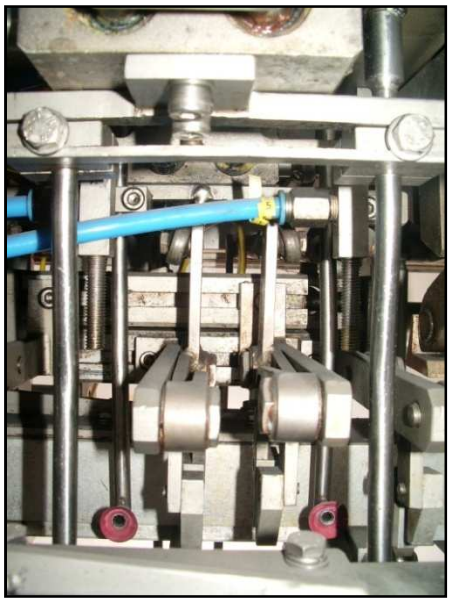


Figura 1-40: *Accionamiento ventosas y soplador sobre.*

1.3.1.21.1 Soplador sobre en ventosas.

Este grupo consta de dos sopladores despegadores de bolsas. Tienen una doble misión: desenganchar las paredes internas de la bolsa que están en contacto, para

facilitar la abertura final de la bolsa, y acompañar a la misma en su abertura con las ventosas, a modo de pinza y como seguro de abertura.

El caudal de soplado de los dos sopladores se efectúa a través de reguladores de presión, y además el controlador lógico programable (PLC) emite señales sincronizadas a las electro válvulas para que el soplado sea en el momento justo cuando el empaque flexible se encuentre debajo del tubo soplador.

1.3.1.22 Ventosas abertura fondo del sobre.

Al igual que las ventosas superiores, este grupo está conformado por la ventosas inferiores con la finalidad de separar las caras interiores del fondo del sobre y preparar al empaque para la estación de dosificado. Al igual que el grupo de las ventosas superiores funcionan bajo el mismo principio descrito anteriormente.

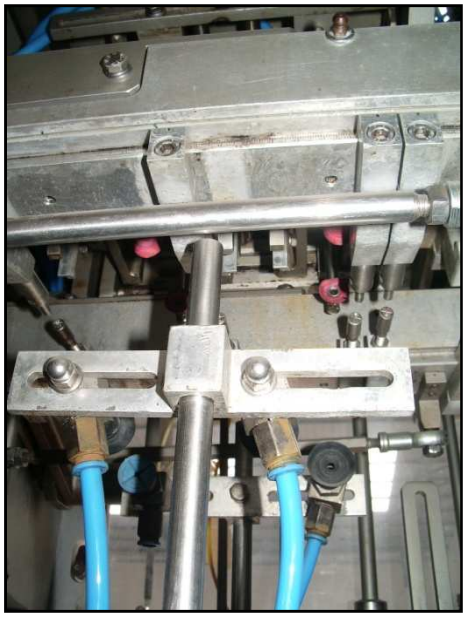


Figura 1-41: *Ventosas abertura fondo de sobre.*

1.3.1.23 Accionamiento boquillas.

Este grupo está conformado por el accionamiento de las cuatro boquillas dosificadoras, que actúan sincronizadamente a través del PLC, ya que éste conoce perfectamente la posición de las levas de la estación de dosificado enviando señales apropiadas al control de esta estación.

Presenta regulación en anchura y en altura si el formato del sobre ha cambiado

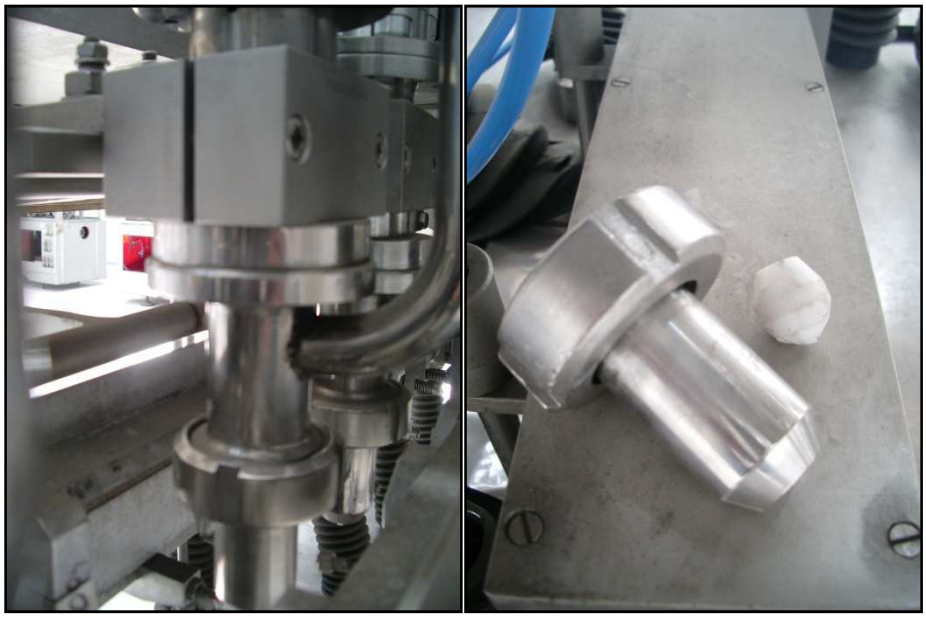


Figura 1-42: *Accionamiento boquillas.*

1.3.1.24 Accionamiento estirado estático.

Este grupo está conformado por dos pinzas, cada una con un par interior y otro exterior. Tienen la función de estirar longitudinalmente en mayor o menor medida la boca del sobre, permitiendo conseguir una soldadura perfectamente uniforme y sin arrugas en la siguiente estación de soldadura superior.

Otra función importante del grupo, es la separación de los sobres entre si, en caso de que el formato de arrastre del material sea doble. La importancia de esta función recae cuando los empaques flexibles van a ser depositados en una banda transportadora, para lo cual, las pinzas exteriores deben estirar más que las interiores, es decir, tienen mayor desplazamiento longitudinal una respecto de la otra, para conseguir a más de estirar la boca del empaque flexible, un desplazamiento a izquierda y derecha de uno y otro sobre.

Figura 1-43: *Accionamiento estirado estático.*

1.3.1.25 Mordaza soldadura superior.

Este grupo está compuesto por dos juegos de mordazas superiores, dos delanteros y otros dos posteriores. Cumplen con la función de soldar las caras internas superiores del sobre.

El sistema controlado de temperatura de la mordaza permite la fusión de las caras internas del empaque, consiguiendo de esta forma un sellado superior.

Figura 1-44: *Mordazas soldadura superior.*

1.3.1.26 Mordaza superior refrigeradora.

Este grupo está compuesto de dos mordazas, una anterior y otra posterior. A diferencia del grupo de mordaza soldadura superior, éste no presenta resistencias

eléctricas, con lo cual, no sella el material, más bien, lo enfría, consiguiendo una soldadura más lisa y perfecta.

Mediante la conexión de tubos a los racores y haciendo circular aire o agua, podremos conseguir una más rápida refrigeración de los soldadores.

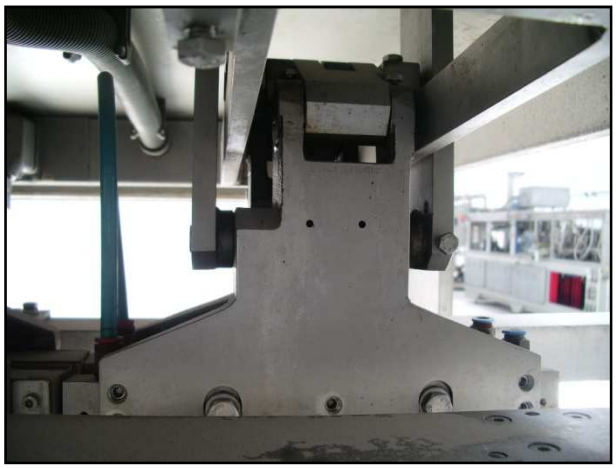


Figura 1-45: *Mordaza refrigeradora.*

1.3.1.27 Expulsor sobre.

Este grupo está conformado por un pistón neumático que acciona un mecanismo de palanca para abrir o cerrar la mordaza superior refrigeradora. Esta función es elegida por el PLC y activada o desactivada desde la interfaz gráfica, ya que éste procesa la información para discernir si se debe expulsar o no al sobre que está en esta estación.

El criterio de selección consiste en:
Cuando se trabaja con dos sobres dosificados, si durante el transporte, alguno de ellos, no se ha dosificado, es preferible que se expulsen a ambos, antes que pasen a la estación de salida de material.

Cuando se trabaja con un sobre, si solamente se halla dosificado, puede pasar a la siguiente estación de salida, caso contrario se deberá expulsar.

Figura 1-46: *Expulsor sobre.*

1.3.1.28 Cinta de salida.

Este grupo está conformado por una cinta transportadora, en la cual, un motor controlado por un variador de velocidad permite el accionamiento de este grupo. La velocidad es fácilmente modificada desde la pantalla táctil. Unas guías ubicadas a lo largo de la cinta, orientan al material a transportarse en la posición correcta.

1.3.1.29 Armario eléctrico independiente.

El armario eléctrico es el tablero que se implementó en este proyecto, está conformado por todos los dispositivos de protección, fuerza, control, accionamiento de velocidad y maniobra.

Figura 1-47: *Armario eléctrico independiente.*

1.3.1.30 Sincronismo de levas del eje principal.

Debido a que toda la máquina se mueve en función del eje principal de levas es necesario saber la posición de las mismas, para lo cual, un encoder incremental censa la posición de este eje y con ello se puede sincronizar todas las partes de la máquina. Dos piñones de relación 1:1 ubicados en el eje principal y en eje del encoder respectivamente se hallan unidos por una cadena, permitiendo detectar el giro del eje principal y su posición.

Figura 1-48: *Sincronismo con el encoder.*

1.3.1.30.1 Tipos de encoder.

Los encoder son dispositivos que en su interior presentan sensores ópticos y discos con agujeros, que dependiendo de su disposición y su cantidad se clasifican en encoder incremental y absoluto.

En la industria este tipo de dispositivos son muy utilizados en aplicaciones de posicionamiento o realimentación de velocidad debido a la salida de pulsos que presentan.

Encoder Incremental.

Los encoders incrementales son dispositivos ópticos que emiten pulsos para poder detectar posición o velocidad de un sistema.

Constan de un disco transparente con una serie de marcas oscuras ubicadas radialmente y equidistantes entre sí; un sistema de iluminación y un elemento fotorreceptor que detecta la transición de blanco a oscuro.

Con esta disposición a medida que el eje del encoder gire, se irá generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese cada marca.

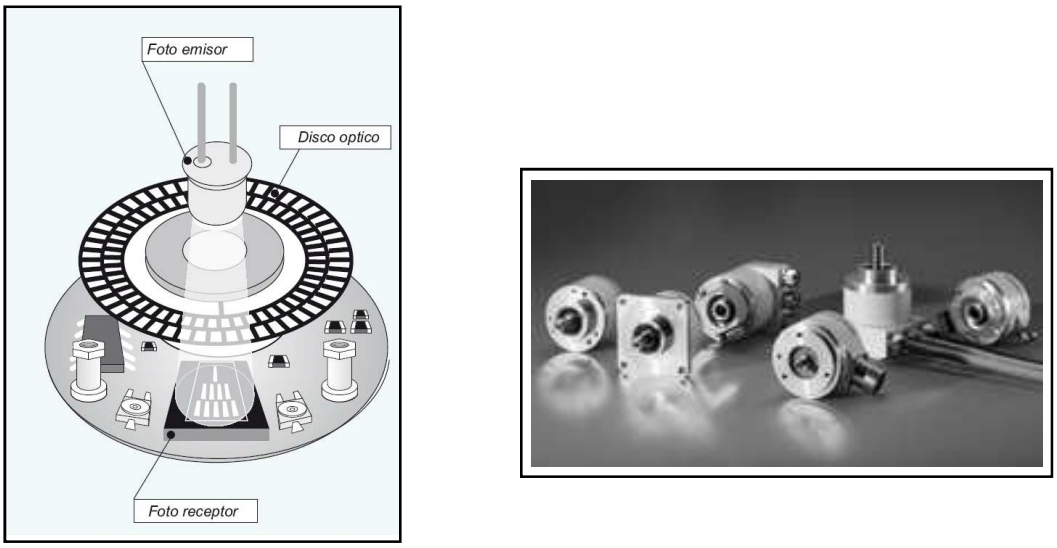


Figura 1-49: *Estructura interna (izquierda) y externa (derecha) del encoder incremental.*

Este tipo de encoder presenta tres franjas de marcas, las dos primeras se hallan separadas de tal forma que generan pulsos desplazados 90º eléctricos respecto a la otra franja, esta característica es muy útil para detectar cambios en el sentido de giro de un sistema.

Y la tercera franja posee una marca de referencia, que indica cuándo se ha dado una vuelta completa del encoder.

Con esta disposición, los encoders incrementales normalmente presentan seis tipos de señales de pulsos; señales A, B; de las dos primeras franjas; y Z de la tercera franja; y los complementos de éstas.
Vienen en varias presentaciones que dependen del tipo de montaje y su precisión es función del número de pulsos por vuelta que generen.

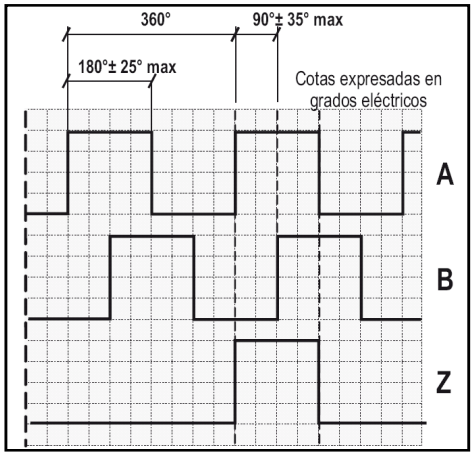


Figura 1-50: *Señales A, B y Z del encoder incremental.*

Encoder Absoluto.

Al igual que los encoders incrementales, los encoders absolutos son dispositivos ópticos que permiten detectar la posición de un sistema, pero se diferencian por tener varias señales de salidas que codifican su posición absoluta.

Tienen una fuente de luz con las lentes de adaptación correspondientes, un disco graduado y unos fotorreceptores. En este tipo de encoder, el disco transparente se divide en un número determinado de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno de ellos según un código binario cíclico (normalmente código Gray) que queda representado por zonas transparentes y oscuras dispuestas radialmente.

No es necesario ahora ningún contador o electrónica adicional para detectar el sentido del giro, pues cada posición (sector) es codificado de forma absoluta. Su resolución es fija, y vendrá dada por el número de anillos que posea el disco graduado.

Resoluciones habituales van desde 2^8 a 2^{19} bits (desde 256 a 524288 posiciones distintas). Normalmente estos sensores se acoplan al eje de un motor. Considerando que en la mayor parte de los casos entre el eje del motor y del encoder, se sitúa un reductor de relación N, cada movimiento se verá multiplicado por N, aumentando su resolución.

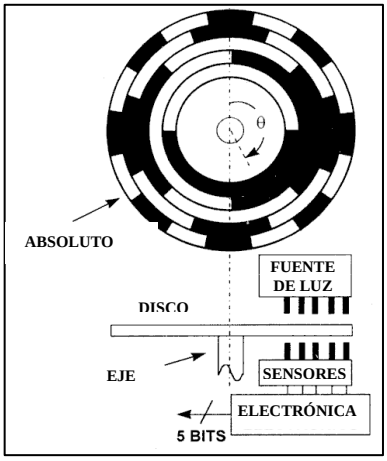


Figura 1-51: *Estructura interna de un encoder absoluto.*

1.4 PROCESO DE ENVASADO DE LA MÁQUINA HORIZONTAL VOLPAK S-240 DF.

La máquina horizontal Volpak S-240DF cuenta con algunas estaciones para conseguir empaques flexibles con o sin dosificación, a continuación se explicará cada subproceso que interviene en la creación de este producto.

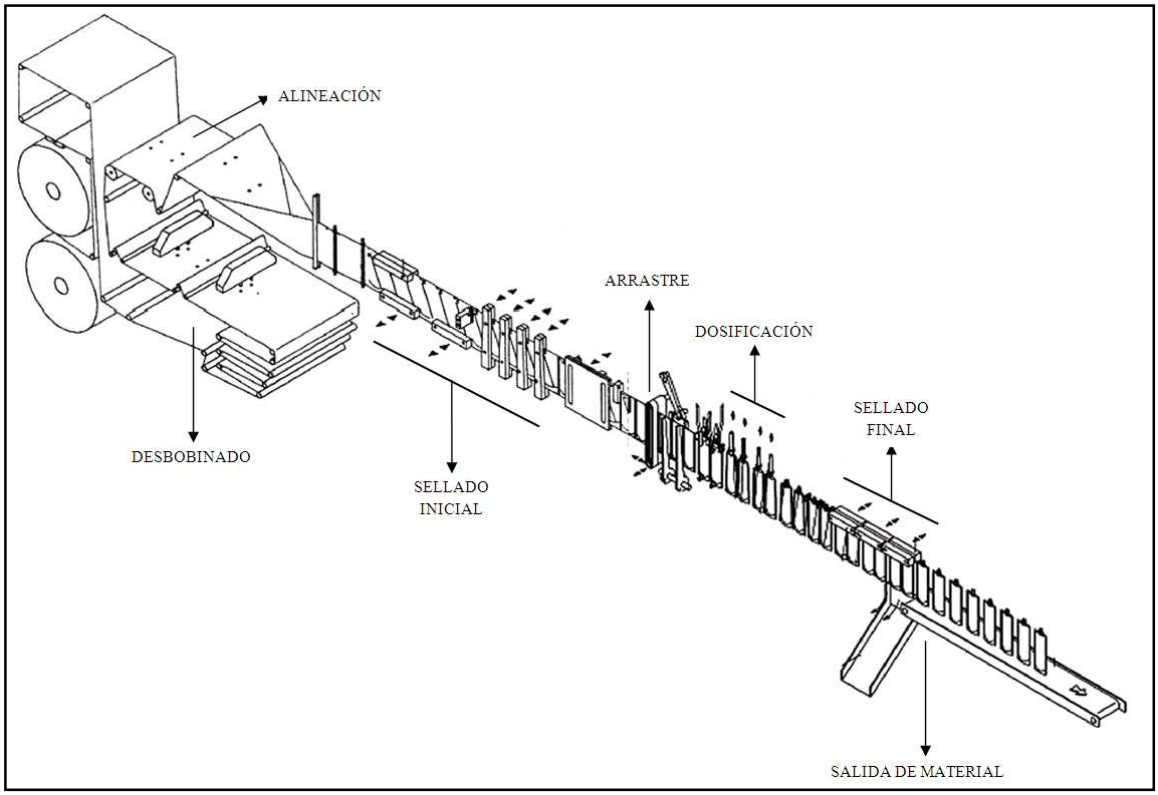


Figura 1-52: *Proceso de envasado de la máquina horizontal Volpak S-240DF.*

1.4.1 SUBPROCESO DESBOBINACIÓN DE MATERIAL.

Este subproceso permite desenrollar el material de empaque de la bobina que está sujeta en uno de los porta bobinas.

Mediante un regulador de presión, el operador selecciona la tensión a la cual va a trabajar, esto va a depender del tipo de material a usarse. El momento de arrastre del material, el brazo es articulado hasta la tensión que se haya elegido. Este cambio de posición es sensado con un potenciómetro ubicado en el eje del rodillo.

La variable tensión es proporcional al voltaje en el potenciómetro, esta señal ingresa directamente como entrada análoga al variador de velocidad Siemens, Sinamics G110.

El variador procesa esta señal y en función de su intensidad, acciona al motor, con ello, se manipula la velocidad del rodillo giratorio del desbobinador, permitiendo desenrollar material de la bobina y pueda ser usado en el siguiente ciclo del proceso.

Dos sensores inductivos están presentes en este subproceso, el primero detecta que el rodillo pisador esté en contacto directo con el rodillo giratorio para asegurar que se pueda desbobinar el material, caso contrario una alarma sonora será activada y la máquina se detendrá.

El otro sensor está ubicado en la parte inferior del recorrido del brazo, que permite detener el motor del rodillo giratorio para no seguir desenrollando, a pesar de que exista un mínimo voltaje en la entrada análoga del variador de velocidad. Esto conlleva a tener un control a lazo abierto de este subproceso.

1.4.2 SUBPROCESO ALINEACIÓN DE MATERIAL.

El material desbobinado, pasa por la banda de alineación, antes de ser dividido y empezar a dar forma al empaque. El sistema de control de la banda, alinea el material para que, en el grupo triángulo formador ambas caras internas del sobre se encuentren al mismo nivel y ocasionen un empaque flexible sin desperfectos.

Trabajando de manera automática, los sensores de detección de presencia sin contacto, sensan el paso del material. Las señales emitidas por ellos van al PLC, éste procesa la información y en función del algoritmo implementado, dos señales de dirección y habilitación son enviadas a la tarjeta de control de la banda.

Esta tarjeta de control modifica la velocidad y el sentido de giro de un motor DC que acciona la banda mecánicamente, girándole a la izquierda o derecha para conseguir su alineación. Los límites de posición de la banda son realimentados con dos sensores inductivos, éstos envían señales al PLC para detener al motor, evitando sobre esfuerzos y por ende deterioro del mismo. La función de alineación puede ser activada o desactivada desde la interfaz gráfica.

La velocidad del motor es modificable desde un potenciómetro ubicando dentro del tablero de control.

Cuando la máquina está detenida, la alineación puede efectuarse de manera manual, mediante el selector ubicado en la parte izquierda de la envasadora

1.4.3 SUBPROCESO DE ARRASTRE DE MATERIAL.

El cuerpo de arrastre y específicamente la pinza móvil delantera, es la encargada de arrastrar el material a las siguientes estaciones de la máquina. En cada ciclo de proceso este cuerpo describe dos trayectorias, la primera, de izquierda a derecha cuando arrastra el material a la estación dosificadora; y la segunda, de derecha a izquierda cuando regresa a su posición inicial, en esta última debido a que sus pinzas se abren no desplaza material de regreso.

Ambas trayectorias son sensadas por un encoder incremental, determinando su posición. Este encoder se halla en la parte posterior del cuerpo de arrastre.

Los pulsos del encoder son enviados como posición al Manejador de servo (Servo Driver) del servomotor.

El servomotor está acoplado mediante piñones a los rodillos de la banda de alineación. Éste se encargará de desplazar a la banda y con ello, ayudar al cuerpo de arrastre en el desplazamiento del material.

El Servo Driver, realiza un control de posición del servomotor, desplazando una cantidad de material proporcional a la información del encoder incremental mencionado.

La trayectoria del cuerpo de arrastre se ve modificada por el freno de arrastre.

Cuando se trabaja con material con marcas impresas (tacas), un sensor de contraste las detecta, como ya se había mencionado. Este sensor emite una señal a la tarjeta de control del freno para que detenga la trayectoria del cuerpo de arrastre y corrija el desplazamiento de material, con la finalidad de sincronizar el corte de la tijera en la mitad de la taca, como se muestra en la siguiente Figura.

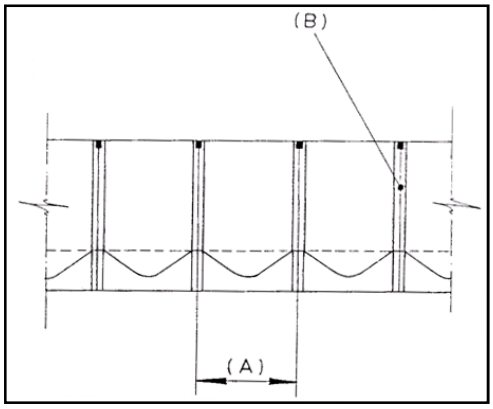


Figura 1-53: *Esquema de corte del sobre*

Donde:

A: *ancho del empaque flexible*

B: *mitad de la taca, lugar donde se debe realizar el corte.*

Esta función de detección de marcas es activada o desactivada desde la interfaz gráfica, dependiendo del material que se vaya a emplear.

1.4.4 SUBPROCESO DE SELLADO INICIAL CON CONTROL DE TEMPERATURA

El sellado inicial lo conforma, las soldaduras inferiores y las cuatro soldaduras verticales, ya que preparan en un principio la forma del sobre.

Cada mordaza tiene en su interior una resistencia eléctrica tubular de 500W a 48VAC, y paralela a ella un sensor de temperatura, termocupla tipo J que realimenta esta variable al sistema de control.

El operador activa la o las mordazas de este sellado inicial, ya que cada una funciona independientemente, además digita la temperatura a la cual va a trabajar cada soldadura, esto dependerá mucho del tipo de material a usarse.

Este procedimiento se realiza desde la interfaz gráfica, cuya información es transmitida al PLC, en el cual se implementó un control proporcional, integral y derivativo (PID) para regular la temperatura, consiguiendo finalmente un control de temperatura a lazo cerrado.

1.4.4.1 Tipos de sellado.

Existen dos tipos de sellos que se usan para la fabricación de empaques flexibles los cuales utilizan calor y presión para efectuar el sellado.

En el primero al que llamaremos sello por presión, dos piezas de película termoplástica son unidas mediante la fusión de las superficies en la interfase.

El calor tiene que alcanzar el sitio de sellado por medio de transferencia a través de algunas de las capas de la película y como las resinas termoplásticas son pobres conductoras del calor solo es práctico este sistema para películas delgadas, de hasta unas 125-150 micras (0.005 a 0.006 pulgadas).

El otro tipo de sello usado, que llamaremos sello-corte se obtiene por la fusión completa de las dos películas a unir. Aquí una cuchilla o mordaza afilada es

calentada para fundir y cortar las películas dando como resultado dos sellos, uno a cada lado de esta.

En estos sistema de sellado es muy común encontrar, como fuente de calor, a resistencias eléctricas industriales, como por ejemplo en este proyecto, sin embargo la ultra frecuencia y el aire caliente también son usados.

1.4.4.2 Componentes del envase flexible y sus propiedades.

La confección de los empaques flexibles es muy variada, mucho depende de la sustancia que va almacenar. Por ejemplo, si se almacena jugos, un empaque flexible trilaminado (tres láminas) es recomendado, pero si se almacena algún tipo de lácteo, es mejor un empaque de cuatro capas.

Un empaque flexible trilaminado está conformado por:

- Polietileno de baja densidad, que por sus propiedades térmicas, es usado para el sello del empaque. Es la capa más interna.
- Aluminio o polipropileno metalizado o poliéster metalizado, contribuyen en la capa intermedia, y es la responsable de crear una barrera entre el medio ambiente y el producto empacado.
- Poliéster o polipropileno para el material transparente donde irá la impresión. Es la capa más externa.

1.4.4.2.1 Polietileno.

El polietileno (PE) es químicamente el polímero más simple. Los polietilenos pueden clasificarse en:

PEBD (en inglés conocido como LDPE o PE-LD): Polietileno de baja densidad

- No tóxico
- Flexible
- Liviano
- Transparente
- Inerte (al contenido)

- Impermeable
- Poca estabilidad dimensional, pero fácil procesamiento
- Bajo costo

PEAD (en inglés conocido como HDPE o PE-HD): Polietileno de alta densidad

- Densidad igual o menor a 0.941 g/cm3
- Resistente a las bajas temperaturas;
- Alta resistencia a la tensión; compresión, tracción;
- Baja densidad en comparación con metales u otros materiales;
- Impermeable;
- Inerte (al contenido), baja reactividad;
- No tóxico

PELBD (en inglés conocido como LLDPE): Polietileno lineal de baja densidad.

UHWPE: Polietileno de ultra alto peso molecular.

PEX: Polietileno con formación de red.

Tabla 1-5: *Características del polietileno.*

Características	PEBD	PEAD	PELBD
Grado de cristalinidad [%]	40 hasta 50	60 hasta 80	30 hasta 40
Densidad [g/cm³]	0,915 hasta 0,935	0,94 hasta 0,97	0.90 hasta 0.93
Módulo [N/mm²] a 52215℃	~130	~1000	-
Temperatura de fusión [℃]	105 hasta 110	130 hasta 135	121 hasta 125
Estabilidad química	buena	excelente	buena
Esfuerzo de ruptura [N/mm²]	8,0-10	20,0-30,0	10,0-30,0
Elongación a ruptura [%]	20	12	16
Módulo elástico E [N/mm²]	200	1000	-
Coeficiente de expansión lineal [K-1]	1.7 * 10-4	2 * 10-4	2 * 10-4
Temperatura máxima permisible [℃]	80	100	-
Temperatura de reblandecimiento [℃]	110	140	-

Aplicaciones del polietileno.

PEBD:

- Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.
- Películas para agro.
- Recubrimiento de acequias.
- Envasado automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc.
- Stretch film.
- Base para pañales desechables.
- Bolsas para suero.
- Contenedores herméticos domésticos.
- Tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos.
- Tuberías para riego.

PEAD:

- Envases para: detergentes, lejía, aceites automotor, shampoo, lácteos.
- Bolsas para supermercados.
- Bazar y menaje.
- Cajones para pescados, gaseosas, cervezas.
- Envases para pintura, helados, aceites.
- Tambores.
- Tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario.
- Macetas.
- Bolsas tejidas.
- También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, contra tanques, tanques de agua, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales, canalones de lámina, etc.

1.4.4.2.2 Polipropileno.

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

Tipos de polipropileno.

PP homopolímero.

Se denomina homopolímero al PP obtenido de la polimerización de propileno puro.

PP copolímero.

Al añadir entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización se obtiene un copolímero que posee mayor resistencia al impacto que el PP homopolímero.

Cuando el porcentaje de etileno supera un cierto valor, el material pasa a comportarse como un elastómero, con propiedades muy diferentes del PP convencional. A este producto se le llama caucho etileno-propileno (EPR, del inglés Ethylene-Propylene Rubber)

Tabla 1-6: *Propiedades mecánicas del polipropileno.*

	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Módulo elástico en tracción (GPa)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600	450 a 900	Junto al polietileno, una de las más altas de todos los termoplásticos
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42	28 a 38	

Tabla 1-6: *Continuación.*

	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Módulo de flexión (GPa)	1,19 a 1,75	0,42 a 1,40	
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m2)	4 a 20	9 a 40	El PP copolímero posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos
Dureza Shore D	72 a 74	67 a 73	Más duro que el polietileno pero menos que el poliestireno o el PET

Tabla 1-7: *Propiedades térmicas del polipropileno.*

	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Temperatura de fusión (ºC)	160 a 170	130 a 168	Superior a la del polietileno
Temperatura máxima de uso continuo (ºC)	100	100	Superior al poliestireno, al LDPE y al PVC pero inferior al HDPE, al PET y a los "plásticos de ingeniería"
Temperatura de transición vítrea (ºC)	-10	-20	

Propiedades ópticas.

El PP homopolímero es transparente, con un índice de refracción en torno a 1,5. Esto, unido a su buena resistencia mecánica, lo hace un material muy utilizado para producir vasos desechables.

Propiedades eléctricas.

El PP es un buen dieléctrico. Por ello se le utiliza en películas muy delgadas para formar capacitores de buen desempeño.

Aplicaciones del polipropileno.

El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles
- Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible
- Termoformado de, por ejemplo, contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).
- Producción de fibras, tanto tejidas como no tejidas.
- Extrusión de perfiles, láminas y tubos.
- Producción de película, en particular:
    - Película de polipropileno biorientado (BOPP), la más extendida.
    - Película moldeada ("cast film").
    - Película soplada ("blown film").

Una gran parte de los grados de PP son aptos para contacto con alimentos y una minoría puede ser usada en aplicaciones médicas o farmacéuticas.

1.4.4.2.3 Poliéster.

El poliéster es una categoría de polímeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. El poliéster termoplástico más conocido es el PET. El PET está formado sintéticamente con Etilenglicol más tereftalato de dimetilo, produciendo el polímero o poltericoletano. Como resultado del proceso de polimerización, se obtiene la fibra, que en sus inicios fue la base para la elaboración de los hilos para coser, y actualmente tiene múltiples aplicaciones como la fabricación de botellas de plástico que anteriormente se elaboraban con PVC.

Las resinas de poliéster (termoestables) son usadas también como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas, fabricación de pinturas.

Para dar mayor resistencia mecánica suelen ir reforzados con cortante, o también llamado endurecedor o catalizador, sin purificar.

El poliéster se endurece a la temperatura ambiente y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas.
Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

1.4.5 SUBPROCESO CONTROL DE DOSIFICACIÓN

Este subproceso es el encargado de la dosificación. Los productos a dosificar deben tener una conductividad mínima de aproximadamente 1uS/cm, debido a que se usan sensores magnético-inductivos para la medición de flujo.

Estos sensores no tienen piezas móviles, de forma que no son necesarias fuerzas mecánicas sobre el producto, ya que podrían romper la estructura del mismo.

Estos medidores de caudal son muy robustos de tal forma que pueden ser expuestos a condiciones de Clean in Place (CIP) o Steam in Place (SIP).

Proceso CIP (Clean in Place), limpieza en sitio. Este proceso consiste en mantener un sistema esterilizado, para lo cual, los equipos de este proceso deben ser resistentes a solventes estándares.

Proceso SIP (Steam in Place), vapor en sitio. Es un método de esterilización usando vapor a agua caliente a 121 ºC, de tal forma que los equipos a aplicarse este proceso, deben ser capaces de soportar estas condiciones.

El subproceso control de dosificación está conformado por cuatro estaciones que contienen:

- Depósito de almacenamiento.
- Cuatro medidores magnético-inductivos.

- Cuatro cilindros de doble efecto con doble vástago hueco.
- Electrónica de control
- Terminal de operación LAUER.

1.4.5.1 Depósito de almacenamiento.

Este depósito de material acero inoxidable, es el encargado de almacenar el producto a dosificar. El depósito posee un sensor de nivel en su parte superior, cabe mencionar que no cuenta con ningún sistema de presurización.

Si el nivel dentro del depósito es bajo, la presión dentro del mismo descenderá durante la dosificación, ocasionando que la cantidad dosificada sea afectada después de la señal de cierre y por consiguiente la precisión y repetitividad del siguiente ciclo del proceso, como muestra la Figura 1-54.

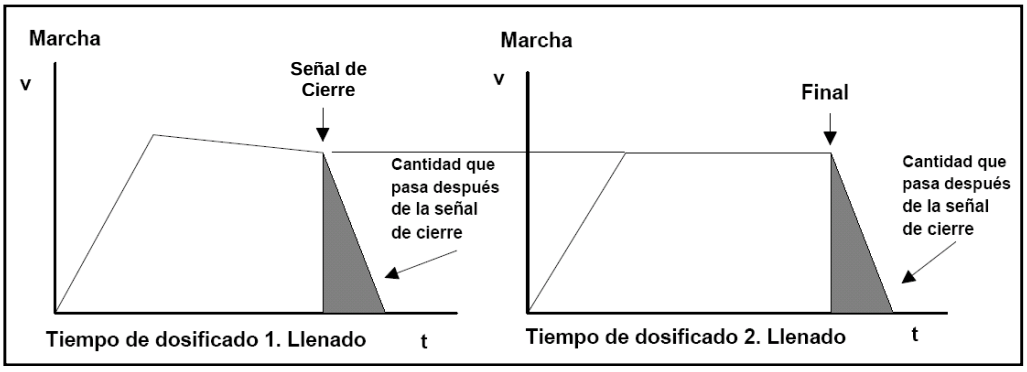


Figura 1-54: *Consecuencia de disminución de presión en el depósito.*

1.4.5.1.1 Detector de nivel en el depósito.

Liquiphant FTL 361es un detector límite de nivel con sistema de vibración usado en para todo tipo de líquido.

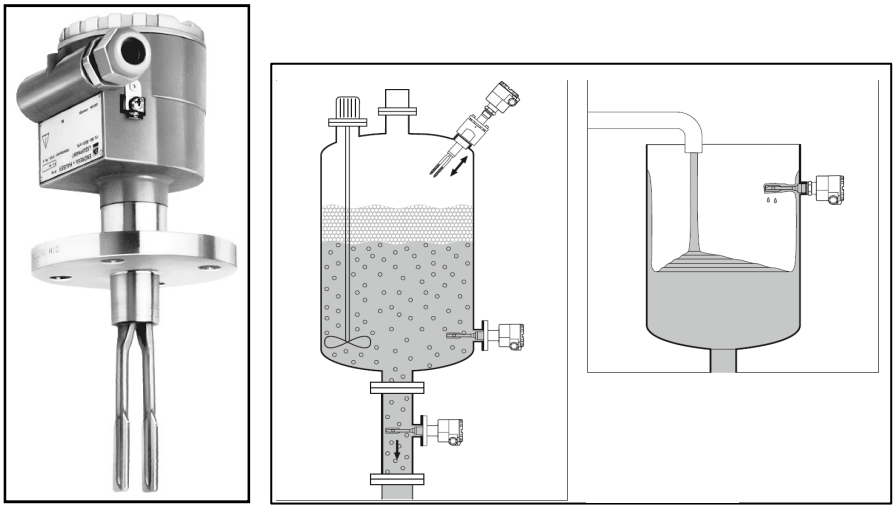


Figura 1-55: *Detector de nivel Liquiphant FTL 361.*

Este sensor en forma de horquilla está hecho para vibrar a su frecuencia de resonancia. Cuando el sensor está inmerso en el líquido, esta frecuencia cambia, provocando un cambio en el estado del interruptor conmutado interno.

En la parte superior del sensor dispone de interruptores para seleccionar el límite de detección de nivel (1) y densidad del líquido (ρ) (2), además de un indicador luminoso (3) para observar el estado del interruptor conmutado, como se muestra en la siguiente figura.

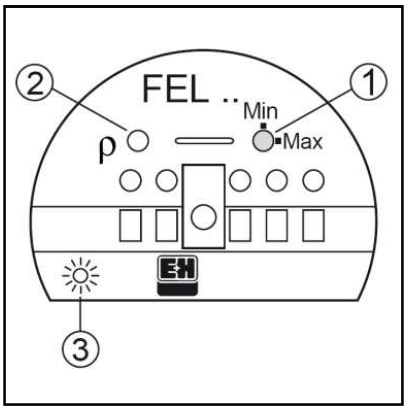


Figura 1-56: *Interruptores e indicador del sensor de nivel.*

Se puede seleccionar detección de nivel mínimo o máximo en el interruptor de límite (1) y la densidad del líquido puede variar por ejemplo, para gases licuados, el fabricante recomienda $\rho > 0.5$ g/cm^3 o la configuración estándar $\rho > 0.7$ g/cm^3

En la siguiente figura se observa el comportamiento del interruptor conmutado interno al detectar el nivel configurado, y además el estado del mismo cuando existe un corte en los cables de alimentación del sensor o un deterioro de ellos por corrosión.

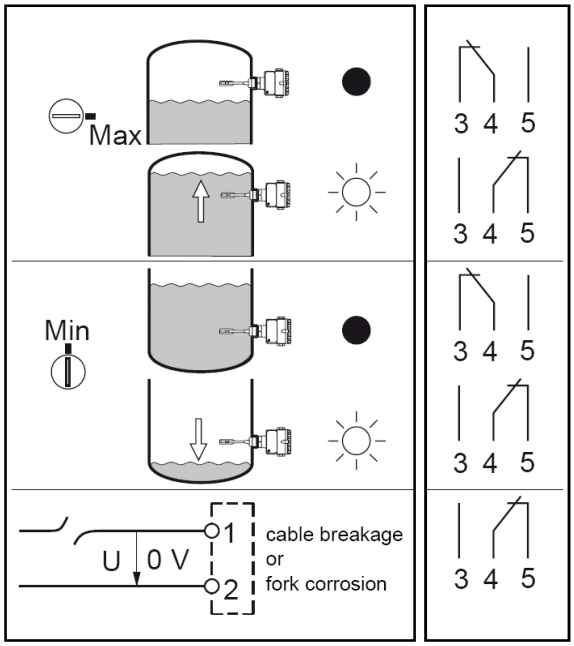


Figura 1-57: *Funcionamiento del sensor de nivel.*

A continuación se describen las características técnicas de este sensor:

- **Alimentación:**
  - AC: 21 – 253 V, 50 / 60 Hz.
  - DC: 20 – 200 V
- **Consumo de corriente:** máximo 7 mA.
- **Salida:** Contacto conmutado.
  - Con AC, máximo 250 V, máximo 6A.

    Pmáx = 1500 VA, cos ϕ = 1

    Pmáx = 750 VA, cos ϕ = 0.7
  - Con DC, máximo 200 V

    Pmáx = 200W

Condiciones de operación en el tanque:

- **Presión máxima**: 40 bar (600 psi).
- **Temperatura de trabajo**: -40ºC - +150 ºC
- **Temperatura ambiente del protector del sensor**: -20ºC - +70ºC
- **Viscosidad máxima del líquido**: 10000 mm^2/s (cSt)
- **Densidad mínima del líquido**: 0.5 g/cm^3.
- **Hysteresis:** aproximadamente 5 mm.
- **Retardo del cambio de estado**:
  - Aproximadamente 0.4 s cuando está cubierto
  - Aproximadamente 1 s cuando esta descubierto.

1.4.5.2 Medidor magnético-inductivo

La máquina horizontal Volpak tiene cuatro sensores de flujo de tipo magnético, instalados de fábrica, en la estación de dosificado. Están construidos de forma compacta y tienen un pre-amplificador desmontable. La alimentación del sensor es de 24 VAC.

Las señales del pre-amplificador van directamente la electrónica de control mediante un cable estándar LIYY-LIYCY, según DIN.

El cable de medición posee dos conductores separados, apantallados y aislados del ruido magnético y los otros cuatro no poseen pantalla.

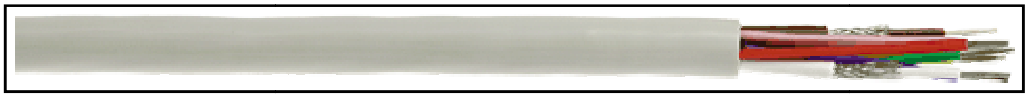


Figura 1-58: *Cable de medición del sensor de flujo.*

La Tabla 1-8 muestra las señales que se transmiten por este cable de medición.

Tabla 1-8: *Señales del cable de medición del sensor de flujo*

Color	Señal	Tensión	Conductor
Blanco	Medición	0-50 mVAC	Apantallado
Marrón	Tensión de referencia	2 hasta 4 VAC	Apantallado
Amarillo Verde	Alimentación para pre-amplificador	+ 15 VDC - 15 VDC	Sin pantalla
Rojo Azul	Alimentación para las bobinas del medidor	24 VAC	Sin pantalla

En caso de avería, el pre-amplificador puede ser cambiado sin necesidad de recalibrar el medidor. El medidor puede ser montado en posición vertical u horizontal, aunque el fabricante recomienda la posición vertical, ya que en caso de existir aire puede escaparse fácilmente en esta posición.

En la siguiente figura se observa el medidor magnético-inductivo, color obscuro, y el pre-amplificador acoplado a él, parte superior de color claro.

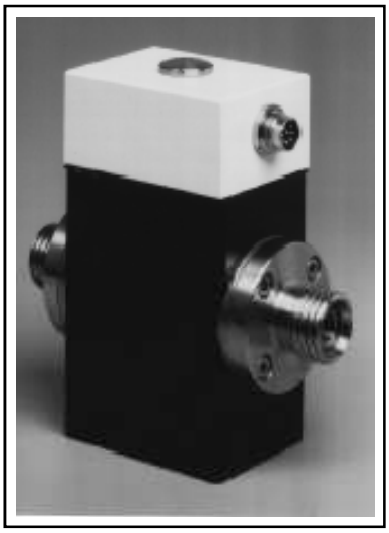


Figura1-59: *Medidor magnético inductivo y pre-amplificador.*

El medidor debe encontrarse bajo las siguientes condiciones de montaje.

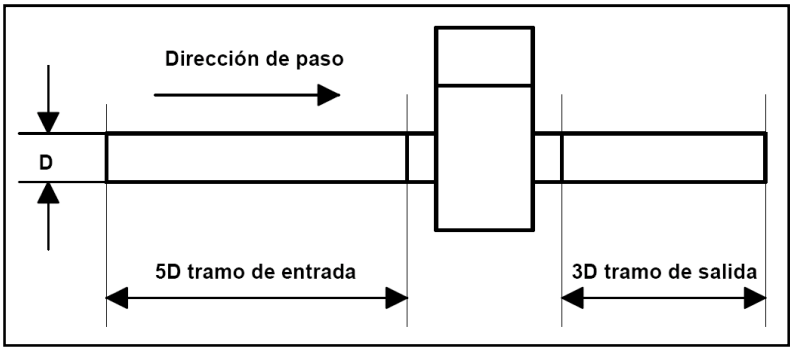


Figura 1-60: *Condiciones de montaje del sensor de flujo.*

De esta forma, la Tabla 1-9 muestra la longitud de los tramos de entrada y salida apropiada para el montaje de estos sensores.

Tabla 1-9: *Longitud de tramos de entrada y salida para el montaje del sensor de flujo.*

DIÁMETRO NOMINAL	TRAMO DE ENTRADA	TRAMO DE SALIDA
(DN)	**(mm)**	**(mm)**
10	50	30
15	75	45
20	100	60
25	125	75
32	160	100
40	200	120

A continuación se destacan las principales características técnicas de este medidor de flujo.

- **Diámetro nominal:** DN 10, 15, 20, 25, 32, 40.

- **Presión máxima (bar):** 10 para rosca sanitaria.
  16 para conexión estéril.

- **Conductividad mínima del líquido:** 1μS/cm.
- **Temperatura máxima de operación:** 140ºC
- **Temperatura ambiental máxima:** 70ºC.
- **Humedad ambiente**: < 75%, se admite rocío.
- **Alimentación:** 24 VAC ± 10%.
- **Frecuencia:** [50 Hz o 60 Hz] ± 5%.
- **Factor de distorsión no lineal:** máximo 1%.
- **Energía absorbida:** desde DN 10 hasta DN 20, 0.3 A
  desde DN 25 hasta DN 40, 0.4 A.

1.4.5.2.1 Principio de funcionamiento del sensor.

El principio de funcionamiento de los sensores magnéticos se basa en la ley de Faraday, que indica que el voltaje inducido por un conductor que es perpendicular a un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese conductor.

Ley de Faraday:

E es proporcional a (V x B x D)

Donde:

E: *Voltaje generado en un conductor.*

V: *Velocidad del conductor.*

B: *Fuerza del campo magnético.*

D: *Longitud del conductor.*

Debido a la naturaleza de esta ley, es necesario que el fluido a medir sea eléctricamente conductor.

Entonces, aplicando la ley de Faraday en el medidor de flujo tenemos que, el voltaje inducido (E) depende de la velocidad promedio del líquido (V), la fuerza del campo magnético (B) y el diámetro de la sección por donde atraviesa el flujo a ser medido (D), en otras palabras, el diámetro interno de la tubería por donde atraviesa el líquido.

Cuando el sensor magnético es de tipo galleta (wafer), el campo magnético es establecido a través de la sección transversal del tubo del fluido, como lo muestra la siguiente figura.

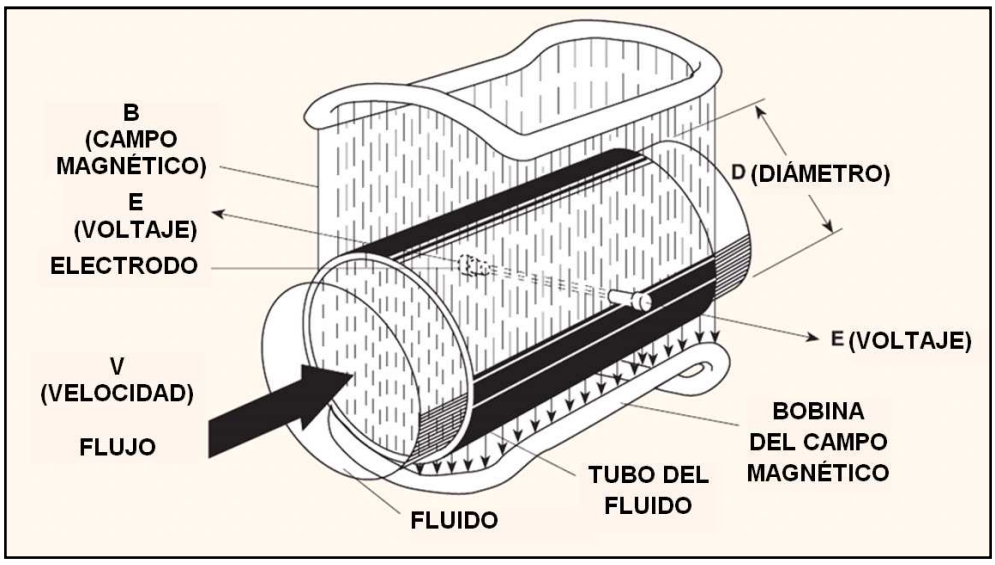


Figura 1-61: *Principio de funcionamiento del medidor de flujo magnético-inductivo.*

1.4.5.3 Electrónica de control

La máquina cuenta con un sistema de control de dosificación propio de fábrica. El sistema de control de dosificación procesa las señales que recibe de los sensores magnético-inductivos, del Terminal de operación LAUER y de las señales de habilitación del sistema de control implementado en el PLC, de este proyecto de titulación, para poder actuar sobre las electro-válvulas y accionar a los pistones para una correcta dosificación.

El sistema de control de dosificación está conformado por:

- **Tarjetas convertidoras tipo UV-12** con salida de impulsos integrada. Estas tarjetas convierten la señal de medición en una frecuencia proporcional al caudal en un rango de 0 a 50 kHz.
- **Tarjeta de contaje y válvulas tipo LS-23**. Esta tarjeta recibe los impulsos volumétricos de la tarjeta anterior y realiza el conteo de las cantidades dosificadas activando las señales para las electro-válvulas.
- **Tarjeta master DR-11**. Esta tarjeta realiza las comunicaciones para el Terminal de operación LAUER o un PLC y también recibe las señales de habilitación para la dosificación, del PLC.

La Figura 1-62 muestra de manera general la arquitectura del control de dosificación.

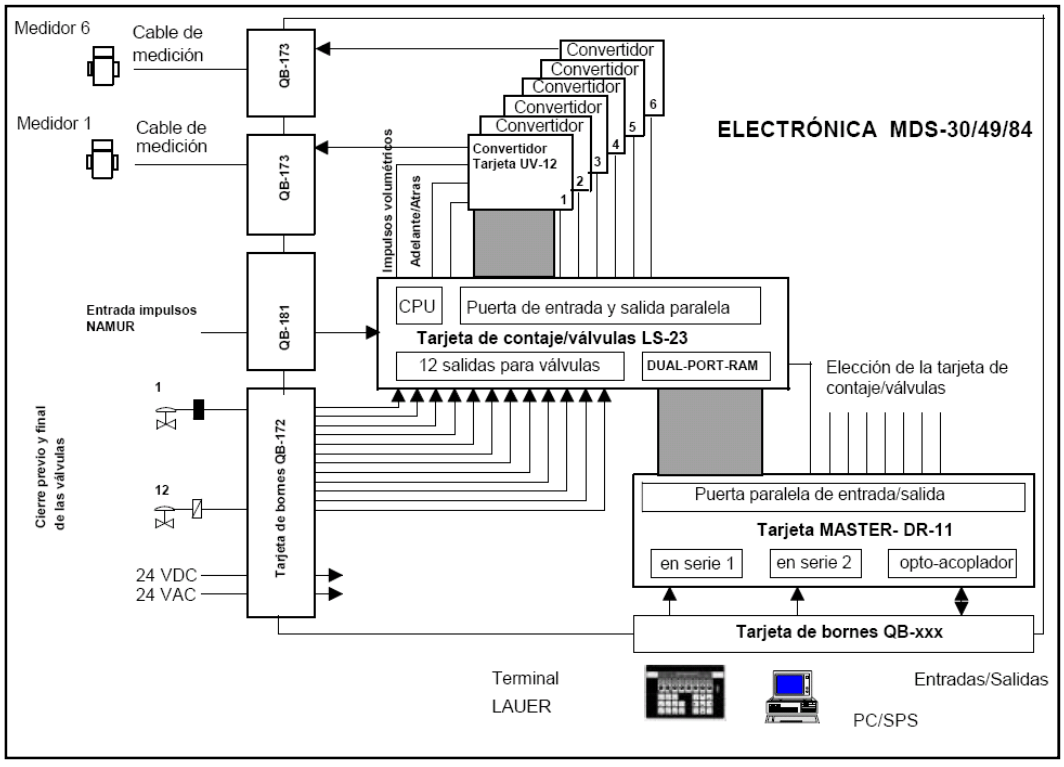


Figura 1-62: *Vista general de la arquitectura de control de dosificación.*

1.4.5.4 Terminal de operación LAUER.

Este Terminal de operación permite manejar los parámetros para el sistema de control de dosificación.

Esta interfaz permite modificar y visualizar:

- Número de puestos de medición.
- Diámetro nominal.
- Cantidad a dosificar.
- Corrección de la cantidad sobrepasada después del mando de cierre de la válvula.
- Tiempo máximo de dosificación.
- Cantidades actuales de dosificación.
- Ajuste del punto cero.
- Totalizador.

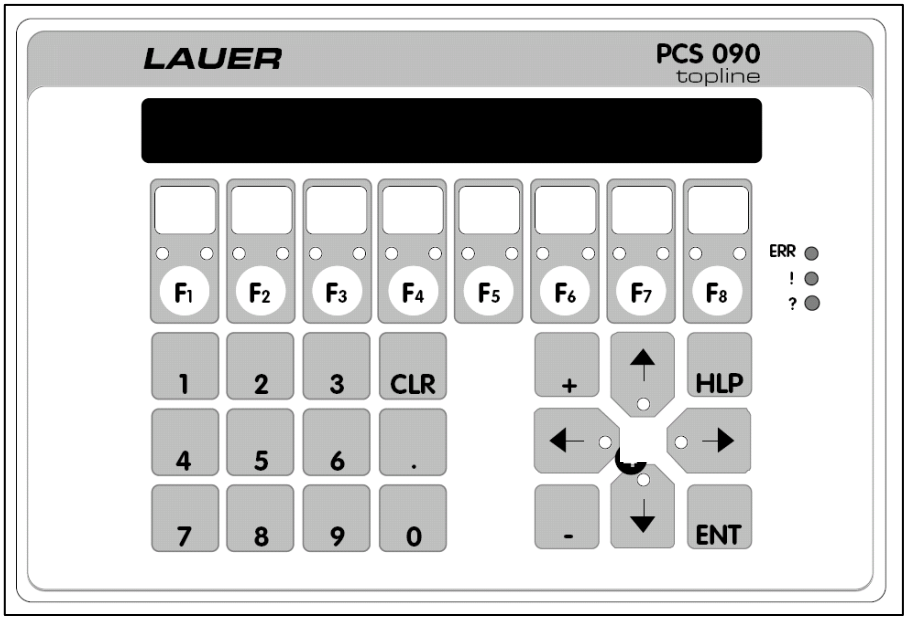


Figura 1-63: *Vista frontal del Terminal de operación LAUER.*

1.4.6 SUBPROCESO DE SELLADO FINAL CON CONTROL DE TEMPERATURA.

El sellado final lo conforma, las soldaduras superiores, anterior y posterior, realizan el sellado superior del empaque, finalizando la forma del mismo.

Las soldaduras están conformadas por resistencias eléctricas de 275W a 48VAC. El subproceso es similar al descrito en el subproceso de sellado inicial.

1.4.7 SUBPROCESO DE SALIDA DE MATERIAL.

Este subproceso es el encargado de transportar los empaques flexibles dosificados, una vez finalizado el proceso de envasado. La cinta de salida cumple con esta función.

Como se dijo en párrafos anteriores, un motor permite el desplazamiento de esta cinta. Dependiendo del flujo de producción, la velocidad del motor de la cinta puede ser modificada desde la interfaz gráfica, ya que tiene un accionamiento de velocidad variable.

El control de velocidad implementado es en lazo abierto.

CAPITULO 2.

DIMENSIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS.

En este capítulo se dimensionan y se describen las características principales de los equipos y dispositivos que se usaron para la implementación del tablero de control de la máquina envasadora horizontal Volpak S-240 DF.

Para el dimensionamiento de alimentadores y dispositivos de protección se utilizaron las normas NEC para instalaciones industriales de bajo voltaje, información sobre automatización y accionamientos de Siemens y la hoja de especificaciones del servomotor Omron, las mismas que se adjuntan a continuación.

Tabla 2-1: *Capacidad máxima de dispositivos de protección.*

Letra clave	Protección de circuito de derivación en porcentaje de corriente de motor a plena carga			
	Arranque a pleno voltaje.		**Arranque a voltaje reducido.**	
NEMA	**Capacidad máxima de FUSIBLE**	**Ajuste máximo del INTERRUPTOR**	**Capacidad máxima de FUSIBLE**	**Ajuste máximo del INTERRUPTOR**
	[A]	**[A]**	**[A]**	**[A]**
A	150	150	150	150
B	250	200	200	200
C	250	200	200	200
D	250	200	200	200
E	250	200	200	200
F	300	250	250	200

Tabla 2-1: *Continuación.*

Letra clave	Protección de circuito de derivación en porcentaje de corriente de motor a plena carga			
	Arranque a pleno voltaje.		**Arranque a voltaje reducido.**	
NEMA	**Capacidad máxima de FUSIBLE**	**Ajuste máximo del INTERRUPTOR**	**Capacidad máxima de FUSIBLE**	**Ajuste máximo del INTERRUPTOR**
	[A]	**[A]**	**[A]**	**[A]**
G	300	250	250	250
H	300	250	250	200
J	300	250	250	200
K	300	250	250	200
L	300	250	250	200
M	300	250	250	200
N	300	250	250	200
P	300	250	250	200
R	300	250	250	200
S	300	250	250	200
T	300	250	250	200
U	300	250	250	200
V	300	250	250	200

LETRA CLAVE		**F**	**G**	**H**	**J**	**K**	**L**
(Hp)	**Trifásico**	más de 15	10 – 7.5	5	3	2 – 1.5	1
	Monofásico	---	5	3	2 – 5.5	1 – 0.75	0.5

[**Fuente:** SPITTA Albert. *Instalaciones eléctricas*.]

Arranques con auto transformador, estrella-triángulo, variador de velocidad son considerados como arranques a voltaje reducido.

Tabla 2-2: *Corriente a plena carga de motores trifásicos Jaula de ardilla.*

MOTOR		220 VAC	440 VAC
HP	**KW**	**A**	**A**
0.50	0.37	1.70	0.85
0.75	0.56	2.40	1.20
1.00	0.75	3.50	1.75
1.20	0.90	4.00	2.00
2.00	1.49	7.00	3.50
3.00	2.24	9.80	4.90
4.00	2.98	13.00	7.50
5.00	3.73	17.00	8.50
7.50	5.60	23.20	11.60
10.00	7.46	28.80	14.40
15.00	11.19	43.20	21.00
20.00	14.92	53.00	26.50
25.00	18.65	64.00	32.00
30.00	22.38	78.00	39.00
36.00	26.86	93.00	46.50
50.00	37.30	126.00	63.00
60.00	44.76	150.00	75.00
75.00	55.95	180.00	90.00
100.00	74.60	240.00	120.00
125.00	93.2	302.00	146.00
150.00	111.90	355.00	176.00
200.00	149.20	460.00	230.00

[**Fuente:** SIEMENS. *Automatización y accionamientos*. Folleto técnico]

Tabla 2-3: *Capacidad de corriente de conductores a 25ºC.*

CALIBRE	RESISTENCIA	CAPACIDAD MÁXIMA		DIMENSIONES	
(AWG)	**(Ω/100 m)**	**Tipo de cable**		**Diámetro**	**Área**
No		**UF**	**THW, TW, THWN**	**(mm)**	**(cm^2)**
4/0	0.01669	211	248	13.412	1.4129
3/0	0.02106	178	216	11.921	1.1161
2/0	0.02660	157	189	10.608	0.8839
1/0	0.03346	135	162	9.462	0.7032
2	0.05314	103	124	7.419	0.4322
4	0.08497	76	92	5.874	0.2710
6	0.1345	59	70	4.710	0.1742
8	0.2101	43	54	3.268	0.0839
10	0.3339	32	32	2.580	0.0523
12	0.5314	22	22	2.047	0.0329
14	0.8432	16	16	1.621	0.0206

[**Fuente:** SPITTA Albert. *Instalaciones eléctricas*.]

Estos valores contemplan hasta tres conductores por envoltura.

Tabla 2-4: *Especificaciones técnicas del servomotor R88M-U75030VA.*

Servomotores a 200 VAC.

Item	Unit	R88M -U03030H(A) -U03030VA	R88M -U05030H(A) -U05030VA	R88M -U10030H(A) -U10030VA	R88M -U20030H(A) -U20030VA	R88M -U40030H(A) -U40030VA	R88M -U75030H(A) -U75030VA
Rated output (see note)	W	30	50	100	200	400	750
Rated torque (see note)	N•m	0.095	0.159	0.318	0.637	1.27	2.39
	kgf•cm	0.974	1.62	3.25	6.49	13.0	24.3
Rated rotational speed	r/min	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Momentary maximum rotational speed	r/min	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500
Momentary maximum torque (see note)	N•m	0.29	0.48	0.96	1.91	3.82	7.10
	kgf•cm	2.92	4.87	9.75	19.5	39.0	72.9

Tabla 2-4: *Continuación.*

Item	Unit	R88M -U03030H(A) -U03030VA	R88M -U05030H(A) -U05030VA	R88M -U10030H(A) -U10030VA	R88M -U20030H(A) -U20030VA	R88M -U40030H(A) -U40030VA	R88M -U75030H(A) -U75030VA
Momentary maximum/ rated current ratio	%	310	317	322	300	308	316
Rated current (see note)	A (rms)	0.42	0.60	0.87	2.0	2.6	4.4
Momentary maximum current (see note)	A (rms)	1.3	1.9	2.8	6.0	8.0	13.9
Rotor inertia	$kg•m^2$ ($GD^2/4$)	0.21×10^{-5}	0.26×10^{-5}	0.40×10^{-5}	1.23×10^{-5}	1.91×10^{-5}	6.71×10^{-5}
	$kgf•cm•s^2$	0.21×10^{-4}	0.27×10^{-4}	0.41×10^{-4}	1.26×10^{-4}	1.95×10^{-4}	6.85×10^{-4}
Torque constant (see note)	N•m/A	0.255	0.286	0.408	0.355	0.533	0.590
	kgf•cm/A	2.60	2.92	4.16	3.62	5.44	6.01
Induced voltage constant (see note)	mV/ (r/min)	8.89	9.98	14.0	12.4	18.6	20.6
Power rate (see note)	kW/s	4.36	9.63	25.4	32.8	84.6	85.1
Mechanical time constant	ms	1.5	0.9	0.5	0.4	0.3	0.3
Winding resistance	Ω	15.8	9.64	6.99	1.34	1.23	0.45
Winding impedance	mH	23.1	16.9	13.2	7.2	7.9	5.7
Electrical time constant	ms	1.5	1.8	1.9	5.4	6.4	13
Weight	kg	Approx. 0.3	Approx. 0.4	Approx. 0.5	Approx. 1.1	Approx. 1.7	Approx. 3.4
Corresponding Servo Driver		R88D-UP02H(A) -UP02V	R88D-UP03H(A) -UP03V	R88D-UP04H(A) -UP04V	R88D-UP08H(A) -UP08V	R88D-UP12H(A) -UP12V	R88D-UP20H(A) -UP20V

[**Fuente:** OMRON. *Manual de usuario*. Folleto técnico]

2.1 ESQUEMA DE ELEMENTOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN.

De manera general, el esquema usado para dimensionar los elementos corte y protección de motores y de otras cargas presentes en el tablero, está formado por los siguientes elementos:

- **CIRCUITO ALIMENTADOR.**
  - Protección del alimentador (I_B).
  - Conductor del alimentador (I_A).

- **CIRCUITOS DERIVADOS.**
  - Protección del circuito derivado (I_C).
  - Conductor del circuito derivado (I_D).
  - Elemento de corte del circuito derivado (I_E).
  - Accionamiento de velocidad.
  - Motor.
  - Carga eléctrica.

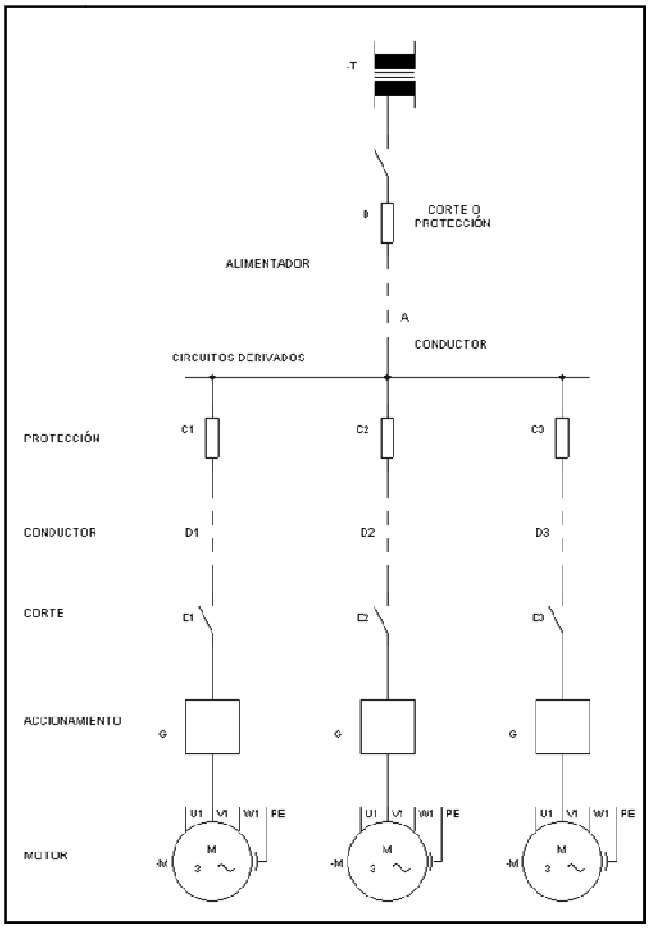


Figura 2-1: *Diagrama unifilar de elementos de corte y proteccion.*

2.2 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN EL TABLERO DE CONTROL.

El siguiente diagrama unifilar muestra la distribución de cargas en el tablero de control.

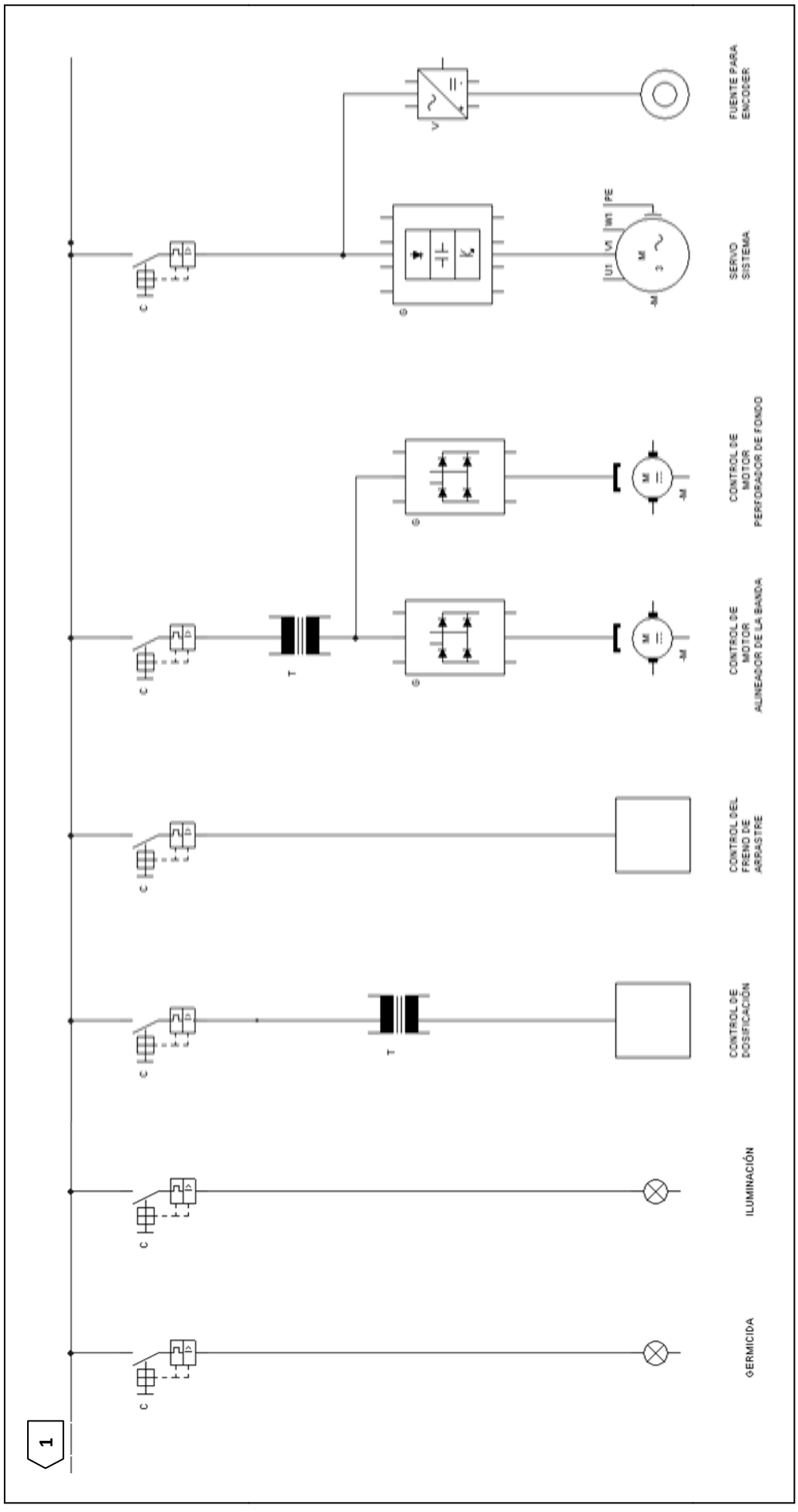


Figura 2-2: *Diagrama unifilar de cargas eléctricas del proceso de envasado.*

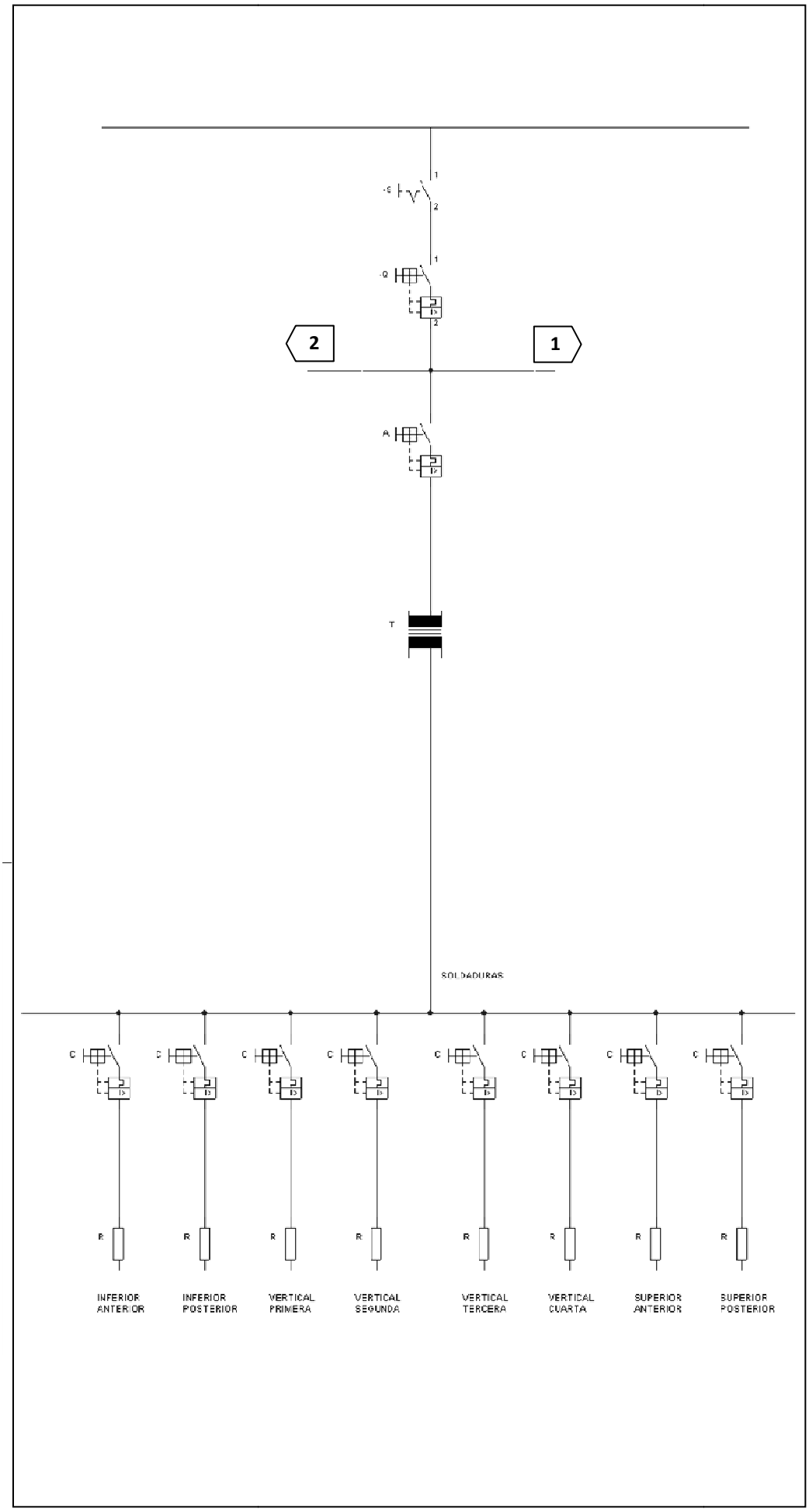


Figura 2-2: *Continuación.*

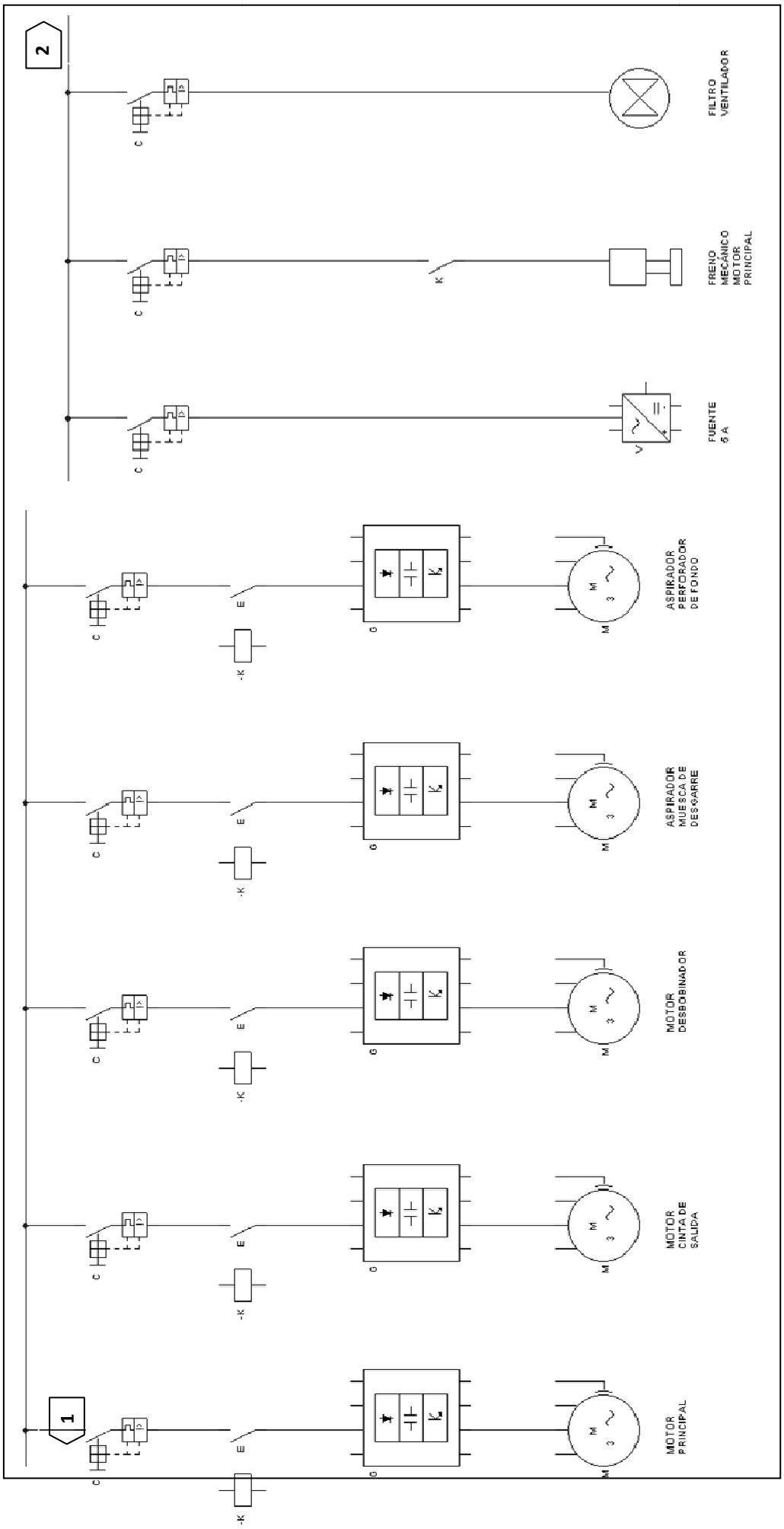


Figura 2-2: *Continuación*.

A continuación se dimensionará los dispositivos de protección, corte y accionamiento de las cargas eléctricas presentes en este proceso.

2.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y CORTE DE MOTORES.

La máquina envasadora cuenta con cinco motores trifásicos, tres de ellos accionados por variadores de velocidad y los dos restantes arrancan a pleno voltaje.

Tabla 2-5: *Motores de la máquina envasador Volpak S-240DF.*

MOTOR	POTENCIA (Hp)	VOLTAJE (V)	FRECUENCIA	TIPO DE ACCIONAMIENTO
Motor Principal del eje de levas.	3,00	220	50	Variador de velocidad.
Motor Cinta de salida.	0.33	220	50	Variador de velocidad.
Motor del desbobinador.	0.33	220	50	Variador de velocidad.
Aspirador retal muesca de desgarre.	0.25	220	60	Arranque directo
Aspirador retal perforador de fondo	0.25	220	60	Arranque directo.

2.3.1 PROTECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL DEL EJE DE LEVAS.

Como ya se mencionó en el capítulo uno, este motor es el encargado de mover el eje principal de la máquina envasadora.

2.3.1.1 Corriente de plena carga del motor (Ipc)

Para dimensionar los elementos de protección es necesario conocer la corriente de plena carga del motor (Ipc), la misma que se observa en la Tabla 2-2, según la potencia del motor.

POTENCIA	Ipc @ 220V
(hp)	(A)
3	9,80

2.3.1.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 3 conductores (sistema trifásico) más tierra y se estandarizará el número del conductor según la Tabla 2-3.

Circuito Derivado		CONDUCTOR
Ipc	Id = 1,25*Ipc	**(AWG)**
(A)	**(A)**	
9,80	12,25	14 (16A)

2.3.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic).

Para la protección de estos circuitos es importante reconocer qué tipo de arranque tiene el motor y qué tipo de motor se va a usar. Como elemento de protección, se usó interruptores termo magnético debido a las prestaciones de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Para el dimensionamiento, consideramos la letra clave de la potencia del motor presente en la Tabla 2-1.

POTENCIA **(Hp)**	TIPO	Arranque	LETRA CLAVE
3,00	Jaula de Ardilla	Variador de velocidad	J

Dimensionamiento del disyuntor del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	Ic = 2*Ipc ***(A)***	**(A)**
9,80	19,6	20

2.3.1.4 Dispositivo de corte. Contactor (Ie).

Como dispositivo de corte se utilizó un contactor.

Dimensionamiento del contactor del C. Derivado			
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del contactor***	***Voltaje Bobina del contactor***
(A)	Ie = 1,15*Ipc **(A)**	**(A)**	**(V)**
9,80	11,27	12 (AC3)	220

2.3.1.5 Accionamiento de velocidad.

El accionamiento de velocidad fue seleccionado tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- El **motor** principal del eje de levas tiene las siguientes características:
  - *Potencia del motor:* 2.2 Kw
  - Voltaje: 220/440 V.
  - *Corriente del motor: 9.80 A*
  - *Factor de servicio: 1.15*
- El **tipo de carga** presenta torque pulsante, debido a mediciones de corriente del motor principal, en donde se detectó altos valores el momento de arrastre del material, y una disminución el momento del regreso del ciclo del proceso.
- Es necesario una variación de velocidad del motor principal.
- Las **condiciones ambientales** de trabajo donde se instalará el variador son normales, donde la temperatura ambiente bordea 25ºC.
- Se requiere **estabilidad** en la velocidad del eje principal de levas.
- No se dispondrá de un sensor que realimente la velocidad de este motor, para lo cual se necesitará trabajar con control vectorial sensorless, garantizando el punto anterior.
- No se necesitará **freno regenerativo**.

Debido a estos requerimientos se decidió usar el variador de velocidad Micromaster 440 de Siemens, programado en control vectorial sin sensor, para cubrir con las especificaciones descritas anteriormente.

2.3.1.5.1 Variador de velocidad MicroMaster 440

El inversor MicroMaster 440 es confiable para una variedad de aplicaciones de velocidad variable, tales como, máquinas de producción para comida, tabaco, máquinas de empaquetado.

Características principales.

- Seis entradas digitales NPN/PNP aisladas y conmutables.
- Tres relés de salida.
- Dos salidas analógicas (0 – 20mA).
- Dos entradas analógicas. AIN1: 0 – 10V, 0 – 20mA y – 10 a +10V
  AIN2: 0 – 10V, 0 – 20mA.
  Las dos entradas analógicas se pueden utilizar como entrada digital.
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor.
- Tecnología de IGBTs en el puente inversor.
- Técnica de control vectorial:
  - Sin sensores (SLVC).
  - Con emisor (VC).
- Técnica de control escalar V/f:
  - Control de flujo de corriente FCC, para mejorar la respuesta dinámica y control del motor.
  - Característica V/f multipunto.
  - Limitación rápida de corriente FCL, para funcionamiento libre de disparos intempestivos.
- Freno por inyección de corriente continua integrada.
- Frenado compuesto o combinado para mejorar las prestaciones del frenado.
- Emisor de velocidad máxima
  - Con redondeo.
  - Sin redondeo.
- Control de lazo cerrado, utilizando una función PID (proporcional, integral y derivativo) con auto ajuste.
- Rampas de aceleración y desaceleración programables.

- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.
- Para potencias menores se puede trabajar con sistemas monofásicos.
- Diseño robusto en cuanto a CEM (Compatibilidad Electromagnética).
- Tecnología BiCo, para configurar operaciones básicas booleanas con las entradas digitales.
- Opciones externas para comunicación por PC, panel básico de operación (BOP), panel avanzado de operación (AOP) y módulo de comunicación PROFIBUS.

Características de protección:

- Protección de sobre y mínima tensión.
- Protección de sobre temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.
- Protección de cortocircuito.
- Protección térmica del motor por I2t.
- Protección térmica del motor mediante sondas PTC/KTY.

Figura 2-3: *Variador de velocidad Micromaster 440 de Siemens.*

En la Figura 2-4, se muestra el diagrama general del variador de velocidad Micromaster 440 de Siemens.

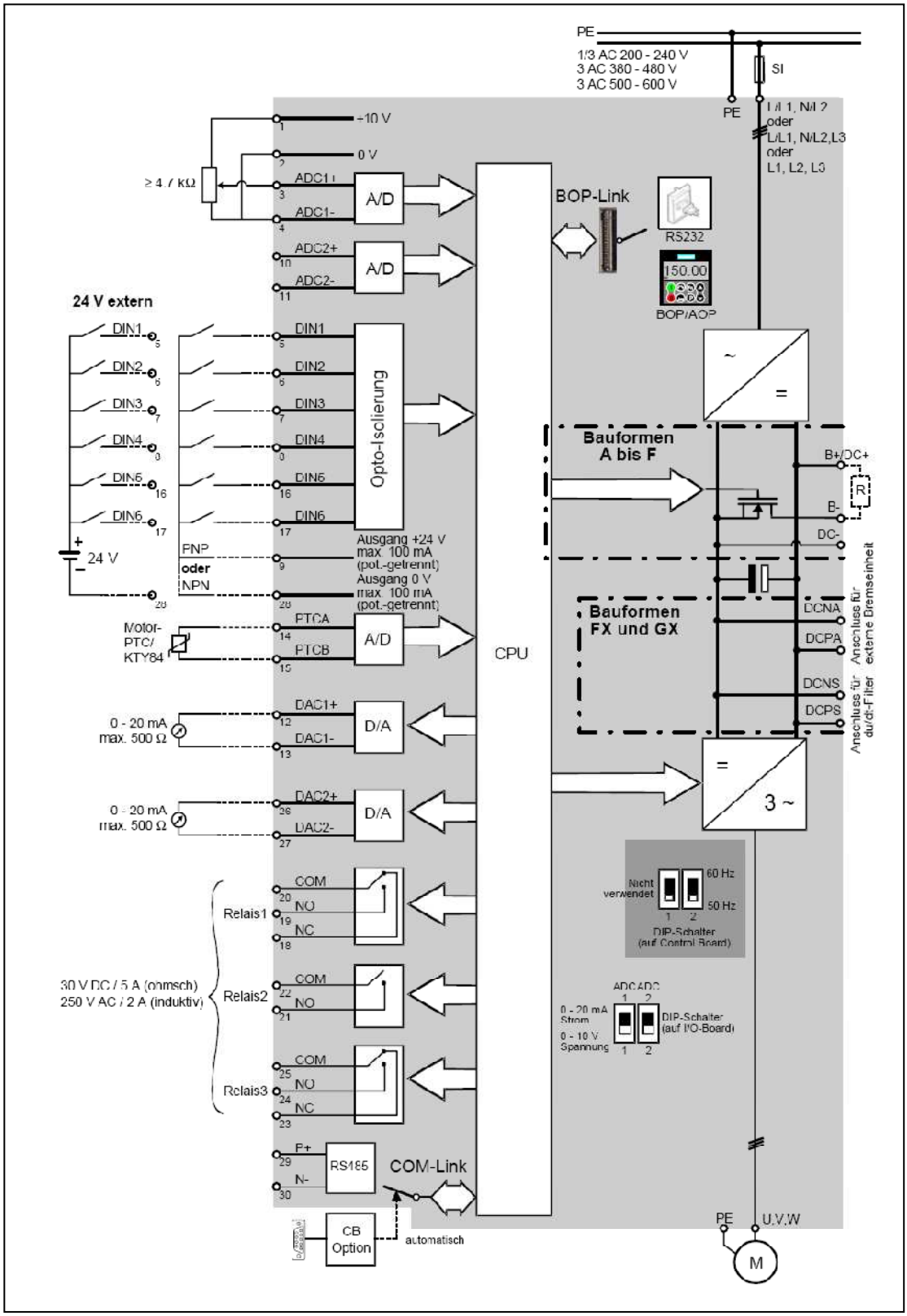


Figura 2-4: *Diagrama general del variador de velocidad Micromaster 440.*

2.3.2 PROTECCIÓN DEL MOTOR DE CINTA DE SALIDA.

El dimensionamiento de la protección del motor de cinta de salida tiene la misma metodología que el motor principal del eje de levas, de modo que los resultados serán resumidos en la Tabla 2-6.

2.3.2.1 Accionamiento de velocidad.

El accionamiento de velocidad fue seleccionado tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- El **motor** cinta de salida tiene las siguientes características:
  - *Potencia del motor:* 0.250 Kw
  - Voltaje: 220/440 V.
  - *Corriente del motor: 1.20 A*
  - *Factor de servicio: 1.10*
- El **tipo de carga** presenta torque constante, ya que es una banda transportadora.
- Es necesario una variación de la velocidad del motor de la cinta de salida.
- Las **condiciones ambientales** de trabajo donde se instalará el variador son normales, donde la temperatura ambiente bordea 25ºC.
- No es necesaria una **fina regulación** en la velocidad del motor de cinta de salida.
- No se necesitará **freno regenerativo**.

Debido a estos requerimientos se decidió usar el variador de velocidad Sinamics G110 de Siemens de ¾ de Hp, programado para control escalar, para cubrir con las especificaciones descritas anteriormente.

2.3.2.1.1 Variador de velocidad Sinamics G110.

SINAMICS G110 es un inversor de frecuencia con básicas funciones para una gran variedad de aplicaciones industriales de velocidad variable.

La particularidad del diseño compacto permite operar con tan solo dos fases en la alimentación hasta potencias de 4 hp.

Es ideal por su bajo costo para aplicaciones de baja potencia, tales como la industria de la comida, textil y de empaquetamiento, así como bombas, ventiladores, sistemas de cinta de transporte.

Características principales.

- Trabaja con sistemas monofásicos (200 – 240 VAC) hasta potencias de cuatro Hp.
- Tres entradas digitales PNP programables, no aisladas.
- Una salida a transistor, tipo NPN aislada, máximo 50 mA.
- Entrada analógica (0 – 10 V) escalable. Se puede programar para que sea una entrada digital.
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor.
- Tecnología de IGBTs en el puente inversor.
- Método de control escalar V/f.
    - Lineal V/f con voltaje de boost programable.
    - Cuadrático V/f.
    - Característica V/f multipunto programable.
- Freno por inyección de corriente continua integrada.
- Rampas de aceleración y desaceleración programables.
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.
- Diseño robusto en cuanto a CEM (Compatibilidad Electromagnética).

- Opciones externas para comunicación por PC y panel básico de operación (BOP).

Características de protección:

- Protección de sobre y mínima tensión.
- Protección de sobre temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.
- Protección de cortocircuito.
- Protección térmica del motor por I2t.
- Protección de sobre temperatura del motor.

Figura 2-5: *Variador de velocidad Sinamics G110 de Siemens.*

En la Figura 2-6, se muestra el diagrama general del variador de velocidad Sinamics G110 de Siemens.

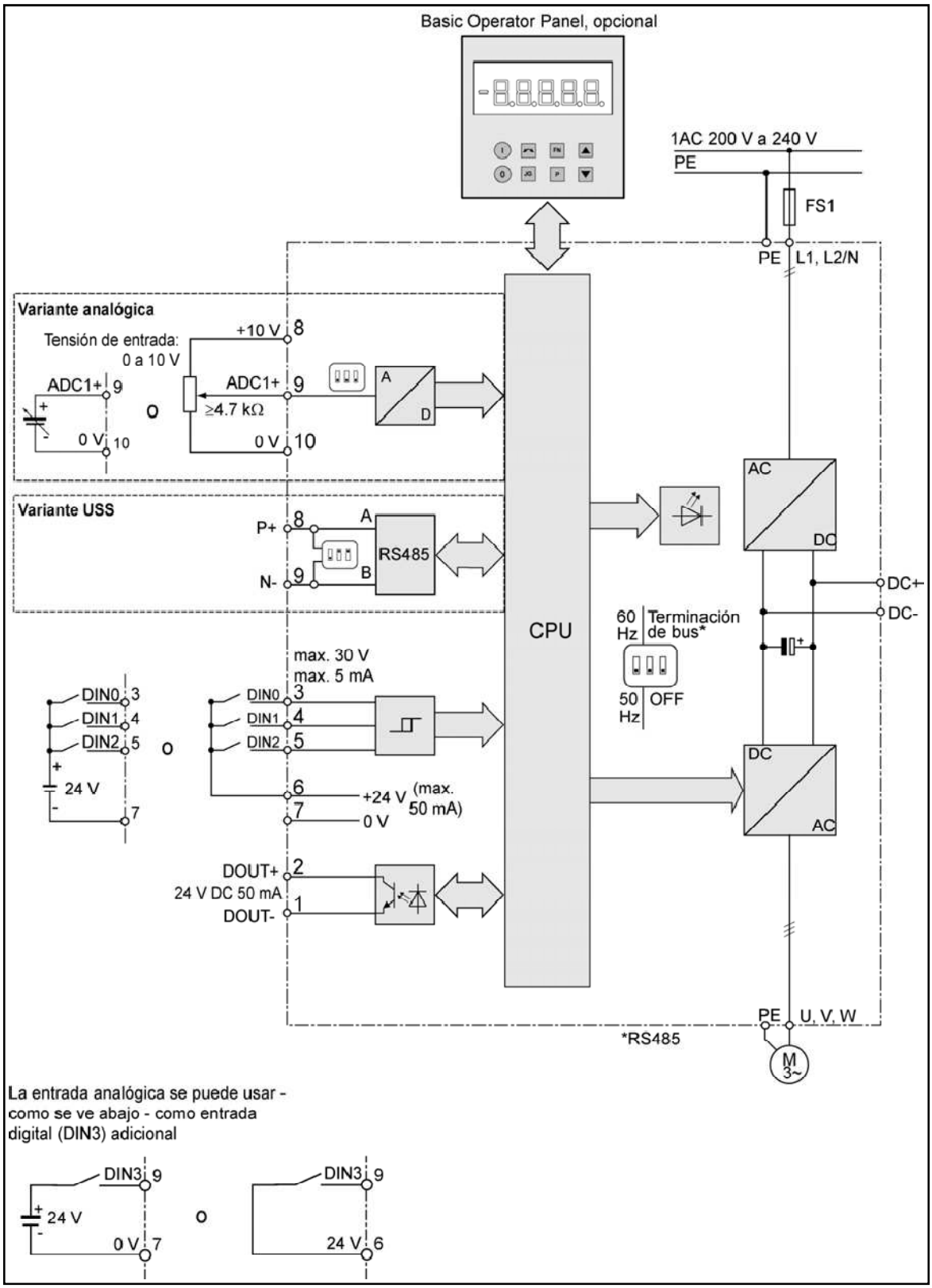


Figura 2-6: *Diagrama general del variador de velocidad Sinamics G110.*

2.3.3 PROTECIÓN DEL MOTOR DESBOBINADOR DE MATERIAL.

El dimensionamiento de la protección del motor de cinta de salida tiene la misma metodología que el motor principal del eje de levas, de modo que los resultados serán resumidos en la Tabla 2-6.

2.3.3.1 Accionamiento de velocidad.

El accionamiento de velocidad fue seleccionado tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- El **motor** desbobinador de material tiene las siguientes características:
  - *Potencia del motor:* 0.250 Kw
  - Voltaje: 220/440 V.
  - *Corriente del motor: 1.20 A*
  - *Factor de servicio: 1.10*
- El **tipo de carga** presenta torque constante, debido a que la carga es similar al de una banda transportadora. El material desbobinado se desplaza entre dos rodillos, el rodillo pisador y el rodillo giratorio, al cual está acoplado el motor desbobinador.
- Es necesario una variación de la velocidad del motor de la cinta de salida.
- Las **condiciones ambientales** de trabajo donde se instalará el variador son normales, donde la temperatura ambiente bordea 25ºC.
- No es necesaria una **fina regulación** en la velocidad del motor de cinta de salida.
- No se necesitará **freno regenerativo**.

Debido a estos requerimientos se decidió usar el variador de velocidad Sinamics G110 de Siemens de ¾ de Hp, programado para control escalar, para cubrir con las especificaciones descritas anteriormente.

2.3.4 PROTECCIÓN DEL MOTOR ASPIRADOR RETAL MUESCA DE DESGARRE.

Este motor está trabajando como aspirador de desperdicios provenientes del corte del empaque en forma de u. El motor es accionado directamente a voltaje

nominal, y el dimensionamiento de la protección del mismo se detalla a continuación.

2.3.4.1 Corriente de plena carga (Ipc)

POTENCIA	Ipc @ 220V
(hp)	(A)
1/4	0,7

2.3.4.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 3 conductores (sistema trifásico) más tierra.

Circuito Derivado		CONDUCTOR
Ipc	Id = 1,25*Ipc	**(AWG)**
(A)	**(A)**	
0,7	0,88	18 (10A)

2.3.4.3 Protección del Circuito Derivado (Ic).

POTENCIA **(Hp)**	TIPO	Arranque	LETRA CLAVE
1/4	Jaula de Ardilla	A pleno voltaje	L

Debido a que este motor arranca a pleno voltaje, será protegido con un guarda motor.

Dimensionamiento de la protección del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Margen estándar del guarda motor***
(A)	Ic = 1,25*Ipc ***(A)***	**(A)**
0,7	0,88	0.7 – 1.0

2.3.4.4 Dispositivo de corte. Contactor (Ie).

Dimensionamiento del contactor del C. Derivado			
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del contactor***	***Voltaje Bobina del contactor***
(A)	Ie = 1,15*Ipc **(A)**	**(A)**	**(V)**
0,7	0,81	12 (AC3)	220

2.3.5 PROTECCIÓN DEL MOTOR ASPIRADOR RETAL PERFORADOR DE FONDO.

El dimensionamiento de la protección del motor aspirador retal perforador de fondo tiene la misma metodología que el motor aspirador retal muesca de desgarre, de modo que los resultados serán resumidos en la Tabla 2-6.

2.3.6 PROTECCIÓN DEL SERVOMOTOR DE ARRASTRE DE MATERIAL.

Este servomotor controlado por un driver en un lazo de control de posición es el encargado de desplazar el material hacia las secciones de soldadura, en función del movimiento del cuerpo de arrastre. Los elementos de protecciones y corte serán dimensionados con la misma metodología usada anteriormente y los resultados serán resumidos en la Tabla 2-6.

2.3.7 PROTECCIÓN DEL VENTILADOR DE AIRE

Este ventilador es el encargado de mantener la temperatura del interior del tablero de control en condiciones óptimas de funcionamiento. Los elementos de protecciones y corte serán dimensionados con la misma metodología usada anteriormente y los resultados serán resumidos en la Tabla 2-6.

2.3.8 RESUMEN DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN Y CORTE PARA LOS MOTORES DE LA MÁQUINA VOLPAK S-240 DF.

A continuación se resume los elementos de protección y corte para los motores presentes en la máquina envasadora horizontal Volpak.

Tabla 2-6: *Resumen de dispositivos de protección y corte de motores.*

MOTOR	POTENCIA	CORR. NOM.	CIRCUITO DERIVADO				
			CONDUCTOR	PROTECCIÓN	CORTE		ACCIONAMIENTO
					CONTACTOR	BOBINA	
	(HP)	(A)	(AWG)	(A)	(A)	(V)	
Motor Principal del eje de levas	3.00	9.80	3x14 (16 A) y tierra	Disyuntor / 20	12 (AC3)	220	Variador de velocidad MicroMaster 440.
Motor Cinta de salida	0.33	1.20	3x18 (10 A) y tierra	Disyuntor / 4	12 (AC3)	220	Variador de velocidad Sinamics G110.
Motor desbobinador	0.33	1.20	3x18 (10 A) y tierra	Disyuntor / 4	12 (AC3)	220	Variador de velocidad Sinamics G110.
Aspirador retal muesca de desgarre	0.25	0.7	3x18 (10 A) y tierra	Guarda motor / 0.7 – 1.0	12 (AC3)	220	Arranque a pleno voltaje
Aspirador retal perforador de fondo	0.25	0.7	3x18 (10 A) y tierra	Guarda motor / 0.7 – 1.0	12 (AC3)	220	Arranque a pleno voltaje
Servo motor de Arrastre de material	1	4.40	3x18 (10 A) y tierra	Disyuntor / 10	12 (AC3)	220	Servo driver
Ventilador de aire	0.06	0.20	2x18 (10 A) y tierra	Disyuntor / 0.5			Arranque a pleno voltaje

2.4 SOLDADURAS DE SELLADO.

Existen ocho estaciones de sellado instaladas en la máquina, cada una con resistencias tubulares insertadas en cada mordaza operando a 48 VAC, por motivos de seguridad operativa en la industria de empaques flexibles.

Para lo cual, un transformador reductor 220/48 VAC deberá ser dimensionado.

A continuación se muestran especificaciones de las resistencias tubulares.

Tabla 2-7: *Especificaciones técnicas y ubicación de las resistencias eléctricas en las estaciones de sellado.*

POSICIÓN	CANTIDAD	POTENCIA (W)	CORRIENTE (A)
Inferior delantera	2	500	20,83
Inferior trasera	2	500	20,83
Vertical primera	2	500	20,83
Vertical segunda	2	500	20,83
Vertical tercera	2	500	20,83
Vertical cuarta	2	500	20,83
Superior delantera	2	275	11,45
Superior trasera	2	275	11,45

La Figura 2-7, muestra la distribución eléctrica de las resistencias del sellado.

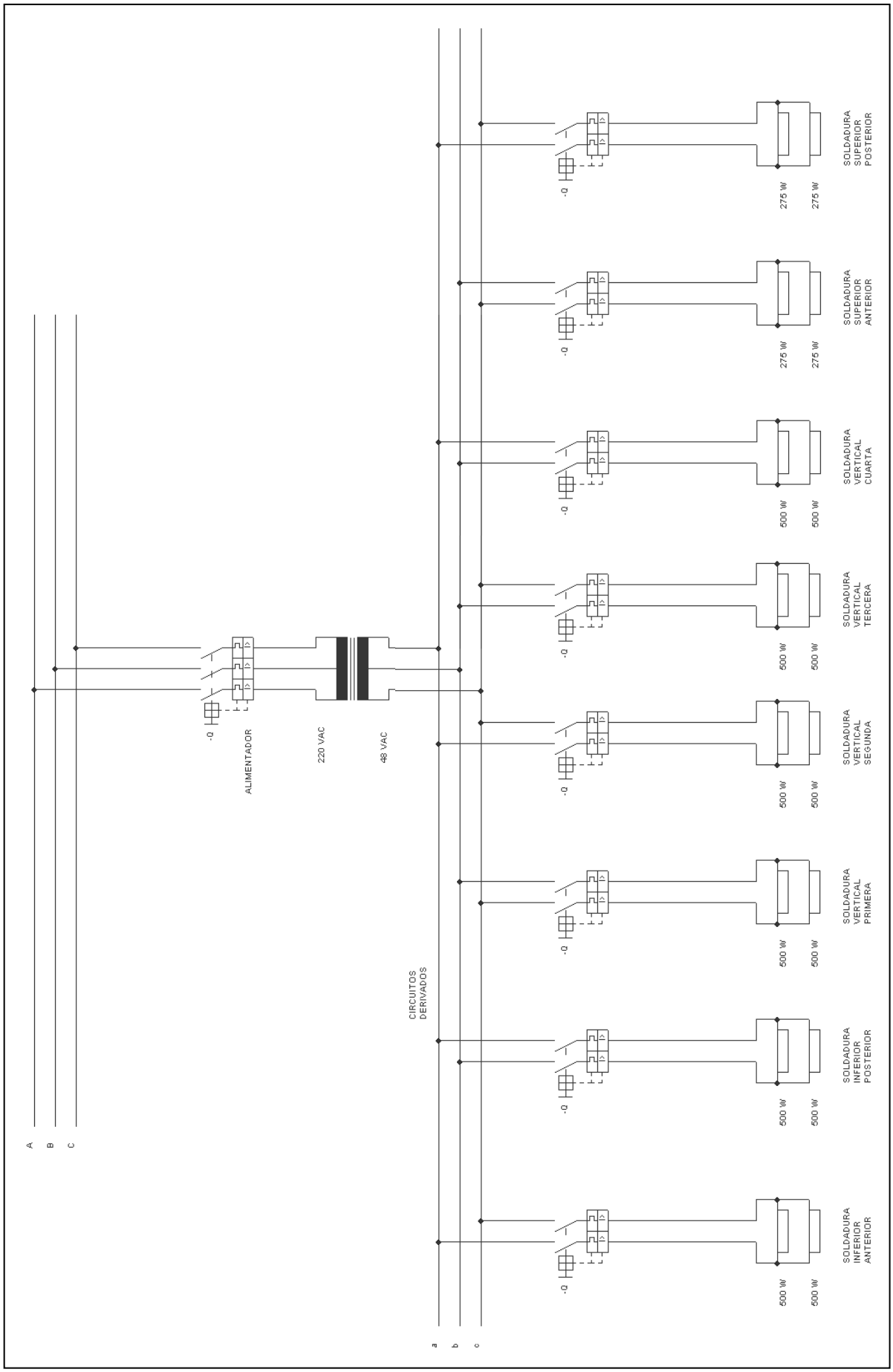


Figura 2-7: *Distribución eléctrica de las resistencias de sellado*

En los siguientes párrafos se diseñarán las protecciones para las soldaduras, en el lado de baja del transformador.

2.4.1 PROTECCIÓN DE LAS SOLDADURAS DE 1000 W.

Este grupo está conformado por las dos soldaduras inferiores y las cuatro soldaduras verticales.

2.4.1.1 Corriente de plena carga (Ipc)

POTENCIA	**Ipc @ 48V**
(W)	(A)
1000	20,83

2.4.1.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 2 conductores (Dos fases).

Circuito Derivado		**CONDUCTOR**
Ipc	Id = 1,25*Ipc	**(AWG)**
(A)	**(A)**	
20,83	26,04	10 (32A)

2.4.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic).

Dimensionamiento del disyuntor del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	Ic = 1,25*Ipc ***(A)***	**(A)**
20,83	26,04	25

El disyuntor implementado fue de 25 A, porque se encuentra dentro del margen de sobredimensionamiento (20%), ya que el inmediato superior era de 32 A (margen de 53% de sobredimensionamiento), lo que no va a provocar una protección adecuada.

2.4.2 PROTECCIÓN DE LAS SOLDADURAS DE 550 W.

Este grupo está conformado por las dos soldaduras superiores.

2.4.2.1 Corriente de plena carga (Ipc)

POTENCIA	**Ipc @ 48V**
(W)	(A)
550	11,45

2.4.2.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 2 conductores (dos fases).

Circuito Derivado		**CONDUCTOR**
Ipc	Id = 1,25*Ipc	**(AWG)**
(A)	**(A)**	
11,45	14,31	12 (22A)

2.4.2.3 Protección del Circuito Derivado (Ic).

Dimensionamiento del disyuntor del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	Ic = 1,25*Ipc ***(A)***	**(A)**
11,45	14,31	16

2.4.3 TRANSFORMADOR DE SELLADO.

Debido a factores de seguridad operativa, el voltaje aplicado a las resistencias tubulares debe ser de 48 VAC, es por eso que se dimensionará un transformador reductor 220/48 VAC para energizarlas.

Para determinar la potencia del transformador se sumó todas las potencias activas de las resistencias instaladas, obteniendo:

$$P = (6 \cdot 1000) + (2 \cdot 550) = 7100W$$
$$P = S \cos\theta$$
$$S = \frac{P}{\cos\theta} = \frac{7100W}{1} = 7{,}1KVA$$

Con base a esa potencia de carga, un transformador trifásico de 10 KVA, tipo seco, 220/48 VAC, 60 Hz deberá ser instalado.

2.4.4 PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE SELLADO.

Según la Figura 2-8, se observa que cada resistencia tubular es llevada por dos conductores al lado de baja (48 VAC) del transformador, mencionado anteriormente. Entonces, la protección de las ocho soldaduras será diseñada en el lado de alta (220 VAC) del transformador, según la tabla 450.3 (B) de las normas NEC 2002, la misma que se adjunta en el Anexo Nº2.

La relación de transformación del transformador es:

$$N = \frac{220}{48} = 4{,}58$$

2.4.4.1 Conductor del circuito alimentador (IaT).

Como se observa en la Figura 2-8, el circuito alimentador es llevado por 3 conductores (sistema trifásico).

El calibre del conductor del circuito alimentador del transformador se dimensionará en función de la corriente nominal del mismo.

La distribución de las resistencias en el transformador no es un sistema trifásico balanceado como se aprecia en la siguiente figura.

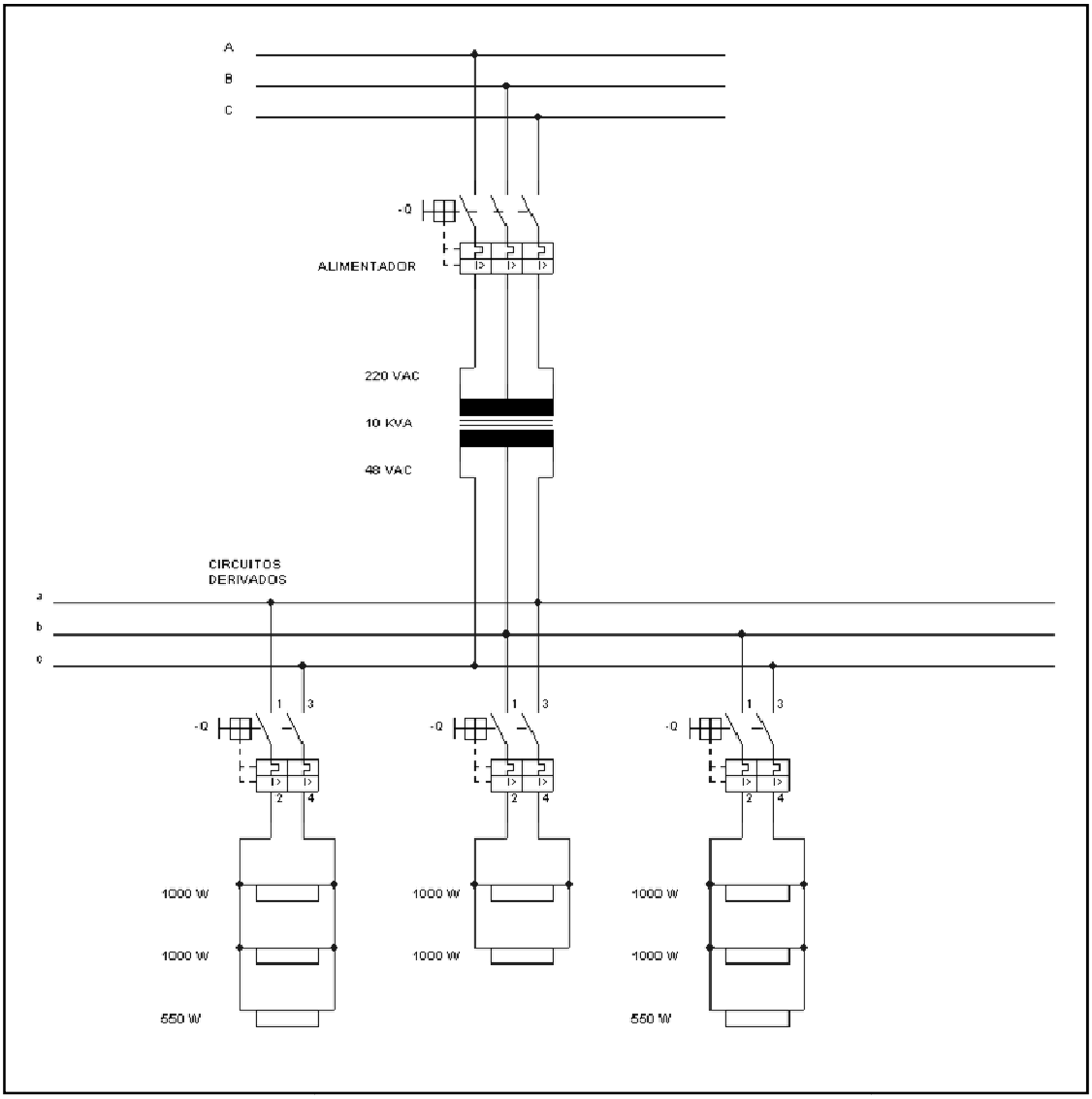


Figura 2-8: *Agrupación de resistencias con fases comunes.*

La corriente nominal (Inom) del transformador en el lado de alta es de 26.27 A, con este valor será dimensionado el calibre del conductor del circuito alimentador.

ALIMENTADOR	
IaT=1.25*Inom	**CONDUCTOR**
(A)	AWG
32.83	10 (32 A)

2.4.4.2 Protección del circuito alimentador (IbT).

Según la norma NEC 450.3(B) establece que la protección para transformadores menores de 600 V y con corrientes en el primario mayores a 9 A debe ser del 125% de la corriente nominal del transformador.

Dimensionamiento de la protección del C. Alimentador		
Inom	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	IbT=1,25*Inom ***(A)***	**(A)**
26.27	32.84	32

2.5 GERMICIDA

Cuatro fluorescentes germicidas UV-C están instalados en la máquina, cada una de tipo G15T8. La potencia de cada una es de 15W. Además, cuatro reactancias para fluorescentes, de 20W, distribuidas en serie se hallan instaladas es esta sección.

2.5.1 PROTECCIÓN DEL GERMICIDA

2.5.1.1 Corriente de plena carga (Ipc)

Debido a que son cuatro fluorescentes distribuidas en paralelo y cuatro reactancias en serie a las anteriores, se tiene una potencia resultante de 140W.

POTENCIA	Ipc @ 220V
(W)	(A)
140	0,64

2.5.1.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 2 conductores (dos fases).

Circuito Derivado		CONDUCTOR
Ipc	Id = 1,25*Ipc	(AWG)
(A)	(A)	
0,64	0,8	18 (10A)

2.5.1.3 Protección del circuito derivado (Ic).

Dimensionamiento de la protección del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	Ic = 1,25*Ipc ***(A)***	**(A)**
0,64	0,8	1,00

2.6 ILUMINACIÓN.

En la máquina existen dos regiones a iluminar, la bancada superior y la bancada inferior. En la bancada inferior se encuentran instaladas tres lámparas fluorescentes IP65 de 100W@220V. Y en la bancada superior, se encuentran tres fluorescentes de 100W cada una.

2.6.1 PROTECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN.

2.6.1.1 Corriente de plena carga (Ipc)

Debido a que las fluorescentes se encuentran distribuidas en paralelo, la potencia total de la iluminación es de 600W.

POTENCIA	Ipc @ 220V
(W)	(A)
600	2,80

2.6.1.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 2 conductores (dos fases).

Circuito Derivado		CONDUCTOR
Ipc	Id = 1,25*Ipc	(AWG)
(A)	(A)	
2,80	3,5	18 (10A)

2.6.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic).

Dimensionamiento de la protección del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	Ic = 1,25*Ipc ***(A)***	**(A)**
2,80	3,5	4

2.7 MÓDULOS ELECTRÓNICOS ADICIONALES.

En el tablero de control se encuentran instaladas cuatro tarjetas electrónicas de control. Dos de ellas, controlan la velocidad de los motores de corriente continua y el sentido de giro, un módulo de control para el freno del cuerpo de arrastre de material y una tarjeta de control para la activación del freno del cuerpo de arrastre.

Estos módulos son partes originales de la máquina, que se encontraban disponibles como reemplazo.

2.7.1 TARJETA ELECTRÓNICA PARA MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.

La máquina tiene instalados dos motores de corriente continua (DC) en el área de desbobinado. El primer motor DC permite corregir transversalmente la posición de un rodillo en la sección del perforador de fondo y el segundo motor DC permite la alineación de la banda, acciones descritas en detalle en el primer capítulo.

Cada tarjeta puede variar la velocidad del motor y el sentido de giro, desde el tablero de control.

El accionamiento de los motores puede ser de manera manual, con los selectores instalados en cada área, o automáticamente, mediante la lógica de control del módulo, recibiendo las señales del PLC.

2.7.1.1 Lógica de control de la tarjeta electrónica.

La alimentación del módulo es de 24 VAC, debido a esto, un transformador de 100VA, se encuentra instalado para acoplar la alimentación de 220V del tablero general. Cada tarjeta tiene una fuente continua de voltaje, rectificada, filtrada y regulada a 12 VDC para alimentar a los circuitos integrados. También se destina 24 VDC de la parte filtrada de la fuente, para accionar al motor DC. Y un fusible de 2,5 A se usa para la protección de cada módulo.

Tres integrados realizan la lógica de control de este módulo. El integrado LMD18200 que permite manejar al motor DC. Y los integrados HEF 4093BP y HCF 4098 E que realizan el control.

El integrado LMD18200 es un puente H de 3 amperios, diseñado para aplicaciones de control de movimiento. El dispositivo está construido con una tecnología que combina la circuitería de control bipolar y CMOS, con dispositivos de potencia DMOS en el mismo integrado, como se observa en la Figura 2-9.

Este integrado es el responsable de controlar el sentido de giro del motor DC, mediante el puente H incorporado y las señales de habilitación de sentido de giro.

Además, debido a la configuración que presenta, es posible ingresar señales PWM con variación de ancho de pulso para modificar la velocidad del motor. Estas señales son emitidas por el integrado HCF4098E.

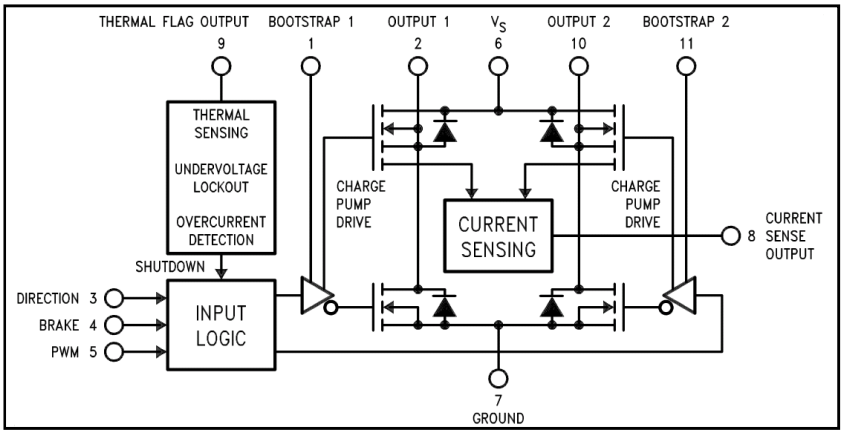


Figura 2-9: *Estructura interna del integrado LMD18200.*

El integrado HEF 4093BP son cuatro compuertas NAND de dos entradas, las mismas que tienen schmitt trigger en cada una para poder detectar flancos.

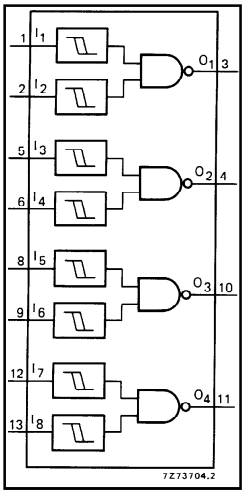


Figura 2-10: *Estructura interna del integrado HEF 4093BP.*

El integrado HCF 4098E es un multivibrador dual monoestable. Una resistencia externa (Rx) y un capacitor externo (Cx) modifican el ancho del pulso de la señal PWM que genera.

Este integrado será el responsable de enviar pulsos PWM, al puente H, variando el tiempo en alto de la señal, para que mediante la configuración de chopper DC permita variar la velocidad.

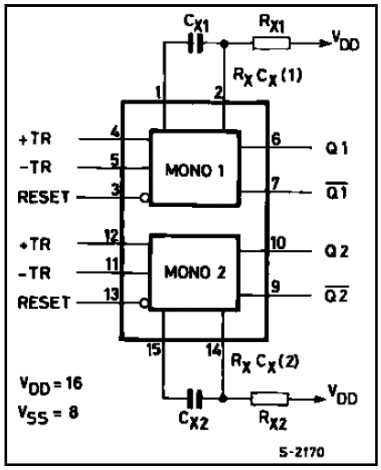


Figura 2-11: *Estructura interna del integrado HCF 4098E*

Cada tarjeta posee un fusible de protección, pero adicionalmente se instaló un dispositivo de protección para ambas tarjetas, el mismo que se describe a continuación.

2.7.1.2 Corriente de plena carga (Ipc)

Cada motor posee las siguientes características:

Voltaje: 24 VDC

Corriente: 2.3 A

Cada tarjeta toma 24 VAC del transformador monofásico de 100 VA (220:24), instalado en el tablero. De este modo, las protecciones serán dimensionadas de acuerdo a la tabla 450.3 (B) de las normas NEC, para el lado de alta del transformador.

Ipc @ 24 VDC
(A)
2.3

2.7.1.3 Conductor del circuito derivado (IdT).

Se trabajará con 2 conductores (dos fases).

La corriente nominal (Inom) del transformador en el lado de alta es de 0.46 A, con este valor será dimensionado el calibre del conductor del circuito alimentador.

Circuito Derivado		
Inom	***IdT=1,25*Inom***	**CONDUCTOR**
(A)	(A)	AWG
0,46	0,58	18 (10 A)

2.7.1.4 Protección del Circuito Derivado (IcT).

Según la norma NEC 450.3(B) establece que la protección para transformadores menores de 600 V y con corrientes en el primario menores a 2 A debe ser del 300% de la corriente nominal del transformador.

Dimensionamiento de la protección del C. Derivado		
Inom	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	IcT = 3,0*Inom ***(A)***	**(A)**
0.46	1.38	2

2.7.2 MÓDULO ELECTRÓNICO DE CONTROL DE FRENO DEL CUERPO DE ARRASTRE.

El freno del cuerpo de arrastre está conformado por dos tarjetas, que configuran una arquitectura de chopper de DC, con el control en la tarjeta de activación (Tarjeta FCR).

Esta configuración está formada por una etapa de rectificación, filtrado y un interruptor de potencia, IRFPG50.

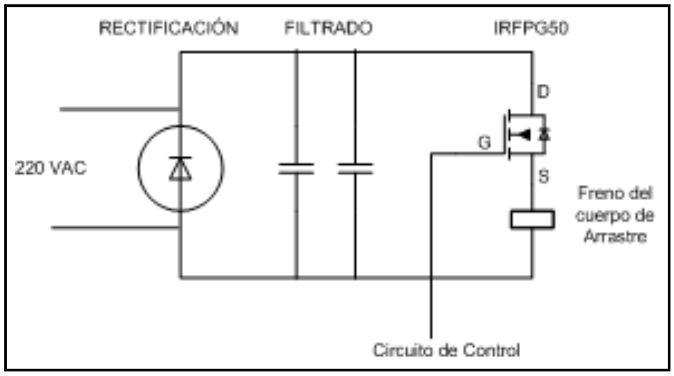


Figura 2-12: *Configuración del freno del cuerpo de arrastre.*

El IRFPG50 es un mosfet de potencia con las siguientes características:

- **Voltaje máximo:** 1000 V.
- **Resistencia de disparo:** 2 Ohm.
- **Corriente máxima de drenaje:** 6,1 A

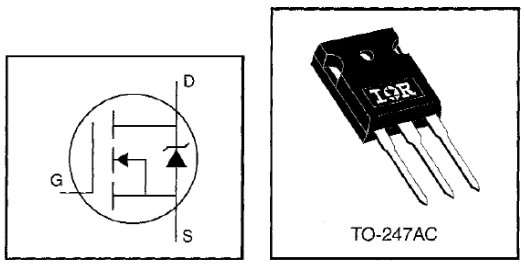


Figura 2-13*: Mosfet de potencia IRFPG50.*

El freno del cuerpo de arrastre actúa cuando el mosfet es activado por el circuito de control de la tarjeta FCR, aplicando un voltaje continuo al freno.

Esta tarjeta posee un fusible de protección.

2.7.3 TARJETA DE CONTROL PARA LA ACTIVACIÓN DEL FRENO DEL CUERPO DE ARRASTRE (TARJETA FCR).

De manera general, esta tarjeta realiza el disparo de control, para la activación del freno del cuerpo de arrastre.

Esta tarjeta tiene un integrado CD4093BCN (cuatro compuertas NAND con Schmitt trigger) para detectar la señal proveniente del sensor de marcas y compararlo con la señal de habilitación del PLC (Habilitar Freno de arrastre).

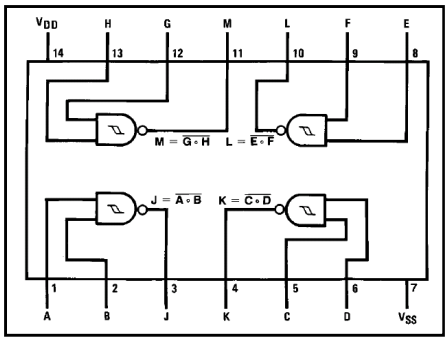


Figura 2-14: *Estructura interna del integrado CD4093BCN.*

Cuando están encendidas ambas señales, la lógica de este integrado y los demás componentes de esta tarjeta, activan un relé de estado sólido. Este relé activará la compuerta del Mosfet de potencia de la tarjeta anterior.

Un relé de estado sólido es usado debido a la frecuencia de conmutación de esta operación.

El relé de estado sólido tiene las siguientes características:

- **Voltaje de control:** 3 – 32 VDC.
- **Salida:** 3A @ 60 VDC.

2.8 DISPOSITIVO DE PARO DE EMERGENCIA.

El dispositivo PNOZ 16S de la marca PILZ, se halla instalado en el tablero para la supervisión de pulsadores de parada de emergencia, puertas protectoras, alfombras de seguridad y perfiles sensibles de seguridad.

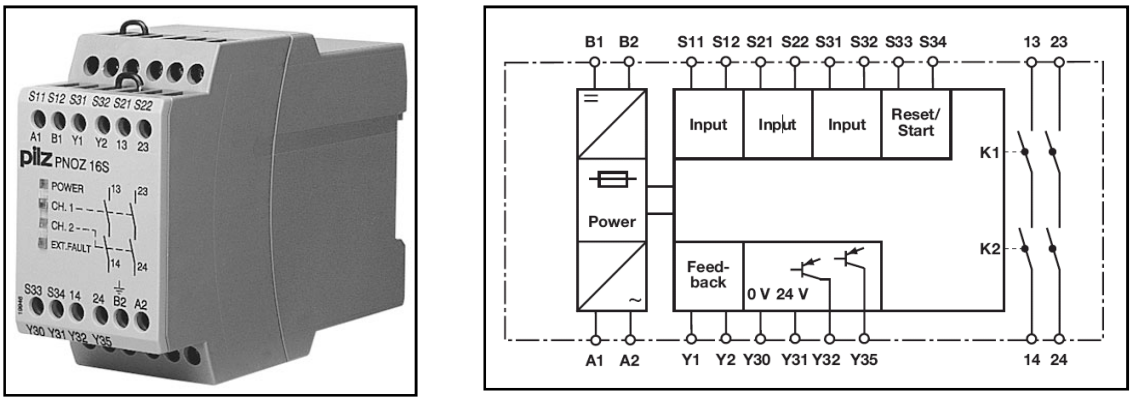


Figura 2-15: *Estructura externa (izquierda) e interna (derecha) del dispositivo de seguridad PNOZ***.**

Básicamente, el dispositivo detecta la apertura de cualquier pulsador de parada de emergencia, la apertura de las puertas de la máquina o la seguridad por cable instalada en la parte posterior de la misma, debido a que todos estos dispositivos se encuentran conectados en serie.

Una vez abierto el circuito, el dispositivo abre los dispositivos de corte de los motores, contactores del motor principal del eje de levas y motor cinta de salida, garantizando que la máquina detenga los procesos más importantes y evite accidentes frente a una parada de emergencia.

El siguiente diagrama de tiempos demuestra su funcionamiento.

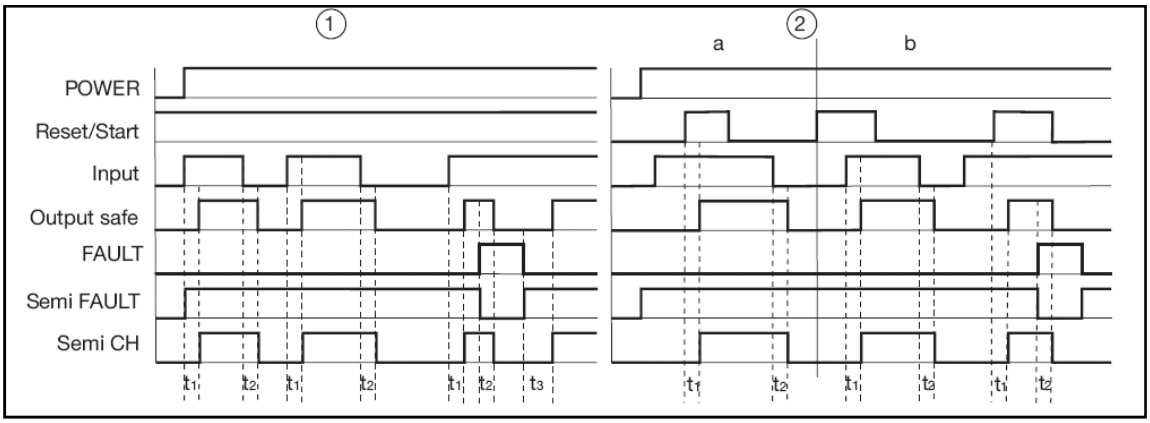


Figura 2-16: *Diagrama de tiempos del dispositivo de seguridad PNOZ.*

Donde

NOMBRE	DESCRIPIÓN		
POWER	Tensión de alimentación	**1**	Rearme automático
Reset/Start	Circuito de rearme S33-S34	**2**	Rearme manual
Input	Circuitos de entrada S11-S12, S21-S22, S31-S32.	**a**	Circuito de entrada cierra antes de circuito de rearme
Output safe	Contactos de seguridad 13-14, 23-24.	**b**	Circuito de rearme, cierra antes de circuito de entrada
Out semi FAULT	Salida por semiconductor tension de alimentación Y35	**t1**	Retardo a la conexión
Out semi CH	Salida por semiconductor estado de conmutación Y32	**t2**	Retardo a la desconexión
FAULT	Derivación en el circuito d entrada al pisar alfombra de seguridad.	**t3**	Tiempo de recuperación tras una derivación

2.9 OPTOACOPLADORES DE POTENCIA

El tablero de control dispone de cuatro Photo Mos de potencia (AQZ102) con su respectivo zócalo de la marca NAIS.

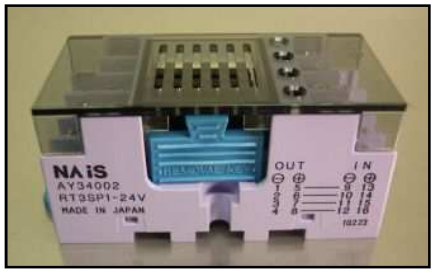


Figura 2-17: *Vista externa del zócalo NAIS con opto acopladores de potencia*

En la estación previa a la dosificación, es necesario preparar al empaque flexible, es decir, las paredes superiores e inferiores del mismo deben estar abiertas. Esto se consigue con las electroválvulas destinadas a la apertura superior e inferior del

sobre y el soplado hacia la boca del mismo. Esta operación se realiza con mucha frecuencia, es por eso que un relé de tipo contacto seco no se podría utilizar, debido a desgastes tempranos que pueden sufrir sus contactos.

Por lo tanto, estos opto acopladores fueron instalados para realizar la activación de las electroválvulas con mucha frecuencia, hasta 1,3 activaciones por segundo.

El zócalo presenta una visualización luminosa, para conocer el estado de encendido o apagado del elemento. Las señales de control provienen del PLC.

2.10 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).

Para seleccionar el controlador lógico programable se realizó un estudio cuantitativo de las señales de entrada y salida que se iban a requerir para la implementación del sistema de control de la máquina.

Tabla 2-8: *Requerimientos del sistema de control.*

ENTRADAS DIGITALES	SALIDAS DIGITALES	SALIDAS ANALÓGICAS	ENTRADAS ANALÓGICAS
50	64	2	8

Se decidió utilizar un PLC Siemens de la gama S7-200 debido a:

- Facilidades de programación, por contar de conocimientos previos de este tipo de equipos.
- Manejo de operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones con contadores rápidos, operaciones de aritmética compleja.
- Fácil comunicación con otros equipos inteligentes.
- Diseño compacto y de flexible configuración.
- Bajo costo.
- Opción para desactivar la edición en modo RUN con objeto de incrementar la memoria de programa.
- Soporte de cartuchos de memoria.

- Software de programación basado en Windows.
- Herramientas de programación tales como: Panel de auto sintonía PID, asistente de control de posición integrado, asistente de registros de datos y asistente de recetas.
- Herramientas de diagnóstico.
- Unidades de organización del programa, librerías mejoradas como la librería USS para los accionamientos maestros de Siemens.
- Bloque de datos mejorado.

Debido a estos factores, se implementó el tablero de control con equipos de automatización y accionamiento de la marca Siemens.

Para cubrir los requerimientos antes mencionados se utilizó el PLC Siemens de la gama S7-200, CPU 226 con alimentación de 24 VDC, entradas y salidas digitales.

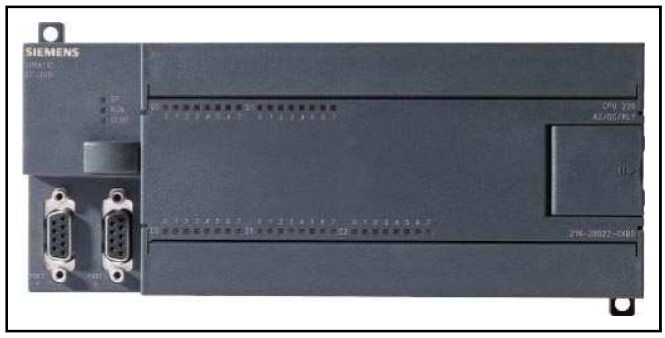


Figura 2-18: *PLC Siemens S7-200, CPU 226.*

2.10.1 CARÁCTERÍSTICAS DEL PLC S7-200, CPU 226.

En la siguiente tabla se muestran las características del PLC usado para la implementación del sistema de control.

Tabla 2-9: *Características técnicas del PLC S7-200, CPU 226.*

CARACTERÍSTICAS	CPU 226
MEMORIA	
Memoria de programa de usuario	8192 bytes
Memoria de datos	5120 bytes

Tabla 2-9: *Continuación.*

CARACTERÍSTICAS	CPU 226
MEMORIA	
Respaldo (h) (condensador de alto rendimiento)	100
Respaldo (h) (condensador de alto rendimiento)	100
ENTRADAS Y SALIDAS (E/S)	
Entradas Dig./Salidas Dig. integradas	24 DI/16 DO
Máx. Num. De Entradas Dig/Salidas Dig	256
Módulos Máx para expansión	7
Entrada de captura de impulsos	14
Contadores Rápidos	6 contadores en total
Fase simple	6 a 30 kHz.
Dos fases	4 a 20 kHz
Salida de impulsos	2 a 20 kHz.
DATOS GENERALES	
Dimensiones físicas (mm.)	190 x 80 x 62
Bits de Relé/Contadores/Timers	256/256/256
Interrupción temporizada	2 con resolución 1 ms.
Interrupción de flanco	4 flancos positivos y/o negativos
Potenciómetro análogo	2 con resolución de 8 bits
Tiempo de ejecución de ciclo	0.37 μs
Reloj en tiempo real	Integrado
Cartuchos opcionales	Memoria y pila
COMUNICACIÓN INTEGRADA	
Interface de comunicación	2 x RS-485
Velocidad de transferencia PPI, DP/T	9.6; 19.2; 187.5 kbps

Tabla 2-9: *Continuación.*

CARACTERÍSTICAS	CPU 226
COMUNICACIÓN INTEGRADA	
Velocidad de transferencia en modo Freeport	1.2 kbps a 115.2 kbps
Longitud máxima del cable por segmento	Con repetidor aislado: 1000 m hasta 187.5 kbps; 1200 m hasta 38.4 kbps Sin repetidor aislado: 50 m
Número máximo de estaciones	32 por segmento, 126 por red
Número máximo de maestros	32
Punto a punto (modo maestro PPI)	Si
Enlaces MPI	4 en total, 2 reservados (1 para Programador PG, 1 para panel operador OP)
Alimentación	24 VDC

A continuación se muestra la disposición de las entradas y salidas digitales del CPU226, PLC S7-200.

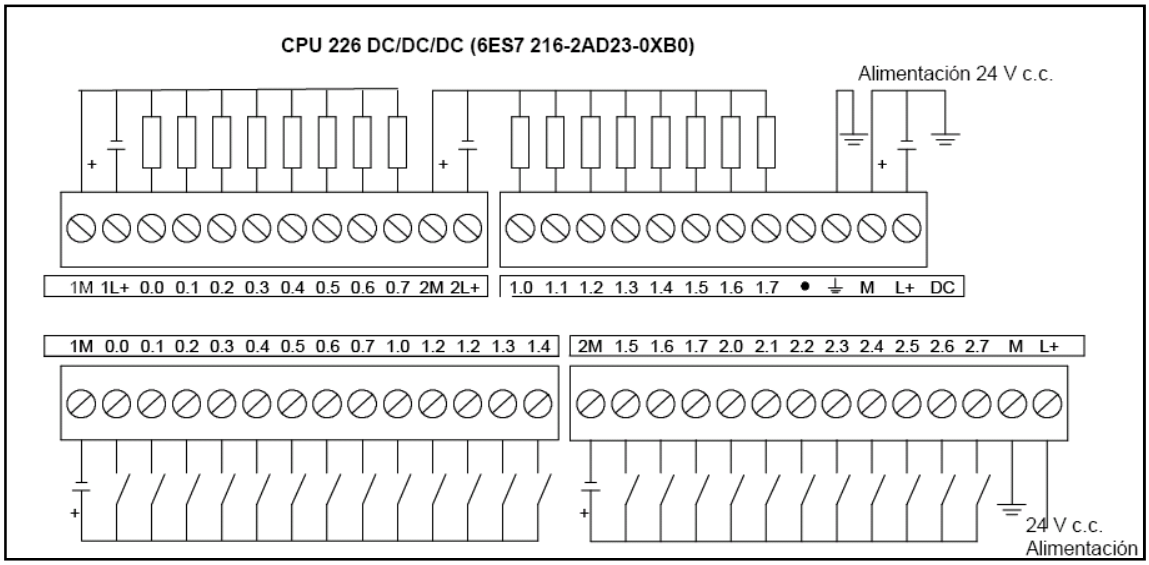
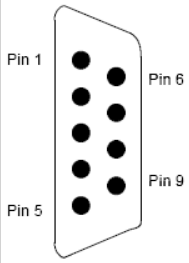


Figura 2-19: *Disposición de entradas y salidas digitales en el PLC S7-200 CPU 226.*

La disposición de las entradas y salidas utilizadas para el sistema de control se adjuntan en el Anexo Nº3

Este PLC S7-200 cuenta con dos puertos de comunicación RS-485, que serán usados como, Puerto 0, comunicación con la interfaz gráfica y Puerto 1, medio de programación del PLC.

La distribución de pines de estos puertos es:

Enchufe	Nº de pin	Señal PROFIBUS	Puerto 0/Puerto 1
	1	Blindaje	Tierra
	2	Hilo de retorno 24 V	Hilo lógico
	3	Señal B RS-485	Señal B RS-485
	4	Petición de transmitir	RTS (TTL)
	5	Hilo de retorno 5 V	Hilo lógico
	6	+5 V	+5 V, 100 Ω resistor en serie
	7	+24 V	+24 V
	8	Señal A RS-485	Señal A RS-485
	9	No aplicable	Selección protocolo de 10 bits (entrada)
	Carcasa del enchufe	Blindaje	Tierra

[**Fuente:** SIEMENS. *Sistema de automatización S7-200, Manual del sistema*.]

Figura 2-20: *Distribución de pines de los puertos de comunicación del PLC S7-200.*

2.11 MÓDULOS DE EXPANSIÓN DEL PLC.

Para cubrir con los requerimientos descritos anteriormente, se adquirió los siguientes módulos de expansión de la marca Siemens:

- Tres módulos de 16 entradas digitales/16 salidas digitales.
- Un módulo de dos salidas analógicas +/- 10 VDC, 0-20 mA, 12 bits.
- Dos módulos de entradas analógicas para termocuplas.

2.11.1 DISTRIBUCIÓN Y DATOS TÉCNICOS DE LOS MÓDULOS DE AMPLIACIÓN.

A continuación se describen las características técnicas de los tres módulos de ampliación adicionales instalados:

Tabla 2-10: *Características técnicas de las entradas digitales de los módulos de ampliación.*

Datos generales	Entrada 24 V c.c.	Entrada 120/230 V c.a. (47 a 63 HZ)
Tipo de datos	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC con sumidero de corriente)	Tipo I IEC
Tensión nominal	24 V c.c. a 4 mA	120 V c.a. a 6 mA ó 230 V c.a. a 9 mA, nominal
Tensión continua máx. admisible	30 V c.c.	264 V c.a.
Sobretensión momentánea (máx.)	35 V c.c., 0,5 s	–
Señal 1 lógica (mín.)	15 V c.c. a 2,5 mA	79 V c.c. a 2,5 mA
Señal 0 lógica (máx.)	5 V c.c. a 1 mA	20 V c.a. ó 1 mA c.a.
Retardo de las entradas (máx.)	4,5 ms	15 ms
Conexión de sensor de proximidad de 2 hilos (Bero) Corriente de fuga admisible (máx.)	 1 mA	 1 mA c.a.
Aislamiento Separación galvánica (campo a circuito lógico) Grupos de aislamiento	 500 V c.a. durante 1 minuto Consulte el diagrama de cableado	 1500 V c.a., 1 minuto 1 entrada
Entradas ON simultáneamente	Todas a 55° C	Todas a 55° C
Longitud del cable (máx.) Apantallado No apantallado	 500 m 300 m	 500 m 300 m

Tabla 2-11: *Características técnicas de las salidas digitales a transistor y a relé de los módulos de ampliación.*

Datos generales	Salidas 24 V c.c.		Salidas de relé		Salida 120/230 V c.a.
	0,75 A	5 A	2 A	10 A	
Tipo de datos	Estado sólido-MOSFET[1]		Contacto de baja potencia		Triac, activación con pasaje por cero[2]
Tensión nominal	24 V c.c.		24 V c.c. ó 250 V c.a.		120/230 V c.a.
Margen de tensión	20,4 a 28,8 V c.c.		5 a 30 V c.c. ó 5 a 250 V c.a.	12 a 30 V c.c. ó 12 a 250 V c.a.	40 V a 264 V c.a., 47 a 63 Hz
24 V c.c. rango tensión aliment. bobina	–		20,4 a 28,8 V c.c.		–
Sobreintensidad momentánea (máx.)	8 A, 100 ms	30 A	7A al estar cerrados los contactos	15 A durante 4 s c.u. 10% factor de trabajo relativo	5 A rms durante 2 ciclos c.a.
Señal 1 lógica (mín.)	20 V c.c.		–		L1 (-0,9 V rms)
Señal 0 lógica (máx.)	0,1 V c.c.	0,2 V c.c.	–		–
Intensidad nominal por salida (máx.)	0,75 A	5 A	2,00 A	10 A resistiva; 2 A c.c. inductiva; 3 A c.a. inductiva	0,5 A c.a.[3]
Intensidad nomin. por neutro (máx.)	6 A	5 A	8 A	10 A	0,5 A c.a.

Tabla 2-11: *Continuación.*

Datos generales	Salidas 24 V c.c.		Salidas de relé		Salida 120/230 V c.a.
	0,75 A	5 A	2 A	10 A	
Corriente de fuga (máx.)	10 µ A	30 µA	–		
Carga de lámparas (máx.)	5 W	50 W	30 W c.c./ 200 W c.a.	100 W c.c./ 1000 W c.a.	60 W
Tensión de bloqueo inductiva	L+ menos 48 V	L+ menos 47 V[4]	–		–
Resistencia estado ON (contactos)	Típ. 0,3 Ω	0,05 Ω (máx.)	0,2 Ω (máx.) si son nuevas	0,1 Ω (máx.) si son nuevas	410 Ω (máx.) si la intensidad de carga es inferior a 0,05A
Separación galvánica					
Separación galvánica (campo a circuito lógico)	500 V c.a., 1 minuto		–		1500 V c.a., 1 minuto
Bobina a circuito lógico	–		Ninguno		–
Bobina a contacto	–		1500 V c.a., 1 minuto		–
Resistencia (bobina a contacto)	–		100 M Ω , mín. si son nuevas		–
Grupos de aislamiento	Consulte el diagrama de cableado		Consulte el diagrama de cableado		1 salida
Retardo OFF a ON/ON a OFF (máx.)	50 µs / 200 µs	500 µs	–	–	0,2 ms + 1/2 ciclo c.a.
Conmutación (máx.)	–	–	10 ms	15 ms	–
Frecuencia de conmutación (máx.)	–		1 Hz		10 Hz
Vida útil mecánica	–		10.000.000 (sin carga)	30.000.000 (sin carga)	–
Vida útil de los contactos	–		100.000 (carga nominal)	30.000 (carga nominal)	–
Salidas ON simultáneamente	Todas a 55° C		Todas a 55° C	Todas a 55 °C con 20 A máx. intensidad del módulo[5] Todas a 40 °C con 10 A por salida	Todas a 55° C
Conexión de dos salidas en paralelo	Sí		No		No
Longitud del cable (máx.)					
Apantallado No apantallado	500 m 150 m		500 m 150 m		500 m 150 m

1 Cuando un contacto mecánico aplica tensión a una CPU S7-200, o bien a un módulo de ampliación digital, envía una señal "1" a las salidas digitales durante aproximadamente 50 microsegundos. Considere ésto especialmente si desea utilizar aparatos que reaccionen a impulsos de breve duración.

2 Cuando un contacto mecánico aplica tensión de salida a un módulo de ampliación c.a., envía una señal "1" a las salidas c.a. durante aproximadamente 1/2 ciclo c.a.. Considere ésto en su planificación.

3 Debido al circuito de pasaje por cero, la intensidad de carga debe ser de onda completa c.a. y no de semionda. La intensidad de carga mínima es de 0,05 A c.a. Si la intensidad de carga es de 5 mA a 50 mA c.a., es posible controlar la intensidad. No obstante, se produce una caída de tensión adicional debido a la resistencia serie de 410 ohmios.

4 Si la salida se recalienta debido a una conmutación inductiva excesiva, o bien a circunstancias anormales, podría desconectarse o averiarse. La salida se podría recalentar o averiar si se expone a más de 0,7 J de energía al desconectar una carga inductiva. Para evitar este problema es posible conectar en paralelo a la carga un circuito de supresión conforme a lo descrito en el capítulo 3 del presente manual. Estos componentes se deben dimensionar adecuadamente para la aplicación en cuestión.

5 La clasificación FM del módulo de ampliación EM 222 4 salidas digitales x relé es diferente al resto de la gama S7-200. La clasificación de este módulo es T4 (en vez de T4A para FM 1ª clase, categoría 2, grupos A, B, C y D "Hazardous Locations").

El módulo de ampliación EM 223 tiene 16 entradas digitales a 24 VDC y 16 salidas digitales a transistor.

La distribución física se muestra en la siguiente figura.

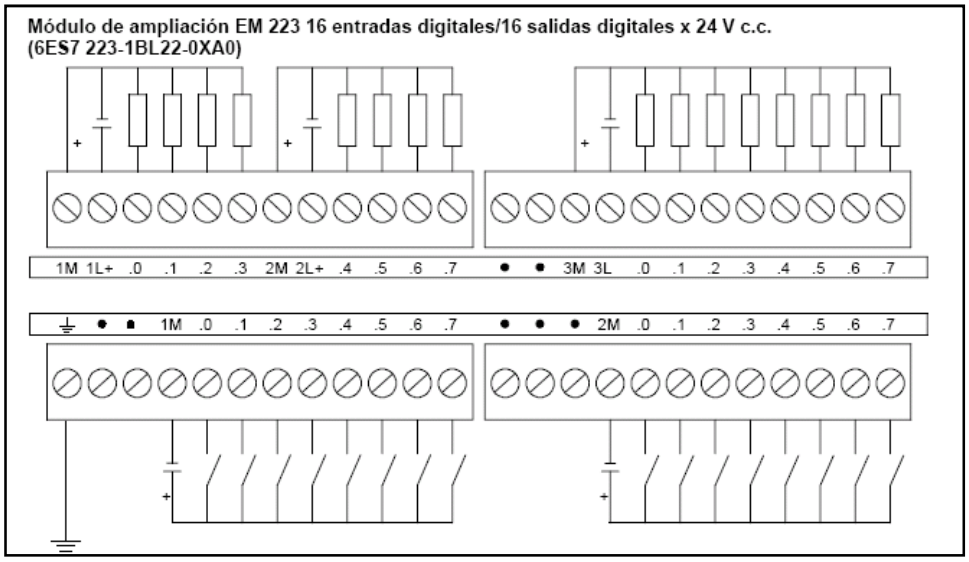


Figura 2-21: *Módulo de ampliación EM 223.*

El módulo de ampliación EM 223 tiene una variante, salidas a relé. Este módulo de ampliación tiene 16 entradas digitales a 24 VDC y 16 salidas a relé. La distribución física se muestra en la siguiente figura.

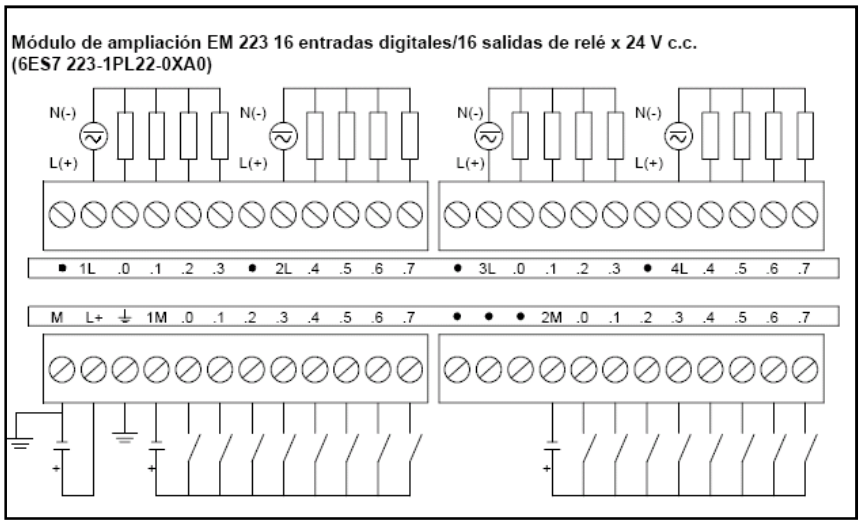


Figura 2-22: *Módulo de ampliación EM 223 con salidas a relé.*

2.11.2 DISTRIBUCIÓN Y DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS.

El accionamiento de velocidad del motor principal del eje de levas y del motor de la cinta de salida, tiene entradas analógicas para recibir la velocidad de cada motor. Para lo cual, se instaló el módulo de ampliación EM 232, que posee dos salidas analógicas con una resolución de 12 bits cada una.

Entonces, el operador modifica la velocidad de cada motor desde la interfaz gráfica, la misma que envía una palabra digital de 2 bytes de datos, con la consigna de velocidad del motor principal o del motor cinta de salida, hacia el PLC.

El PLC procesa esta información y envía otra palabra digital a la dirección de la salida analógica correspondiente (AQW XX), para que el módulo EM 232 la convierta en una señal de voltaje de 0 a 10 VDC, con una resolución de 12 bits, como se muestra en la siguiente figura.

XX es la dirección de la salida analógica, que debido a que es una palabra digital de 2 bytes, siempre es un número par, empezando desde AQW0, AQW2, etc.

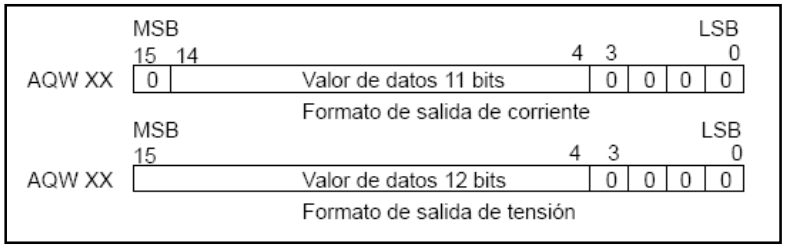


Figura 2-23: *Formato de salida del módulo de ampliación EM 232.*

A continuación se muestra las características técnicas del módulo de ampliación EM 232 con dos salidas analógicas.

Tabla 2-12: *Características técnicas del módulo de ampliación EM 232.*

Datos generales	6ES7 232-0HB22-0XA0	6ES7 235-0KD22-0XA0
Aislamiento (campo a circuito lógico)	Ninguno	Ninguno
Rango de señales		
Salida de tensión	± 10 V	± 10 V
Salida de intensidad	0 a 20 mA	0 a 20 mA
Resolución, rango máx.		
Tensión	12 bits más bit de signo	11 bits más bit de signo
Intensidad	11 bits	11 bits
Formato palabra de datos		
Tensión	-32000 a +32000	-32000 a +32000
Intensidad	0 a +32000	0 a +32000
Precisión		
Caso más desfavorable, 0° a 55° C		
Salida de tensión	± 2% de rango máx.	± 2% de rango máx.
Salida de intensidad	± 2% de rango máx.	± 2% de rango máx.
Típico, 25° C		
Salida de tensión	± 0,5% de rango máx.	± 0,5% de rango máx.
Salida de intensidad	± 0,5% de rango máx.	± 0,5% de rango máx.
Tiempo de ajuste		
Salida de tensión	100 µS	100 µS
Salida de intensidad	2 mS	2 mS
Accionamiento máx.		
Salida de tensión	Mín. 5000 Ω	Mín. 5000 Ω
Salida de intensidad	Máx. 500 Ω	Máx. 500 Ω
Rango de tensión de alimentación 24 V c.c.	20,4 a 28,8 V c.c. (clase 2, potencia limitada o alimentación de sensores de la CPU)	

El módulo de salidas analógicas puede convertir una palabra digital en una señal de voltaje y una señal de corriente.

En la siguiente figura se muestra la distribución física de las salidas analógicas del módulo de ampliación EM 232.

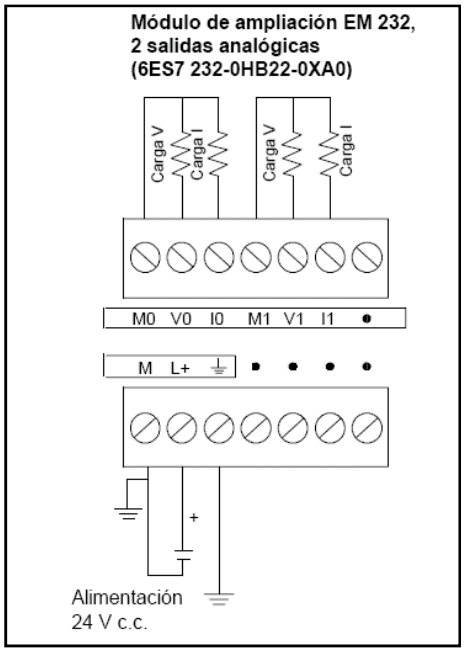


Figura 2-24: *Distribución física del Módulo de ampliación EM 232.*

2.11.3 DISTRIBUCIÓN Y DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS PARA TERMOCUPLAS.

Cada soldadura tiene en su mordaza una termocupla tipo J, para sensar la temperatura de sellado.

Para adquirir los datos de temperatura de las ocho termocuplas, se instalaron dos módulos de ampliación EM 231 Termopar, con cuatro entradas analógicas configurables para siete tipos diferentes de termopares.

La información de los módulos EM 231 son leídos por el PLC para procesarlos, ya que requieren de un ajuste de ganancia y offset, para realizar el control de temperatura de las soldaduras.

En la siguiente tabla se muestran las características técnicas del módulo de ampliación EM 231 termopar

Tabla 2-13: *Características técnicas del módulo de ampliación EM 231 Termopar.*

Datos generales	6ES7 231-7PD22-0XA0 Termoelemento
Separación galvánica	
Campo a circuito lógico	500 V c.a.
Campo a 24 V c.c.	500 V c.a.
24 V c.c. a circuito lógico	500 V c.a.
Rango de entrada en modo común (de canal de entrada a canal de entrada)	120 V c.a.
Rechazo en modo común	> 120 dB a 120 V c.a.
Tipo de entrada	Termopar flotante
Rangos de entradas[1]	Tipos de termopar (seleccionar 1 por módulo) S, T, R, E, N, K, J Rango de tensión: +/- 80 mV
Resolución de las entradas	
Temperatura	0,1° C / 0,1° F
Tensión	Signo más (+) de 15 bits
Resistencia	–
Principio de medición	Sigma-delta
Tiempo de actualización del módulo: todos los canales	405 mS

Tabla 2-13: *Continuación.*

Datos generales	6ES7 231-7PD22-0XA0 Termoelemento
Longitud del hilo	Máx. 100 metros hasta el sensor
Resistencia de bucle del hilo	Máx. 100Ω
Supresión de interferencias	85 dB a 50 Hz/60 Hz/ 400 Hz
Formato palabra de datos	Tensión -27648 a + 27648
Disipación máxima del sensor	–
Impedancia de entrada	≥1 MΩ
Tensión de entrada máxima	30 V c.c.
Atenuación del filtro de entrada	-3 db a 21 kHz
Error básico	0,1% FS (tensión)
Repetibilidad	0,05% FS
Error en la unión fría	±1,5 ° C
Rango de tensión de alimentación 24 V c.c.	20,4 a 28,8 V c.c.

La distribución física para las termocuplas se muestra en la siguiente figura.

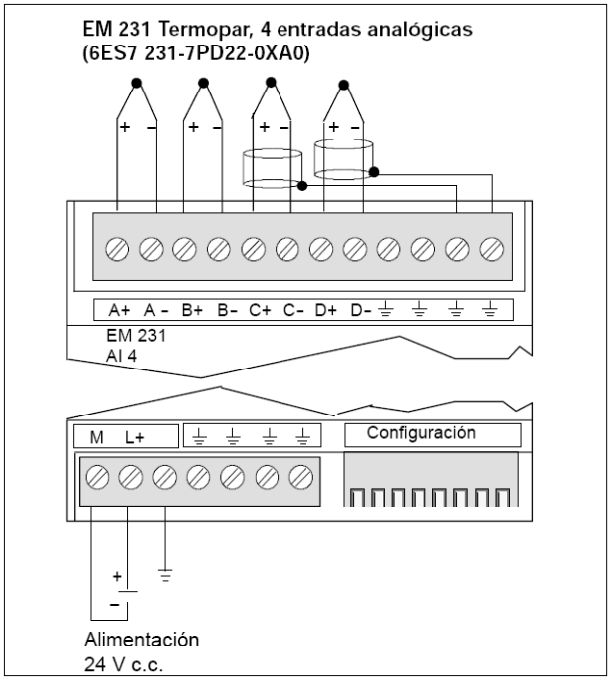


Figura 2-25: *Distribución física del módulo de ampliación EM 231 Termopar.*

Es importante visualizar el margen de operación de temperatura de este módulo. La siguiente tabla muestra la medición de temperatura y su equivalencia en una

palabra digital, la misma que es utilizada para implementar el control de temperatura.

Tabla 2-14: *Equivalencia de la temperatura (ºC) sensada por las termocuplas con el formato decimal de una palabra digital.*

Palabra de datos (1 dígito = 0,1°C)		Tipo J	Tipo K	Tipo T	Tipo E	Tipos R, S	Tipo N	±80 mV	
DEC	Hex								
32767	7FFF	>1200,0 °C	>1372,0 °C	>400,0 °C	>1000,0°C	>1768,0°C	>1300,0°C	>94,071 mV	DE
↑	↑							↑	↑
32511	7EFF							94,071 mV	SM
:	:								
27649	6C01							80,0029 mV	
27648	6C00					↑		80 mV	MN
:	:								
17680	4510		↑			1768,0°C			
:	:								
13720	3598		1372,0°C sobre margen				↑		
:	:								
13000	32C8	↑	1300,0°C				1300,0°C		
:	:								
12000	2EE0	1200,0°C			↑				
:	:								
10000	2710			↑	1000,0°C				
:	:								
4000	0FA0			400,0°C		400,0°C			
:	:								
1	0001	0,1°C	0,1°C	0,1°C	0,1°C	0,1°C	0,1°C	0,0029 mV	
0	0000	0,0°C	0,0°C	0,0°C	0,0°C	0,0°C	0,0°C	0,0 mV	
–1	FFFF	–0,1°C	–0,1°C	–0,1°C	–0,1°C	–0,1°C	–0,1°C	–0,0029 mV	
:	:					bajo margen			
–500	FE0C					–50,0°C			
–1500	FA24	–150,0°C				↓			
:	:								
–2000	F830	bajo margen	–200,0°C						
:	:								
–2100	F7CC	–210,0°C							
:	:		bajo margen						
–2550	F60A			–255,0°C	–255,0°C				
:	:			bajo margen	bajo margen				
–2700	F574	↓	–270,0°C	–270,0°C	–270,0°C		–270,0°C		
:	:								
–27648	9400		↓	↓	↓		↓	–80 mV	
–27649	93FF							–80,0029 mV	
:	:								
–32512	8100							–94,071 mV	DM
↓	↓							↓	↓
-32768	8000	<–210,0°C	<–270,0°C	<–270,0°C	<–270,0°C	<–50,0°C	<–270,0°C	<–94,071 mV	DD
Precisión en todo el margen		±0,1%	±0,3%	±0,6%	±0,1%	±0,6%	±0,1%	±0,1%	
Precisión (margen nominal sin unión fría)		±1,5°C	±1,7°C	±1,4°C	±1,3°C	±3,7°C	±1,6°C	±0,10%	
Error en la unión fría		±1,5°C	±1,5°C	±1,5°C	±1,5°C	±1,5°C	±1,5°C	N/A	

*DE = desbordamiento por exceso; SM = sobre margen; MN = margen nominal; BM = bajo margen; DD = desbordamiento por defecto

↑ indica que todos los valores analógicos superiores a éste e inferiores al valor umbral de conductos abiertos suministran los valores de datos de desbordamiento por exceso, 32767 (0x7FFF).
↓ indica que todos los valores analógicos inferiores a éste y superiores al valor umbral de conductos abiertos suministran los valores de datos de desbordamiento por defecto, 32768 (0x8000).

El módulo EM 231 Termopar tiene interruptores que permiten configurar las características de operación del mismo. Esto dependerá de la aplicación que se vaya a realizar.

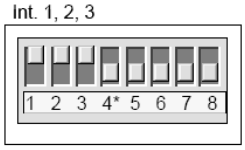
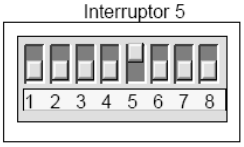
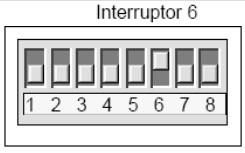
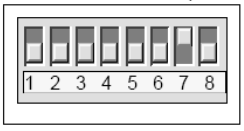
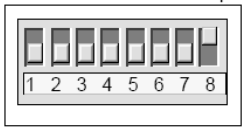
Interruptores 1,2 y 3	Tipo de termopar	Ajuste	Descripción
Int. 1, 2, 3  Configuración ↑1 – ON ↓0 – OFF * Ajuste el interruptor DIP 4 en la posición 0 (hacia abajo).	J (estándar)	000	Los interruptores DIP 1 a 3 permiten seleccionar el tipo de termopar (o el funcionamiento mV) de todos los canales del módulo. Por ejemplo, si desea seleccionar el tipo de termopar E, deberá efectuar los ajustes siguientes: interruptor 1 = 0, interruptor 2 = 1 e interruptor 3 = 1.
	K	001	
	T	010	
	E	011	
	R	100	
	S	101	
	N	110	
	+/–80 mV	111	
Interruptor 5	**Detección de hilos abiertos**	**Ajuste**	**Descripción**
Interruptor 5  Configuración ↑1 – ON ↓0 – OFF	Sentido ascendente de la escala (+3276,7 grados)	0	0 indica que hay un hilo abierto 1 indica que no hay un hilo abierto
	Sentido descendente de la escala (-3276,8 grados)	1	
Interruptor 6	**Habilitar la detección de hilos abiertos**	**Ajuste**	**Descripción**
Interruptor 6  Configuración ↑1 – ON ↓0 – OFF	Habilitar	0	La detección de conductores abiertos se efectúa inyectando una intensidad de 25 μA en los terminales de entrada. El interruptor de detección de hilos abiertos habilita o inhibe la fuente de corriente. La detección de hilos abiertos se efectúa siempre, aunque esté inhibida la fuente de corriente. El módulo EM 231 Termopar detecta los hilos abiertos si la señal de entrada excede aproximadamente ±200 mV. Cuando se detecta un hilo abierto, la lectura del módulo se ajusta al valor seleccionado por el interruptor de detección de hilos abiertos.
	Inhibir	1	
Interruptor 7	**Escala de temperatura**	**Ajuste**	**Descripción**
Interruptor 7  Configuración ↑1 – ON ↓0 – OFF	Escala Celsius (°C)	0	El módulo EM 231 Termopar puede indicar la temperatura en grados centígrados o Fahrenheit. La conversión de grados centígrados a Fahrenheit se efectúa en el módulo.
	Escala Fahrenheit (°F)	1	
Interruptor 8	**Unión fría**	**Ajuste**	**Descripción**
Interruptor 8  Configuración ↑1 – ON ↓0 – OFF	Habilitar la compensación de la temperatura en la unión fría	0	La compensación de la temperatura en la unión fría se debe habilitar cuando se están utilizando termopares. Si no está habilitada dicha compensación, las conversiones del módulo serán erróneas, debido a la tensión que se crea cuando el hilo del termopar está unido al conector del módulo. La compensación de la temperatura en la unión fría se inhibe automáticamente al seleccionarse el margen de ±80 mV.
	Inhibir la compensación de la temperatura en la unión fría	1	

Figura 2-26: *Configuración del módulo de ampliación EM 231 Termopar.*

2.12 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

El PLC S7-200 CPU 226 provee alimentación de 5 VDC para los módulos de ampliación, pero no provee suficiente corriente a 24 VDC para las diferentes entradas y salidas del sistema. Es por eso que se realizó el siguiente análisis para poder adquirir una fuente de alimentación que abastezca los requerimientos mencionados anteriormente.

Tabla 2-15: *Consumo de corriente del sistema de control.*

Corriente de la CPU	5 VDC	24 VDC
CPU 226 DC/DC/DC	1000 mA	400 mA

	Consumo del sistema	5 VDC	24 VDC
CANT.	**EQUIPO**	**mA.**	**mA.**
1	CPU 226, 24 entradas		24x4=96
1	CPU 226, 16 salidas		16x12=192
3	EM 223, 16DI/16DO. Alimentación necesaria de 5 VDC	3x160=480	
2	EM231, entrada termopar. Alimentación necesaria de 5 VDC	2x87=174	
1	EM232, salida analógica. Alimentación necesaria de 5 VDC	1x20=20	
3	EM 223, 16 entradas digitales		3x16x4=192
3	EM 223, 16 salidas digitales		3x16x15=720
2	EM231, entrada termopar.		2x60=120
1	EM232, salida analógica.		1x70=70
	Consumo Total	**674**	**1390**

Este análisis nos muestra que el PLC S7-200, CPU 226 puede abastecer 1A y con ello, alimentar a los módulos de ampliación, ya que éstos requieren de 0,674A.

Por otro lado, para alimentar las señales de entrada y salida de los módulos adicionales no es suficiente con la fuente integrada de 24 VDC de la CPU 226 (0,4 A), es necesario una fuente externa.

Se implementó una fuente SITOP de 5A de la marca Siemens, por motivos de expansión y para que no exista limitaciones de corriente de alimentación.

Figura 2-27: *Fuente de alimentación SITOP de Siemens.*

2.12.1 PROTECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

A continuación se describe el cálculo de la protección para esta fuente de alimentación para el PLC, módulos de ampliación y relés auxiliares de control.

2.12.1.1 Corriente de plena carga (Ipc)

Corriente a Plena Carga (Ipc) a 220V
(A)
1,39

2.12.1.2 Conductor del circuito derivado (Id).

Se trabajará con 2 conductores (dos fases) más tierra.

Circuito Derivado		CONDUCTOR
Ipc	Id = 1,25*Ipc	(AWG)
(A)	(A)	
1,39	1,74	18 (10A)

2.12.1.3 Protección del Circuito Derivado (Ic).

Dimensionamiento del disyuntor del C. Derivado		
Ipc	***Dimensionamiento teórico***	***Corriente estándar del disyuntor***
(A)	Ic = 1,25*Ipc ***(A)***	**(A)**
1,39	1,74	6

La fuente de alimentación SITOP es de 5A, de los cuales, 1.39 A son utilizados para abastecer al sistema de control. Por lo tanto, la protección fue dimensionada considerando la capacidad máxima de la fuente (5A), es por eso, que con un margen de protección del 20%, se seleccionó un dsiyuntor de 6A.

2.13 INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA (HMI).

Para la visualización y modificación de variables como velocidad del motor principal, del motor cinta de salida, temperatura de las soldaduras, habilitación o deshabilitación de funciones de la máquina, entre otras; fue necesario una interfaz hombre máquina (HMI) de fácil uso y amigable para el operador.

De esta forma, se implementó el HMI mediante una pantalla táctil, SIMATIC PANEL TP177 B COLOR PN/DP de la marca Siemens.

Figura 2-28: *Vista exterior de la pantalla táctil utilizada para la HMI.*

A continuación se describen las principales características de esta interface.

- Pantalla tipo LCD táctil.
- Área de pantalla 5,7”.
- Resolución de 320 x 240 píxeles.
- Pantalla de 256 colores.
- Control de contraste.
- Pantalla táctil de unidad de entrada de tipo resistivo.
- 2 MB de memoria de programa.
- Interfaces de comunicación PPI/DP/MPI, RJ45, USB.
- Alimentación 24 VDC,
- Consumo constante de corriente de 300 mA.

2.13.1 COMUNICACIONES DE LA PANTALLA TÁCTIL

Las comunicaciones que debe realizar esta interfaz gráfica es con el sistema de control, en este caso el PLC S7-200 y con el medio de programación de la pantalla, por ejemplo un computador

2.13.1.1 Comunicación con el sistema de control.

La comunicación con el sistema de control fue implementado mediante un cable STP (UTP aislado) conectado a las interfaces RS-485 de la pantalla y del PLC.

Los pines del conector DB-9 usados fueron: Pin1 (Tierra), Pin 3 (señal B RS-485) y Pin 8 (señal A RS-485). Esta conexión fue punto a punto entre ambos puertos de comunicación.

El PLC fue programado para comunicarse en protocolo PPI (punto a punto) a una velocidad de 187.5 kbps por el puerto 0 RS-485.

La siguiente figura muestra todos los modos posible de comunicación para esta pantalla táctil. El diagrama resaltado fue la conexión implementada en este proyecto.

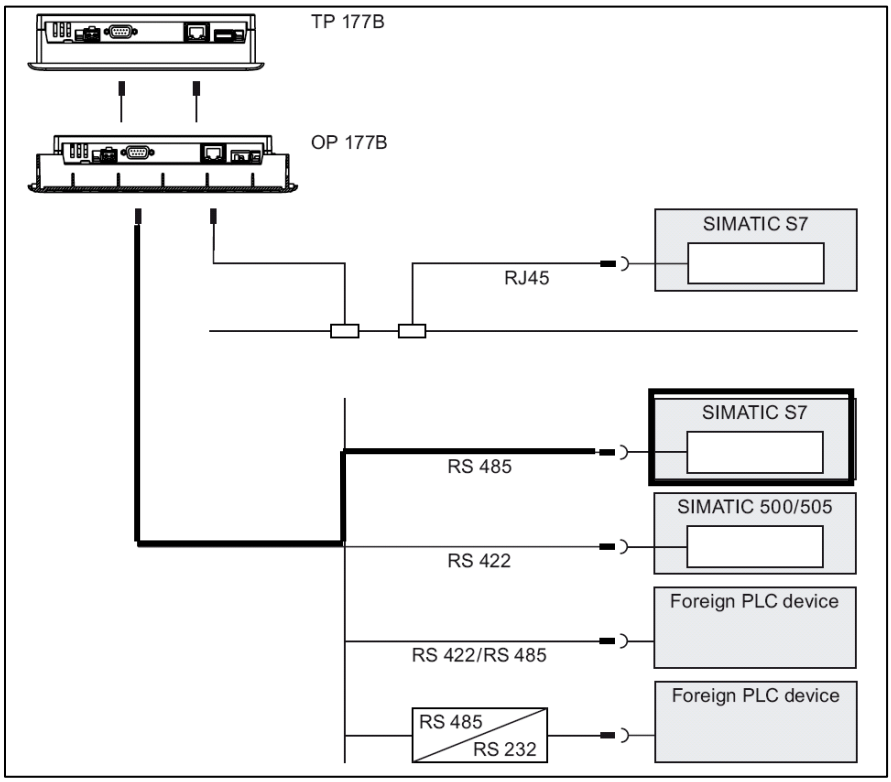


Figura 2-29: *Comunicación entre la HMI y el sistema de control PLC S7-200.*

2.13.1.2 Comunicación con el medio de programación.

La programación de la pantalla táctil fue a través del computador, usando la interface USB, mediante un cable USB Host to Host de la marca Belkin.

Para realizar una buena comunicación y descargar el proyecto creado en WinCC Flexible a la pantalla táctil, es muy importante considerar las versiones, tanto de la

pantalla táctil, del software de programación WinCC Flexible y el medio o cable de programación que se vaya a emplear, caso contrario será imposible ver el funcionamiento del proyecto en la HMI.

La Figura 2-31 muestra una tabla de compatibilidades entre unidades de operación (pantallas táctiles) y cables de comunicación, donde X indica que se puede usar, --- indica que no es compatible y *) indica que se encuentra en desarrollo.

La siguiente figura ilustra las conexiones posibles entre el HMI y el medio de programación de la computadora, permitiendo transferir la imagen y datos del proyecto. El sistema utilizado en esta tesis es el que se encuentra resaltado.

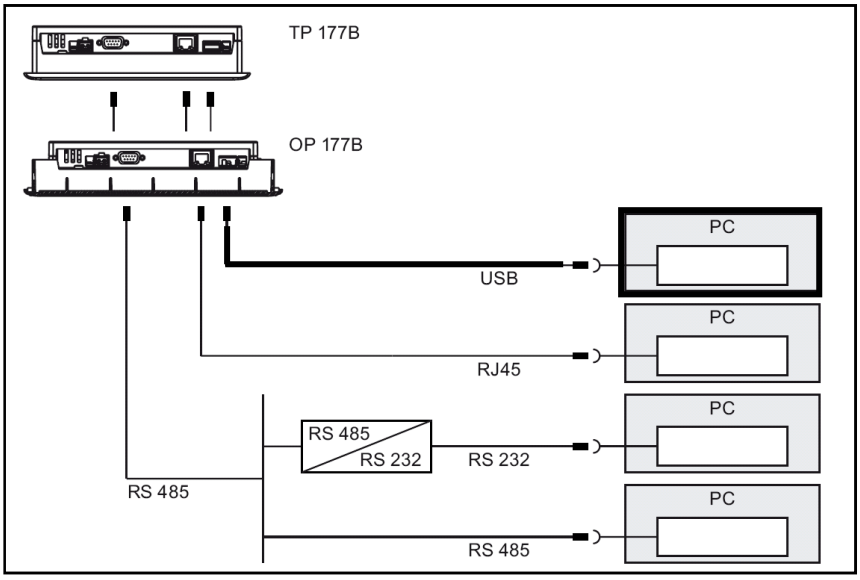


Figura 2-30: *Comunicación entre la HMI y el sistema de programación PC.*

Operating unit	RS232/PPI [1] Mutli Master cable	Serial RS232 (6ES7 901-1BF00-0XA0)	USB/PPI cable [1] (6ES7 901-3DB30-0XA0)	Serial RS232 (6XV1440-2K...)	TTY	MPI [6]	PROFIBUS-DP [6]	Ethernet	USB [3] (Host-to-Host)	HTTP
OP73 Micro	X	--	X	--	--	--	--	--	--	--
OP73	X	--	X	--	--	X	X	--	--	--
TP170 Micro	X	--	-- *)	--	--	--	--	--	--	--
TP177 Micro	X	--	X	--	--	--	--	--	--	--
OP77A	X	--	X	--	--	X	X	--	--	--
OP77B	--	X	--	--	--	X	X	--	X	--
TP170A	--	X	--	--	--	X	X	--	--	--
TP177A	X	--	X	--	--	X	X	--	--	--
TP/OP177B mono DP	X	--	-- *)	--	--	X	X	--	X	--
TP/OP177B color PN/DP	X	--	-- *)	--	--	X	X	X	X	X
TP/OP170B	--	X	--	--	--	X	X	--	--	--
TP/OP270	--	X	--	--	--	X	X	X [2]	X	X
TP/OP277	X	--	-- *)	--	--	X	X	X	X	X
Mobile Panel 170	--	X	--	--	--	X	X	--	--	--
Mobile Panel 177 DP	X	--	-- *)	--	--	X	X	--	--	--
Mobile Panel 177 PN	X	--	-- *)	--	--	--	--	X	--	X
Mobile Panel 277	X	--	-- *)	--	--	X	X	X	X	X
MP270	--	X	--	--	--	X	X	--	--	--
MP270B / MP270B Touch	--	X	--	--	--	X	X	X	X	X
MP277 / MP277 Touch	X	--	-- *)	--	--	X	X	X	X	X
MP370 / MP370 Touch	--	X	--	--	--	X	X	X	X	X
MP377 / MP377 Touch	X	--	--	--	--	X	X	X	X	X
OP37 PRO	--	X	--	--	--	X	X	X	X	--

Figura 2-31: *Compatibilidad entre pantallas táctiles y cables de programación*

2.14 ALIMENTADOR PRINCIPAL

El alimentador principal que ingresa al tablero de control, está protegido por un disyuntor y tiene un interruptor tripolar como dispositivo de maniobra.

De esta forma, con los datos anteriormente descritos se realizará el cálculo del alimentador principal.

CARGA	CORRIENTE (A)	
	(Ipc)	(Ic)
Motor Principal del eje de levas.	9,80	19,60
Motor Cinta de salida.	1,20	2,40
Motor del desbobinador.	1,20	2,40
Aspirador retal muesca de desgarre.	0,70	0,88
Aspirador retal perforador de fondo	0,55	0,69
Estaciones de soldadura	17,58	23,44
Fuente de alimentación del sistema de control	1,39	1,74
Ventilador del tablero de control	0,20	0,40
Tarjetas de control para motores de corriente continua.	2,30	0,31
Germicida	0,64	0,80
Iluminación	2,80	3,50
Servodriver	4,40	8,80

2.14.1 CONDUCTOR DEL CIRCUITO ALIMEMTADOR

ALIMENTADOR	
Ia = 1,25*(Ipc Max)+ΣIpc restantes	**CONDUCTOR**
(A)	AWG
47,16	8 (54 A)

2.14.2 PROTECCIÓN DEL CIRCUITO ALIMENTADOR.

El criterio usado para la protección del circuito alimentador es el siguiente

Ib = Iarranque Max (Ic Max) + Σ Ipc restantes

Dimensionamiento del disyuntor del C. Alimentador	
Dimensionamiento teórico	***Corriente estándar del disyuntor***
Ib ***(A)***	**(A)**
48,62	50,00

El interruptor tripolar implementado antes de la protección del circuito alimentador es de 63 A, debido a que comercialmente es el inmediato superior.

CAPITULO 3.

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN

En este capítulo se describirá el sistema de control implementado en el PLC así como el programa creado para la interfaz gráfica.

3.1 INTRODUCCIÓN A STEP 7-MICRO/WIN.

Step 7-Micro/Win es un software en un ambiente de Windows, para programar PLC Siemens de la gama S7-200.

Al igual que otros programas posee tres ventanas principales:

- Barra de navegación
- Árbol de operaciones
- Editor de programa.

Figura 3-1: *Ventana principal de Step 7-Micro/Win.*

La barra de navegación posee íconos que acceden a las diferentes funciones de programación de STEP 7 Micro/Win, como por ejemplo, bloque de programa, tabla de símbolos, tabla de estados, comunicación, asistente de operaciones, etc.

En el árbol de operaciones se visualizan todos los objetos del proyecto y las operaciones para crear el programa de control, es decir, las operaciones de suma, resta, multiplicación, división, conversiones de formato, comparaciones, transferencia, etc.

El editor de programa contiene el programa principal, subrutinas e interrupciones y una tabla de variables locales donde se pueden asignar nombres simbólicos a las variables locales temporales. Las subrutinas y las rutinas de interrupción se visualizan en forma de etiquetas en el borde inferior del editor de programas.

Step 7-Micro/Win permite implementar proyectos en tres modos diferentes: Esquema de contactos (KOP), lista de instrucciones (AWL) y diagrama de funciones (FUP). El programa de control fue desarrollado en el modo KOP, debido a la facilidad y el previo conocimiento.

El editor KOP visualiza el programa gráficamente, en diagrama ladder o escalera. Los programas realizados en KOP emulan la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, y a través de una serie de condiciones lógicas de entrada (interruptores, pulsadores, marcas) habilitan condiciones lógicas de salida (relés).

Los programas KOP tienen la barra de alimentación energizada que se encuentra a la izquierda. Los contactos cerrados permiten que la corriente circule por ellos hasta el siguiente elemento, en tanto que los contactos abiertos bloquean el flujo de energía.

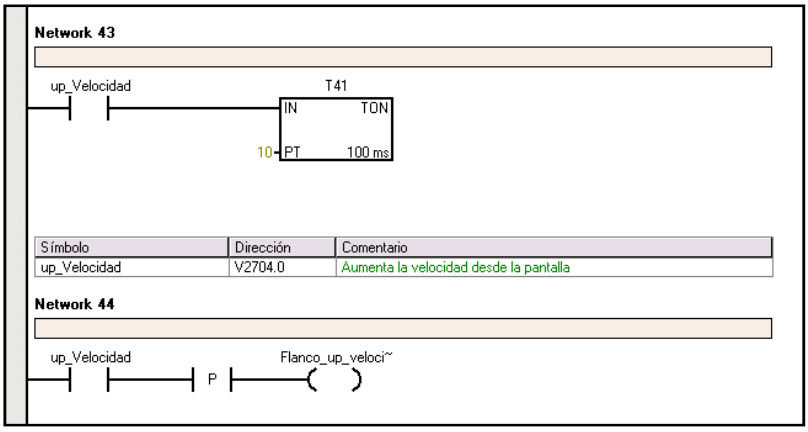


Figura 3-2: *Programa de control realizado en KOP.*

La lógica de este software se divide en segmentos (”networks”). El programa se ejecuta circularmente un segmento tras otro, de izquierda a derecha y luego de arriba a abajo. La Figura 3-2 muestra un ejemplo de un programa realizado en KOP. Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas.

Los contactos representan condiciones lógicas de entrada, tales como interruptores, botones o condiciones internas.

Las bobinas representan condiciones lógicas de salida, tales como lámparas, arrancadores de motor, relés interpuestos o condiciones internas de salida.

Los cuadros de funciones representan operaciones adicionales, tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

3.2 PROGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA ENVSADORA HORIZONTAL VOLPAK S240-DF.

Como se mencionó, el programa de control fue desarrollado en modo KOP y para mejorar la eficiencia del programa, se crearon subrutinas y rutinas de interrupción para manejar los subprocesos de la máquina. A continuación se explicará el programa de control mediante diagramas de flujo.

3.2.1 PROGRAMA PRINCIPAL

El siguiente diagrama de flujo, muestra el programa principal, de donde se llaman todas las subrutinas y se realiza el procesamiento de información.

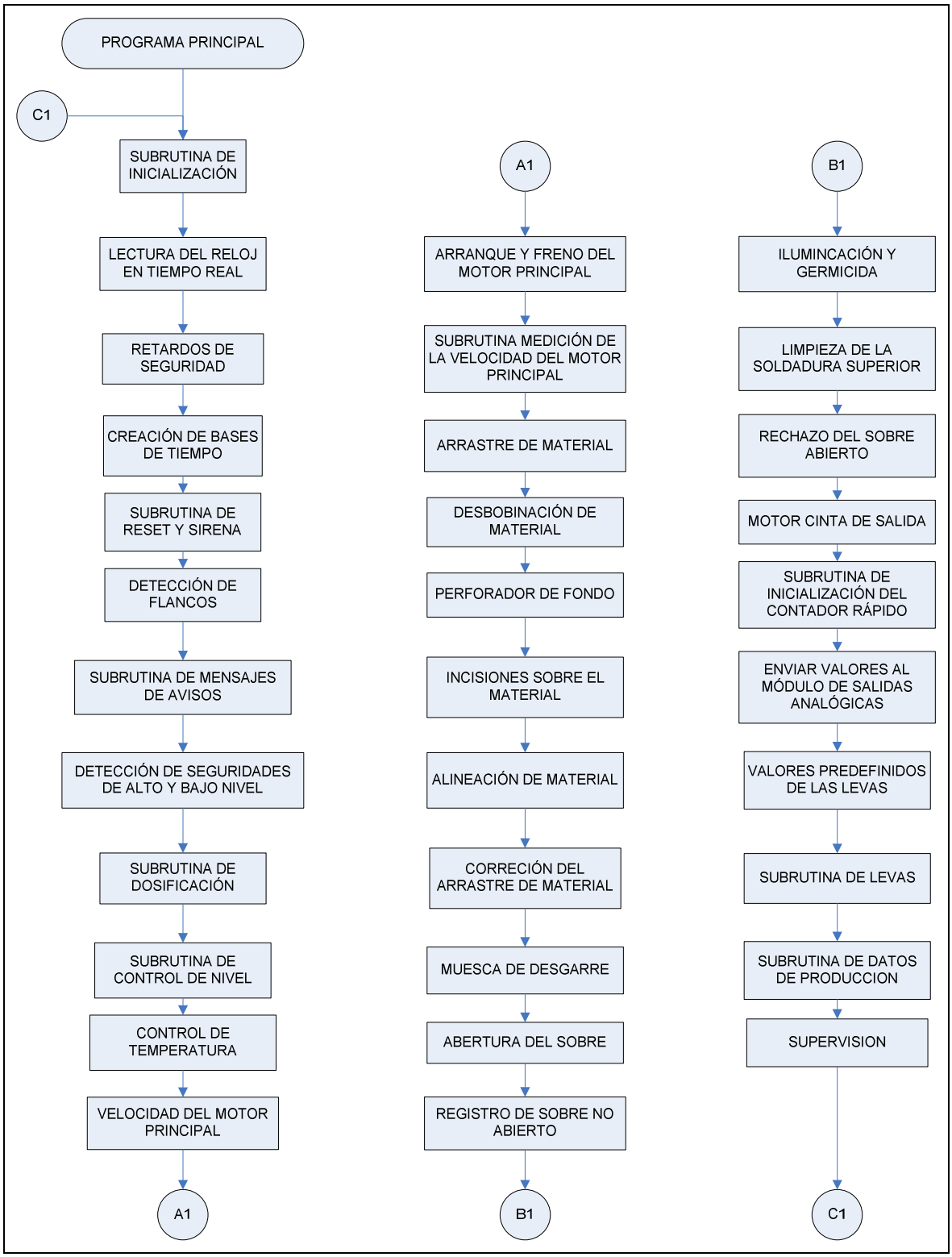


Figura 3-3: *Diagrama de flujo del programa principal.*

3.2.2 SUBRUTINA DE INICIALIZACIÓN.

Esta subrutina permite inicializar, durante el primer ciclo de máquina (marca especial del PLC SM0.1), valores de las variables que intervienen en el proceso.

La marca especial SM0.1 del PLC S7-200, permite que esta subrutina se ejecute una sola vez en el primer ciclo de máquina, estructurando de mejor manera al programa.

Después de la subrutina de inicialización se establece un retardo de 4 segundos y una vez transcurrido este tiempo, la máquina está lista para ejecutar las demás funciones del programa principal.

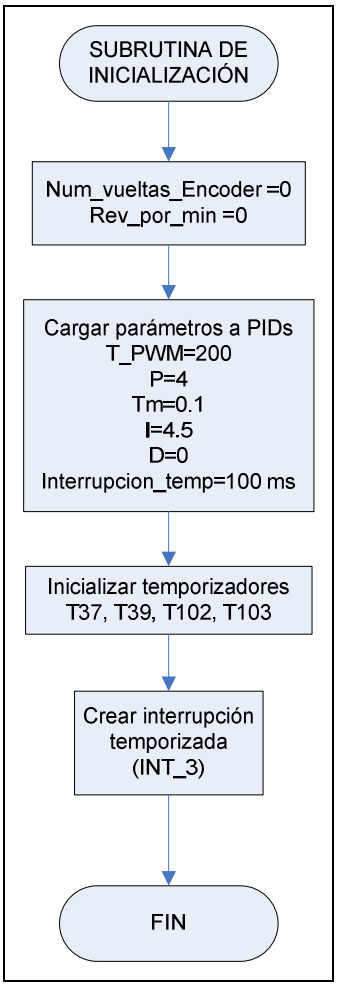


Figura 3-4: *Diagrama de flujo de la subrutina de Inicialización.*

3.2.3 CREACIÓN DE BASES DE TIEMPO.

La creación de bases de tiempo se encuentra en el programa principal. Estas bases de tiempo permiten activar de manera parpadeante la señal visual del reset y tener dos tipos de sonidos para la señal auditiva. De este modo, Reloj_RESET_Light, Reloj_1 y Reloj_2 son salidas auxiliares para generar las funciones descritas.

De manera general, las bases de tiempo son creadas a través de PWM, donde se modifica el tiempo en alto y el período de la onda. El siguiente diagrama de flujo mostrará la secuencia del Reloj_2, que es la misma para las demás bases de tiempo.

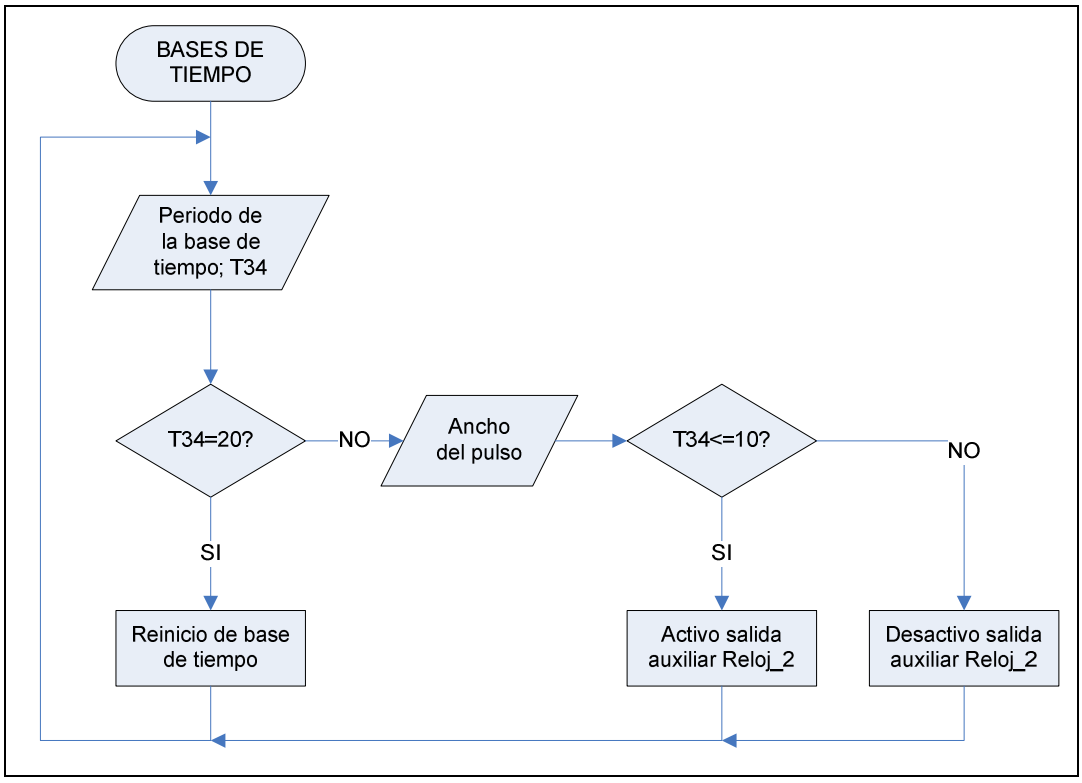


Figura 3-5: *Diagrama de flujo de bases de tiempo.*

3.2.4 SUBRUTINA DE RESET Y SIRENA.

Esta subrutina permite activar las señales visuales de marcha, paro, reset y las señales auditivas de la sirena. La señal visual de marcha se activa cuando el motor principal arranca, la señal visual de paro se activa cuando el motor principal se detiene. La señal visual de reset se activa en alguna condición de fallo o

emergencia, respaldada por la señal auditiva de una sirena instalada en el tablero de control.

Esta subrutina se habilita transcurridos 4 segundos, tiempo de retardo para que se estabilicen señales.

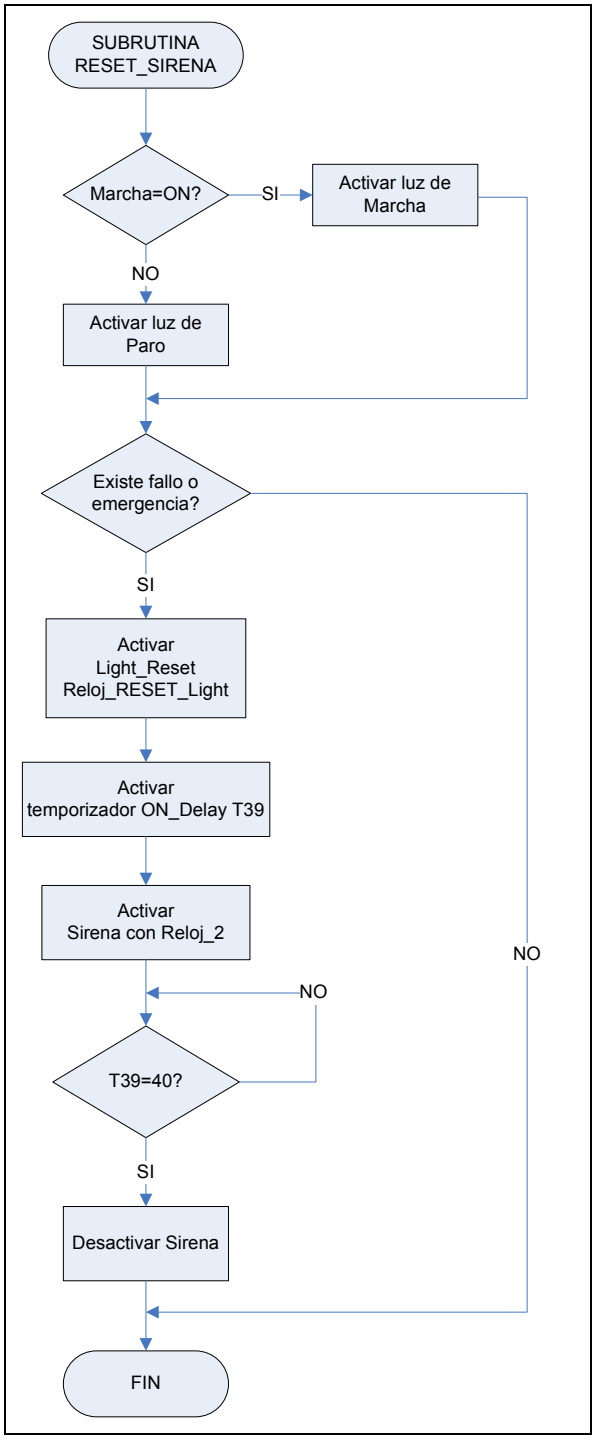


Figura 3-6: *Diagrama de flujo de subrutina de reset y sirena.*

3.2.5 SUBRUTINA PARA MENSAJES DE AVISOS.

Esta subrutina se ejecuta al detectar la activación de alguna de las siguientes señales:

- Pulso de Inicio
- Marcha
- Reset
- Alarma de temperatura
- Volante manual
- Anular protecciones
- Limpieza de soldadura
- Paro seguro
- Emergencia segura

La activación de alguna de estas señales, se visualiza en la interfaz gráfica, para que el operador pueda tomar acciones al respecto. Esta comunicación se realiza mediante la interfaz RS-485 que posee tanto el PLC S7-200 y la pantalla táctil TP-177 B.

En algunas de estas señales, se ha previsto un tiempo de retardo a fin de garantizar que su activación no haya sido por error o momentánea.

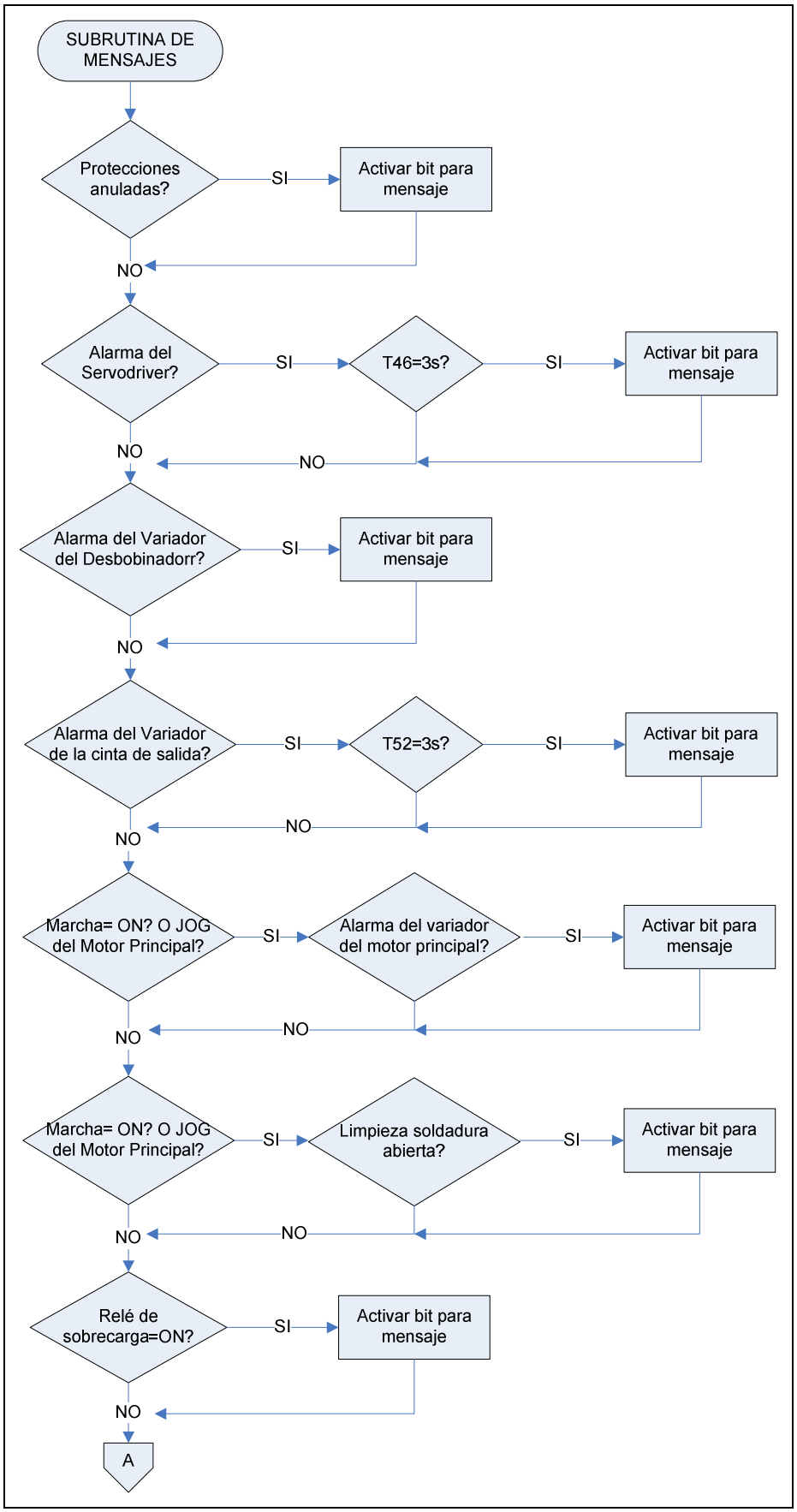


Figura 3-7: *Diagrama de flujo 1 de subrutina para mensajes de avisos.*

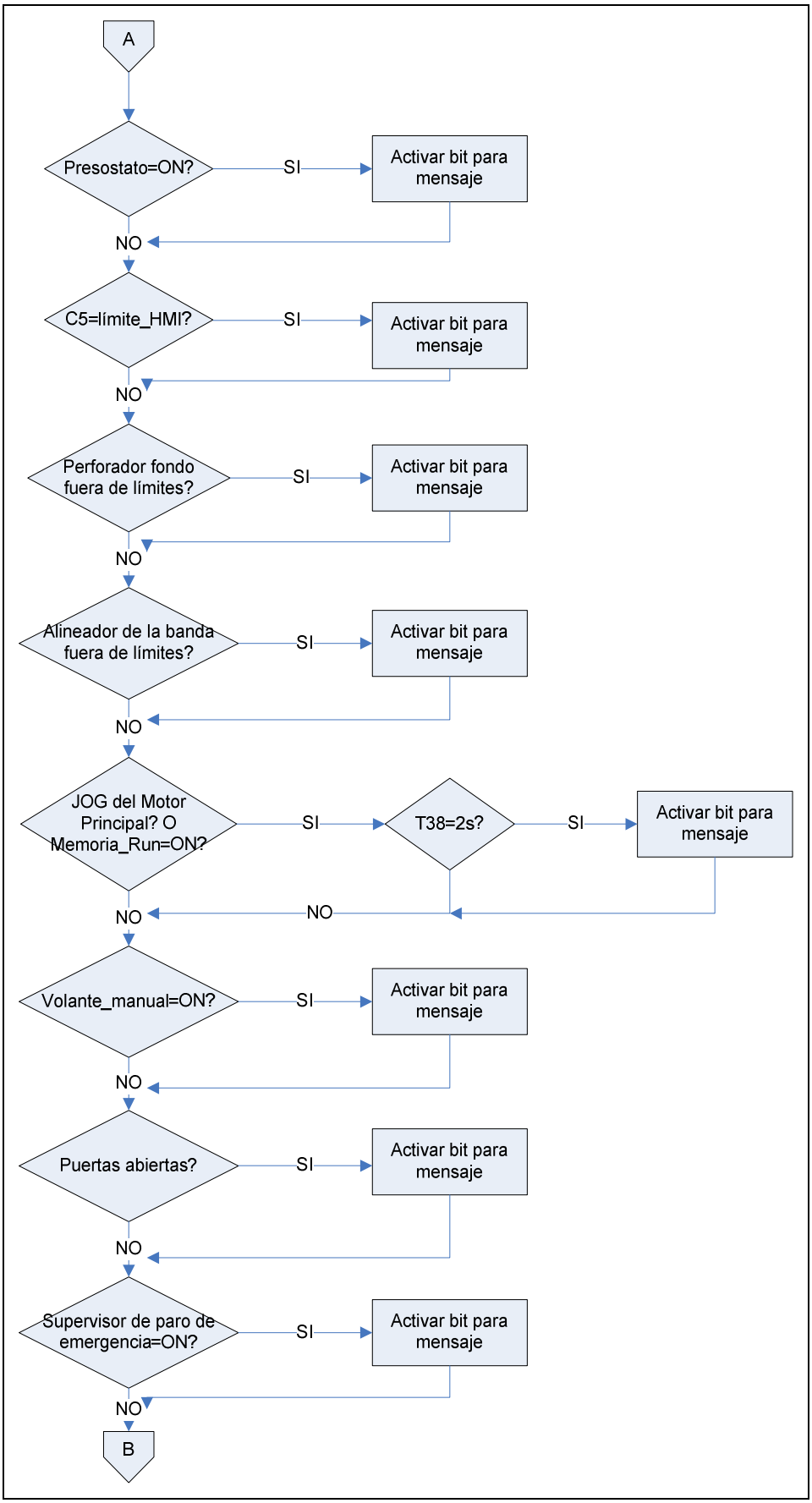


Figura 3-8: *Diagrama de flujo 2 de subrutina para mensajes de avisos.*

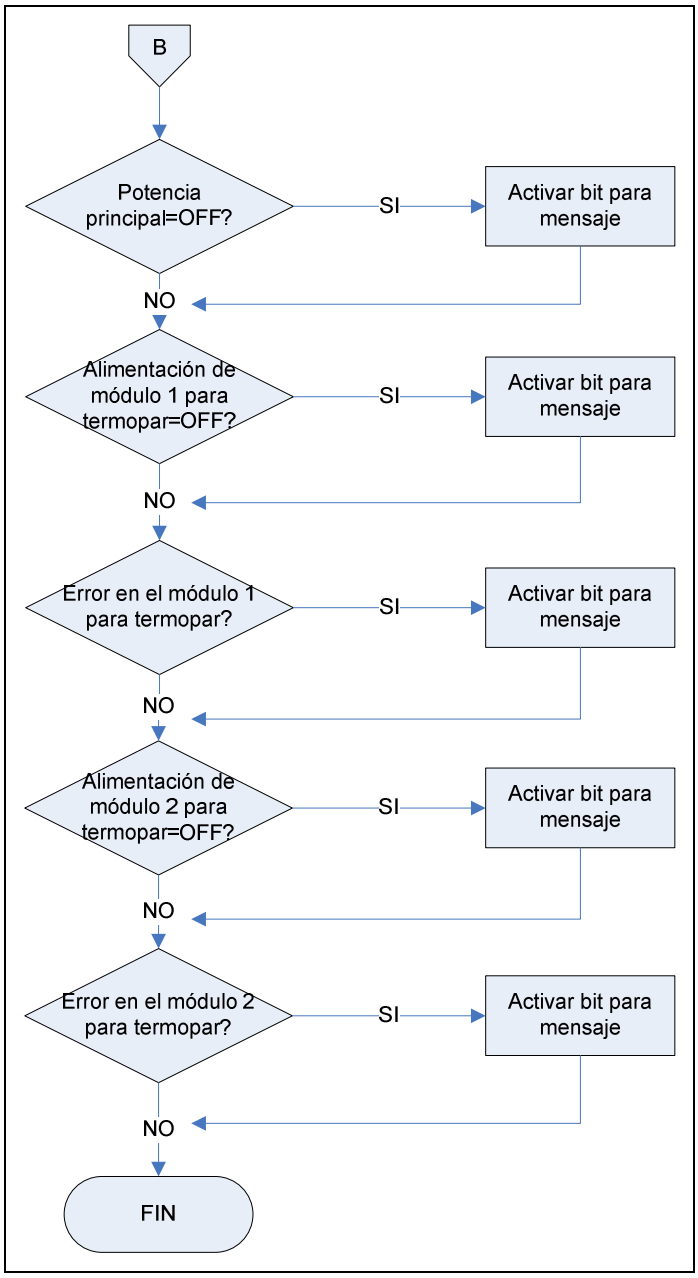


Figura 3-9: *Diagrama de flujo 3 de subrutina para mensajes de avisos.*

3.2.6 SEGURIDAD DE NIVEL ALTO.

La máquina presenta algunas señales que describen una condición de falla o parada de emergencia, de este modo, el programa activa bits diferenciados si la falla es de un nivel bajo o si existe una parada de emergencia de nivel alto. Estas condiciones se identifican mediante el uso de funciones OR exclusivo.

Las señales que activan el bit de seguridad de nivel alto (Emergencia_segura) son:

- Abrir el carro móvil de las soldaduras superior si la máquina está corriendo.
- Alarma en el supervisor de paro de emergencia.
- Alarma en el variador de velocidad del motor principal.
- Alarma en el variador de velocidad del motor de la cinta de salida.
- Alarma en el variador de velocidad del motor del desbobinador.
- Rodillo del desbobinador suelto.
- Baja presión de aire en la entrada.
- Relé de sobrecarga de los motores con arranque a pleno voltaje.
- Volante manual accionado.

Esta señal, Emergencia_segura, puede detener a la máquina en cualquier momento en que se produzca alguna de las fallas descritas.

3.2.7 SEGURIDAD DE NIVEL BAJO.

Las señales que activan el bit de seguridad de nivel bajo (Paro_seguro) son:

- Abrir el carro móvil de las soldaduras superior si la máquina está corriendo y existe una alarma en la temperatura de las soldaduras.
- Fuera de límite en el perforador de fondo.

- Fuera de límite en el alineador de la banda.
- Falta de material en el área de desbobinación.
- Bajo nivel en el depósito de dosificación.
- Alarma del servodriver del servomotor.
- Sobre no abierto.

La señal Paro_seguro detiene la máquina una vez finalizada el ciclo del proceso, es decir, cuando se termina una vuelta completa en el encoder.

3.2.8 SUBRUTINA DE DOSIFICACIÓN.

Tres señales activan esta subrutina, Marcha_Dosificado_HMI, Limpieza_Dosificaci_HMI y Flanco_Dosificado_Manua.

Marcha_Dosificado_HMI y Limpieza_Dosificaci_HMI son señales que se activan desde la interfaz gráfica, para empezar la dosificación de manera automática o realizar la limpieza de los pistones dosificadores respectivamente.

Flanco_Dosificado_Manua es un relé auxiliar activado por cualquiera de los cuatro selectores ubicados en el área de dosificación, que accionan de manera manual la función de esta área.

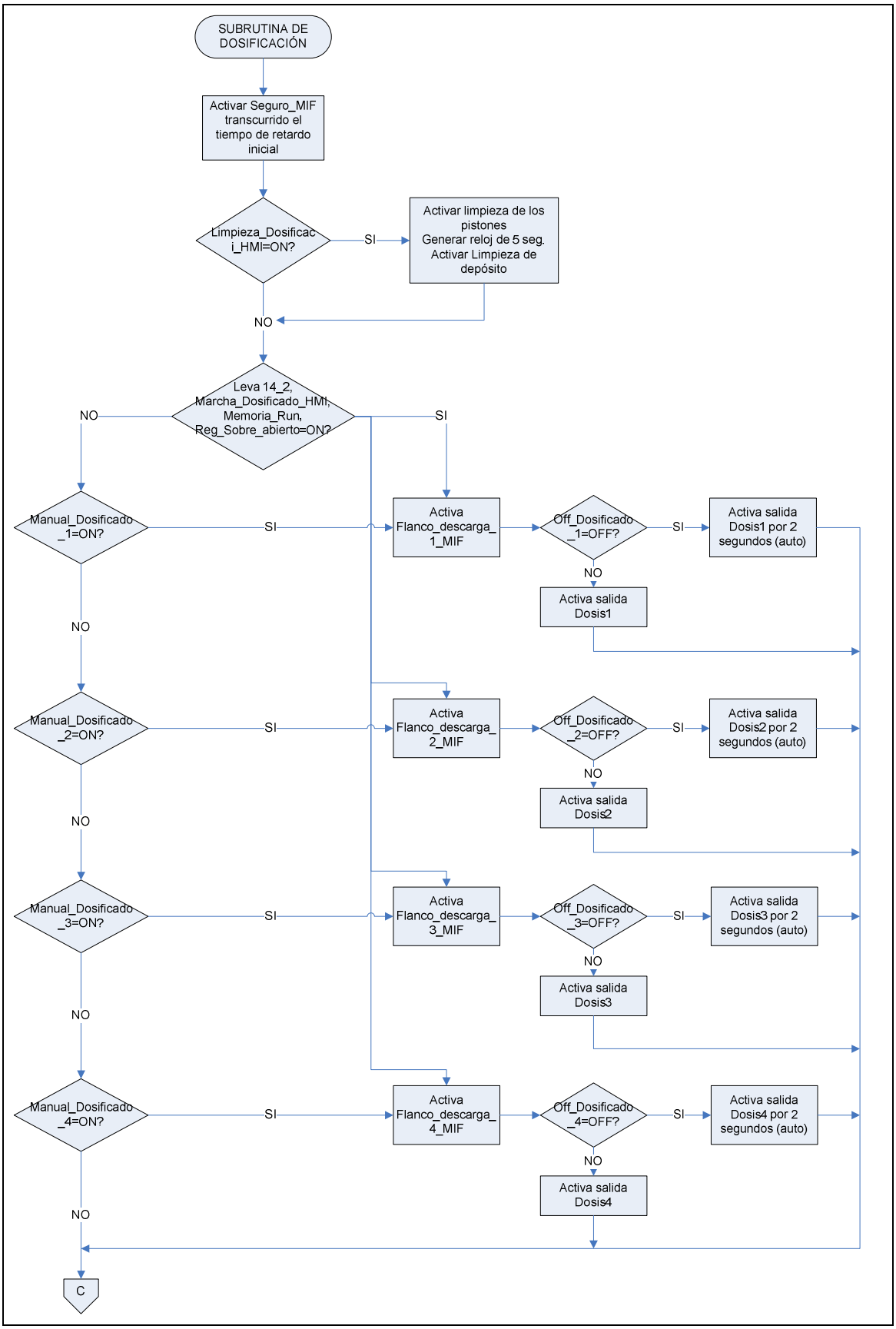


Figura 3-10: *Diagrama de flujo 1 subrutina de dosificación.*

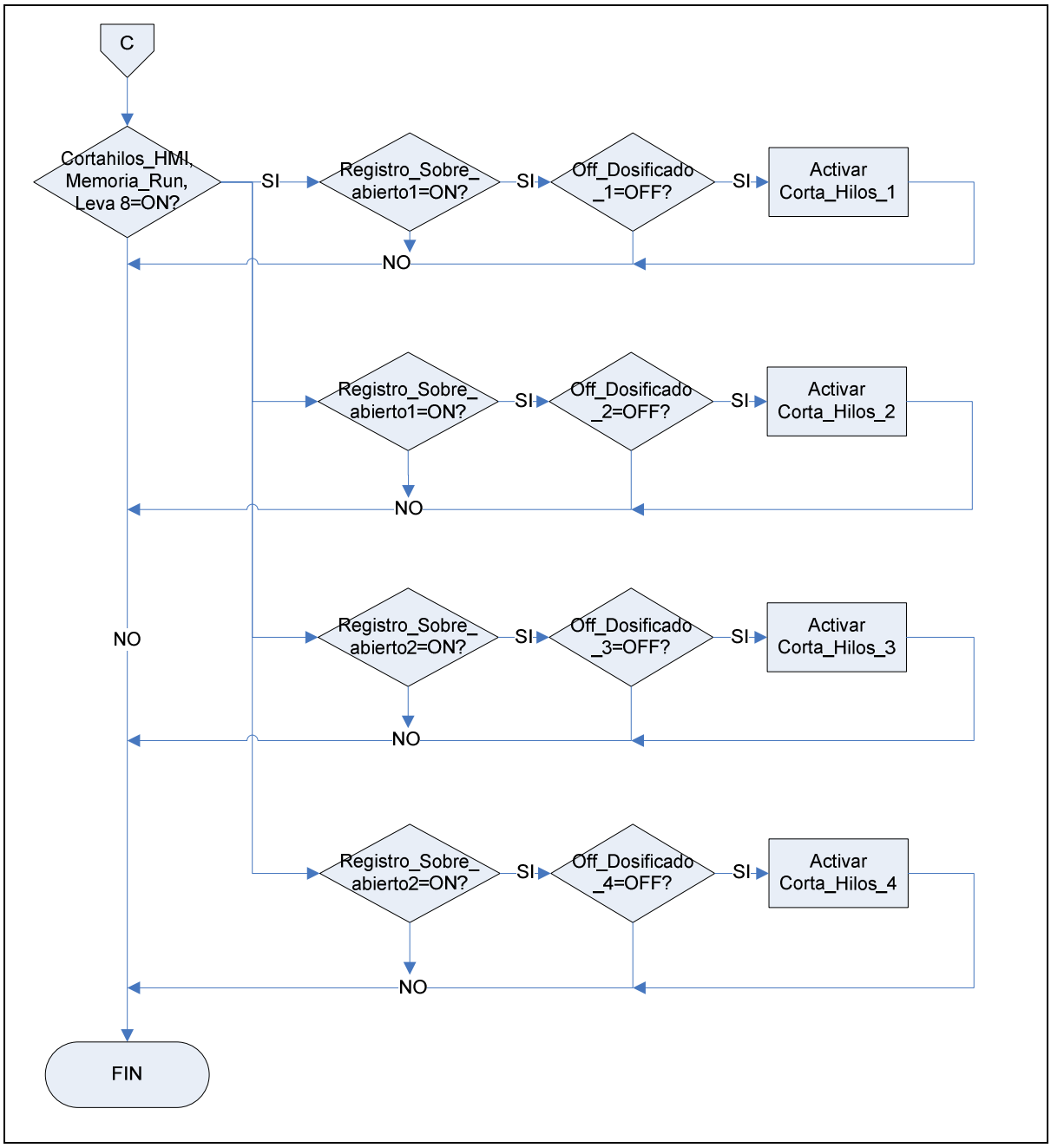


Figura 3-11: *Diagrama de flujo 2 subrutina de dosificación.*

3.2.9 SUBRUTINA DE CONTROL DE NIVEL.

Esta subrutina se habilita si se ha activado Marcha_Dosificado_HMI desde la interfaz gráfica y el nivel de dosificado es mínimo en el depósito, para garantizar que la presión en el interior del depósito no disminuya.

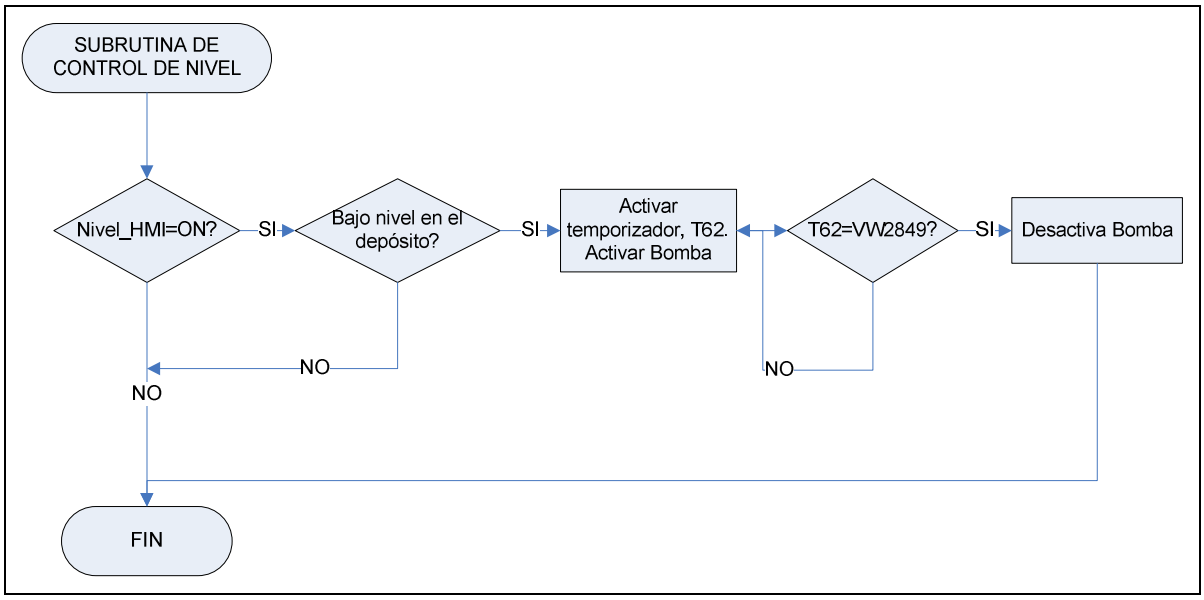


Figura 3-12: *Diagrama de flujo subrutina de control de nivel.*

3.2.10 CONTROL DE TEMPERATURA.

Para un funcionamiento óptimo, las ocho estaciones de soldadura son activadas mediante control de temperatura; el cual se implementó usando la función Proporcional Integral y Derivativa PID, disponible en el PLC S7-200. Este PLC tiene a su disposición ocho PID´s que conjuntamente con dos módulos de entrada analógicas para termocuplas tipo J y ocho relés de estado sólido, contribuyen a formar un lazo cerrado de control.

En los párrafos siguientes se detallará el algoritmo implementado en el PLC y sus características.

3.2.10.1 Regulación PID en el PLC S7-200.

La operación Regulación PID ejecuta el cálculo de un lazo de regulación PID en el LOOP referenciado, conforme a la información de entrada y la configuración definida en la tabla de variables TABLE (TBL) del PLC, como se observa en la Figura 3-13.

Para habilitar el cálculo PID, el bloque de la función deberá estar en ON.

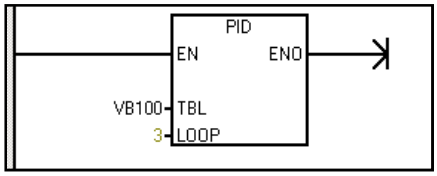


Figura 3-13: *Componentes del bloque PID en el PLC S7-200.*

Esta operación tiene dos operandos: una dirección TABLE que constituye la dirección inicial de la tabla del lazo de control, y un número LOOP que es una constante comprendida entre 0 y 7, los mismos que denotan la referencia del lazo de control en que se está trabajando.

Un programa sólo admite ocho operaciones PID. Si se utilizan dos o más operaciones PID con el mismo número de lazo (aunque tengan diferentes direcciones de tabla), los dos cálculos PID se interferirán mutuamente siendo impredecible el resultado.

La tabla del lazo almacena nueve parámetros que sirven para controlar y supervisar la operación del mismo. Incluye el valor actual y previo de la variable del proceso (valor real), la consigna, la salida o magnitud manipulada, la ganancia, el tiempo de muestreo, el tiempo de acción integral, el tiempo de acción derivada y la suma integral (bias).

De esta forma, la dirección de la tabla escrita en el bloque de función PID, será el inicio de los nueve parámetros descritos anteriormente, donde, dependiendo del tamaño de la palabra del dato, cada uno se encuentra separado de esta dirección por un offset.

La Tabla 3-1 muestra la distribución de los parámetros del algoritmo con su respectivo offset, es decir, si por ejemplo, la dirección inicial de la tabla es VB100, el parámetro tiempo de muestreo tiene un offset de 16, tendrá entonces la dirección VB116 y así sucesivamente con los demás parámetros.

Tabla 3-1: *Distribución de parámetros del algoritmo PID con su respectivo offset.*

Offset	Campo	Formato	Tipo de datos	Descripción
0	Variable del proceso (PV_n)	Palabra doble - real	In	Contiene la variable del proceso que debe estar escalada entre 0.0 y 1.0.
4	Consigna (SP_n)	Palabra doble - real	In	Contiene la consigna que debe estar escalada entre 0.0 y 1.0.
8	Salida (M_n)	Palabra doble - real	IN/OUT	Contiene la salida calculada, escalada entre 0.0 y 1.0.
12	Ganancia (K_C)	Palabra doble - real	In	Contiene la ganancia, que es una constante proporcional. Puede ser un número positivo o negativo.
16	Tiempo de muestreo (T_S)	Palabra doble - real	In	Contiene el tiempo de muestreo en segundos. Tiene que ser un número positivo.
20	Tiempo de acción integral (T_I)	Palabra doble - real	In	Contiene el tiempo de acción integral en minutos. Tiene que ser un número positivo.
24	Tiempo de acción derivada (T_D)	Palabra doble - real	In	Contiene el tiempo de acción derivada en minutos. Tiene que ser un número positivo.
28	Suma integral (MX)	Palabra doble - real	IN/OUT	Contiene el valor de la suma integral entre 0.0 y 1.0.
32	Variable del proceso previa (PV_{n-1})	Palabra doble - real	IN/OUT	Contiene el último valor real almacenado al ejecutar por última vez la instrucción PID.

Para poder realizar el cálculo PID con el intervalo de muestreo deseado, la operación PID deberá ejecutarse bien dentro de una rutina de interrupción temporizada, o bien desde el programa principal a intervalos controlados por un temporizador. El tiempo de muestreo se define como variable de entrada para la operación PID a través de la tabla del lazo.

3.2.10.2 Algoritmo PID

En modo estacionario, un regulador PID varía el valor de su salida para llevar a cero el error de regulación (e). El error es la diferencia entre el valor de consigna (SP) (el punto de trabajo deseado) y la variable del proceso (PV) (el punto de trabajo real).

El principio de una regulación PID se basa en la ecuación que se indica a continuación y que expresa la salida M(t) como una función de un término proporcional, uno integral y uno diferencial:

Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término diferencial
$M(t)$	=	$K_C * e$	+	$K_C \int_0^t e\,dt + M_{inicial}$	+	$K_C * de/dt$

donde:

$M_{(t)}$	es la salida del lazo en función del tiempo
K_C	es la ganancia del lazo
e	es el error de regulacion (diferencia entre la consigna y la variable de proceso)
$M_{inicial}$	es el valor inicial de la salida del lazo

Ecuación (3-1)

Para poder implementar esta función de regulación en un sistema digital, la función continua deberá cuantificarse mediante muestreos periódicos del valor del error, calculándose seguidamente el valor de la salida. La ecuación que constituye la base de la solución en un sistema digital es:

M_n	=	$K_c * e_n$	+	$K_I * \sum_1^n + M_{inicial}$	+	$K_D * (e_n - e_{n-1})$
Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término diferencial

donde:

M_n	es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo
K_C	es la ganancia del lazo
e_n	es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo
e_{n-1}	es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-ésimo)
K_I	es la constante proporcional del término integral
$M_{inicial}$	es el valor inicial de la salida del lazo
K_D	es la constante proporcional del término diferencial

Ecuación (3-2)

Para esta ecuación, el término integral se muestra en función de todos los términos del error, desde el primer muestreo hasta el muestreo actual. El término diferencial es una función del muestreo actual y del muestreo previo; mientras que el término proporcional sólo es función del muestreo actual. En un sistema digital no es práctico almacenar todos los muestreos del término del error, además de no ser necesario.

Puesto que un sistema digital debe calcular el valor de salida cada vez que se muestre el error, comenzando en el primer muestreo, basta con almacenar el valor previo del error y el valor previo del término integral. Debido a la naturaleza repetitiva de la solución basada en un sistema digital, es posible simplificar la ecuación a resolver en cada muestreo. La ecuación simplificada es:

M_n	=	$K_c * e_n$	+	$K_I * e_n + MX$	+	$K_D * (e_n - e_{n-1})$	
Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término diferencial	

donde:
- M_n es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo
- K_C es la ganancia del lazo
- e_n es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo
- e_{n-1} es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-ésimo)
- K_I es la constante proporcional del término integral
- MX es el valor previo del término integral (en el muestreo (n-1)-ésimo)
- K_D es la constante proporcional del término diferencial

Ecuación (3-3)

Para calcular el valor de salida del lazo, el PLC S7-200 utiliza una forma modificada de la ecuación simplificada anterior. Esta ecuación modificada equivale a:

M_n	=	MP_n	+	MI_n	+	MD_n	
Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término diferencial	

donde:
- Mn es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo
- MP_n es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
- MI_n es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
- MDn es el valor del término diferencial de salida del lazo en el muestreo n-ésimo

Ecuación (3-4)

3.2.10.2.1 Término proporcional de la ecuación PID.

El término proporcional MP, es el producto de la ganancia (KC), la cual controla la sensibilidad del cálculo de la salida, y del error (e), que es la diferencia entre el valor de consigna (SP) y el valor real o de la variable del proceso (PV) para un instante de muestreo determinado. La ecuación que representa el término proporcional según la resuelve el S7-200 es la siguiente:

MP_n	=	K_C	$* (SP_n - PV_n)$

donde:
- MPn es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
- K_C es la ganancia del lazo
- SP_n es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo
- PV_n es el valor de la variable del proceso en el muestreo n-ésimo

Ecuación (3-5)

3.2.10.2.2 Término integral de la ecuación PID.

El término integral MI, es proporcional a la suma del error a lo largo del tiempo. La ecuación que representa el término integral según la resuelve el S7-200 es la siguiente:

$$MI_n = K_C * T_S / T_I * (SP_n - PV_n) + MX$$

donde:

MI_n	es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-ésimo
K_C	es la ganancia del lazo
T_S	es el tiempo de muestreo del lazo
T_I	es el período de integración del lazo (también llamado tiempo de acción integral)
SP_n	es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo
PV_n	es el valor de la variable del proceso en el muestreo n-ésimo
MX	es el valor previo del término integral (en el muestreo (n-1)-ésimo) (también llamado suma integral o "bias")

Ecuación (3-6)

La suma integral o bias (MX) es la suma acumulada de todos los valores previos del término integral. Después de cada cálculo de MIn se actualiza la suma integral con el valor de MIn que puede ajustarse o limitarse. Por regla general, el valor inicial de la suma integral se ajusta al valor de salida (Minicial) justo antes de calcular la primera salida del lazo. El término integral incluye también varias constantes tales como la ganancia (KC), el tiempo de muestreo (TS), que define el intervalo con que se recalcula periódicamente el valor de salida del lazo PID, y el tiempo de acción integral (TI), que es un tiempo utilizado para controlar la influencia del término integral en el cálculo de la salida

3.2.10.2.3 Término diferencial de la ecuación PID.

El término diferencial MD es proporcional a la tasa de cambio del error. El S7-200 utiliza la ecuación siguiente para el término diferencial:

$$MD_n = K_C * T_D / T_S * ((SP_n - PV_n) - (SP_{n-1} - PV_{n-1}))$$

Ecuación (3-7)

Para evitar cambios o saltos bruscos de la salida debidos a cambios de la acción derivada o de la consigna, se ha modificado esta ecuación bajo la hipótesis de que la consigna es constante (SPn = SPn - 1). En consecuencia, se calcula el cambio en la variable del proceso en lugar del cambio en el error, como puede verse a continuación:

$$MD_n = K_C * T_D / T_S * (SP_n - PV_n - SP_n + PV_{n-1})$$

o simplificando:

$$MD_n = K_C * T_D / T_S * (PV_{n-1} - PV_n)$$

donde:

MD_n	es el valor del término diferencial de la salida del lazo en el muestreo n-ésimo
K_C	es la ganancia del lazo
T_S	es el tiempo de muestreo del lazo
T_D	es el período de diferenciación de lazo (también llamado tiempo de acción derivada)
SP_n	es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo
PV_{n-1}	es el valor de la consigna en el muestreo n-1
PV_n	es el valor de la variable del proceso en el muestreo n-ésimo
PV_{n-1}	es el valor de la variable del proceso en el muestreo (n-1)-ésimo

Ecuación (3-8)

En lugar del error es necesario guardar la variable del proceso para usarla en el próximo cálculo del término diferencial. En el instante del primer muestreo, el valor de PVn - 1 se inicializa a un valor igual a PVn.

3.2.10.2.4 Selección del tipo de regulación

En numerosos sistemas de regulación basta con utilizar una o dos acciones de regulación. Así, por ejemplo, puede requerirse únicamente regulación proporcional o regulación proporcional e integral. El tipo de regulación se selecciona ajustando correspondientemente los valores de los parámetros constantes.

Por tanto, si no se desea acción integral (sin “I” en el cálculo PID), entonces el tiempo de acción integral deberá ajustarse a infinito (“INF”). Incluso sin acción integral, es posible que el valor del término integral no sea “0”, debido a que la suma integral MX puede tener un valor inicial.

Si no se desea acción derivada (sin “D” en el cálculo PID), entonces el tiempo de acción derivada deberá ajustarse a 0.0.

Si no se desea acción proporcional (sin “P” en el cálculo PID) y se desea regulación I o ID, entonces la ganancia deberá ajustarse a 0.0. Puesto que la ganancia interviene en las ecuaciones para calcular los términos integral y diferencial, si se ajusta a 0.0 resulta un valor de 1.0, que es el utilizado para calcular los términos integral y diferencial.

3.2.10.3 Algoritmo para el control de temperatura.

El PLC S7-200 cuenta con dos opciones de configurar el bloque PID, de manera estándar Figura 3-13, o el bloque PID creado por el asistente del software de programación Micro-Win, Figura 3-14.

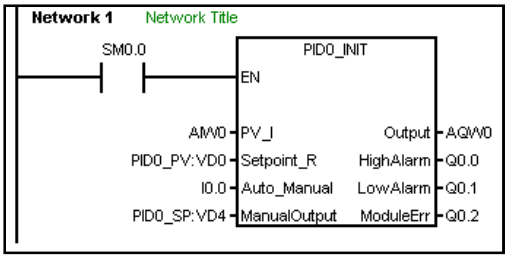


Figura 3-14: *Bloque PID creado por el asistente del software Micro/Win.*

Se intentó trabajar con este bloque pero no produjo resultados satisfactorios, de modo que se utilizó la versión estándar del bloque PID. Para lo cual, es necesario llevar acabo algunas normalizaciones y ajustes de los valores de entrada y salida, operaciones que se detallan a continuación.

3.2.10.3.1 Habilitación de las soldaduras de la máquina.

Las soldaduras inferiores, Soldadura_Inf_HMI, soldaduras verticales 1, Sold_V_I_HMI; 2, Sold_V_II_HMI; 3, Sold_V_III_HMI y 4, Sold_V_IV_HMI y las soldaduras superiores, Soldadura_Sup_HMI poseen interruptores en la pantalla táctil que permiten activar las habilitaciones a cada una de ellas por separado, soldadura inferior anterior, E_Sold_I_A; soldadura inferior posterior, E_Sold_I_P; soldadura vertical primera, E_Sold_V_I; soldadura vertical segunda, E_Sold_V_II; soldadura vertical tercera, E_Sold_V_III; soldadura vertical cuarta, E_Sold_V_IV; soldadura superior anterior, E_Sold_S_A y soldadura superior posterior, E_Sold_S_P.

Además se cuenta con el monitoreo del valor del proceso, es decir, el valor de realimentación de cada sensor y también se puede modificar el valor de la consigna o set point de cada soldadura desde la HMI.

Otro interruptor se encuentra en la interfaz gráfica, Activar_todo_HMI. Este interruptor permite activar o desactivar las ocho soldaduras mencionadas.

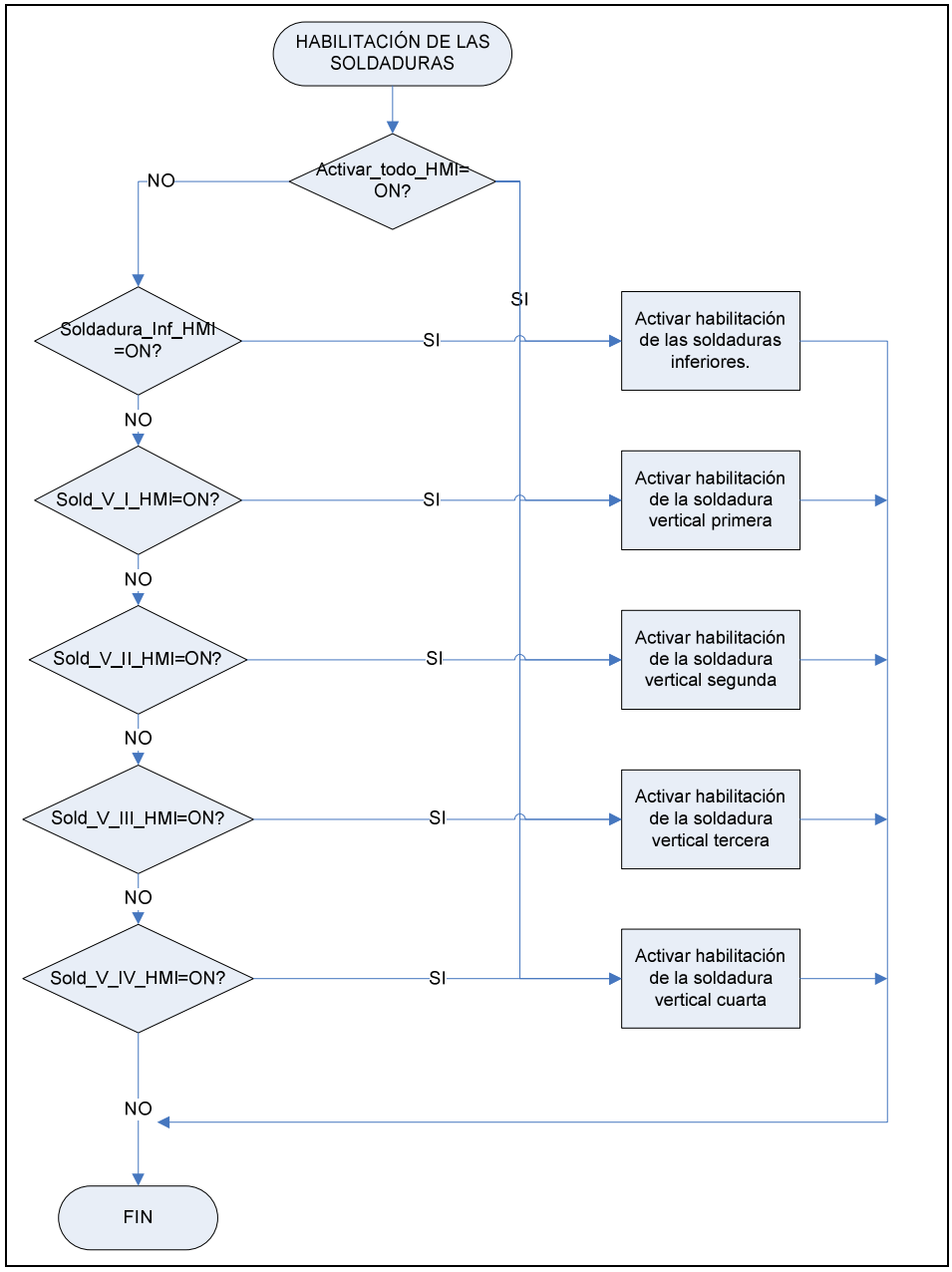


Figura 3-15: *Diagrama de flujo 1 subrutina control de temperatura.*

3.2.10.3.2 Pre procesamiento de valores para el algoritmo PID.

Esta subrutina siempre está activada en cada ciclo de máquina, mediante la marca especial SM0.0 y realiza las normalizaciones y ajuste de los valores de entrada, preparándoles de manera adecuada para el algoritmo PID.

La subrutina empieza realizando restricciones en el ingreso de los valores de consigna de cada soldadura, de manera que no es posible ingresar un valor mayor a 300 grados centígrados.

Posteriormente se normalizan los valores de consigna y los valores recibidos por el módulo de entradas analógicas para termocuplas, se escalan y se normalizan también.

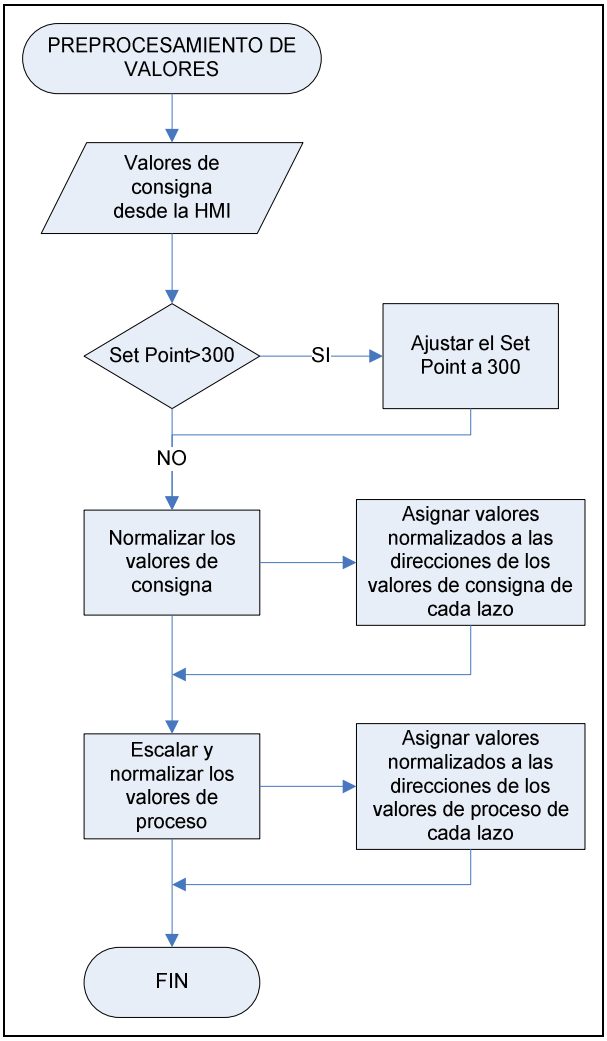


Figura 3-16: *Diagrama de flujo 2 subrutina control de temperatura.*

3.2.10.3.3 Interrupción temporizada para el cálculo del algoritmo PID.

Los cálculos del algoritmo PID deben ejecutarse desde el programa principal o en una interrupción temporizada. La interrupción temporizada 0, que es una marca

especial del S7-200 (SMB34) realiza los cálculos del algoritmo cada 100 ms, que es el tiempo del periodo de muestreo.

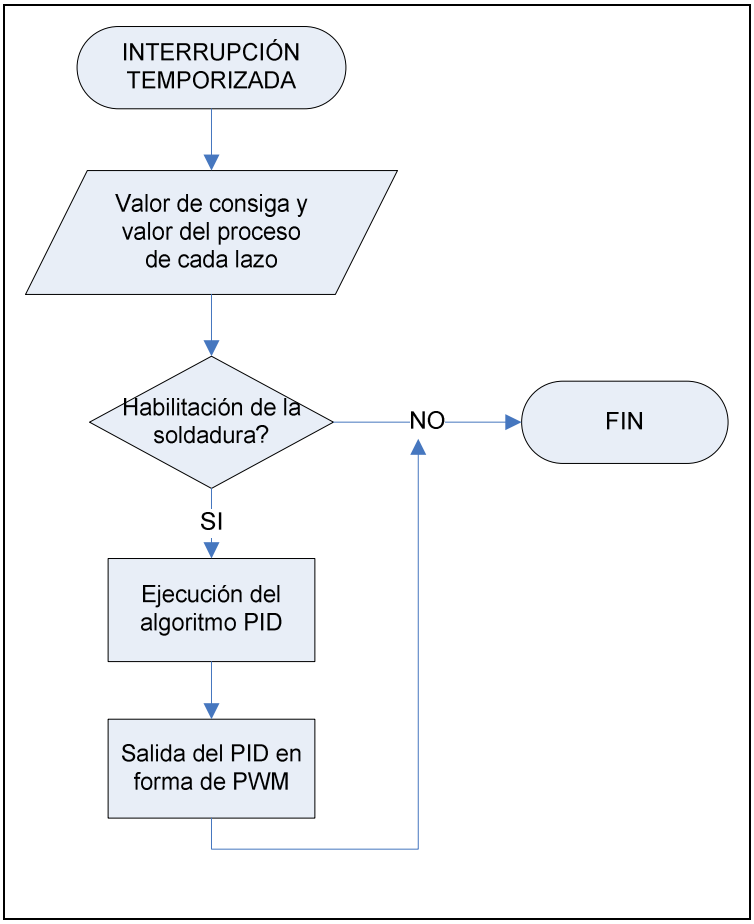


Figura 3-17: *Diagrama de flujo 3 subrutina control de temperatura.*

3.2.10.3.4 Señal de salida PWM del algoritmo PID.

La señal de salida del algoritmo PID de cada lazo se la envía en forma de PWM a la salida respectiva del PLC para que active al relé de estado sólido. Se seleccionó un periodo del PWM de 2 segundos.

La salida del algoritmo es un valor real comprendido entre 0 y 1, de tal forma que se procesó previamente hasta conseguir que sea el ancho del pulso de la salida PWM dentro del periodo mencionado.

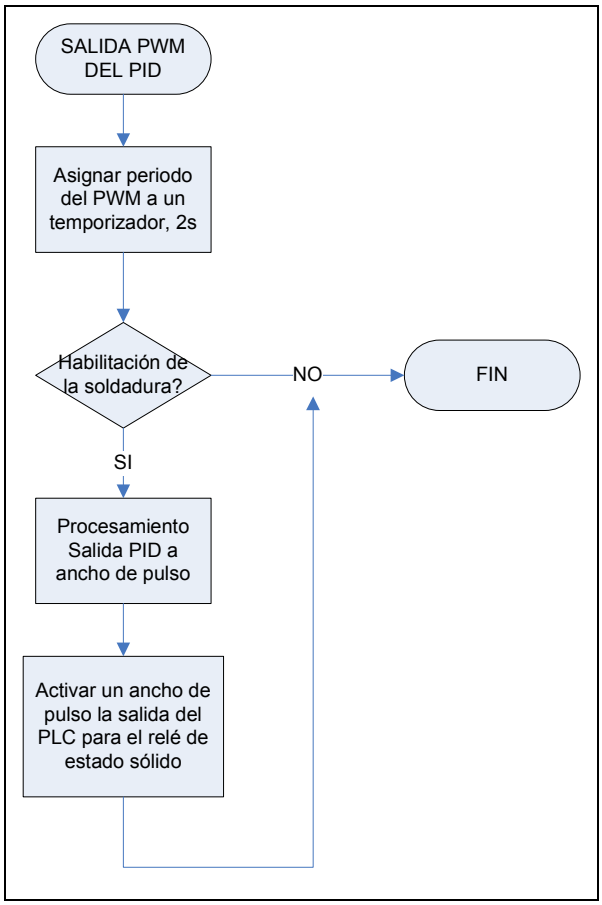


Figura 3-18: *Diagrama de flujo 4 subrutina control de temperatura***.**

3.2.10.4 Ajustes para la medición de temperatura.

Los módulos para termocuplas están configurados para medir temperatura a través de una termocupla tipo J y la medición se realiza en grados centígrados. Esta configuración se la realizó mediante los dip-switches que presenta cada módulo.

Existe una correlación entre el valor medido y la lectura del módulo, teniendo que al registrar una lectura decimal de 4000 en el módulo, el sensor estará midiendo una temperatura de 400ºC, es decir, el módulo posee una precisión de 0.1ºC / dígito.

Con esta información se realizaron mediciones de temperatura sobre la soldadura inferior delantera de la máquina y posteriormente se efectuaron los ajustes respectivos.

Para esta prueba se midió un intervalo de temperatura, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura máxima de trabajo mediante un medidor de temperatura Fluke 179 y se contrastó con las lecturas registradas en el módulo.

	Lectura del Módulo para termocupla	Medidor de temperatura Fluke 179
	(Formato decimal)	*(ºC)*
Valor mínimo	174	17,8
Valor máximo	5744	297,7

Debido a estas lecturas fue necesario realizar una compensación en ganancia y offset vía software.

Para tener unidades equivalentes, las lecturas del módulo para termocuplas se transformaron en grados centígrados, es decir, como valor mínimo se tiene 17,4 ºC y como valor máximo 574,4 ºC.

De esta forma, el ajuste que se pretende realizar es el siguiente:
La lectura del módulo para termocuplas debe ser modificada en ganancia y en offset para conseguir la lectura del medidor de temperatura, esto escrito en ecuaciones es:

$$1) \quad 17{,}8 = 17{,}4 \cdot k_1 + b_1$$
$$2) \quad 297{,}7 = 574{,}4 \cdot k_1 + b_1$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene:

$k_1 = 0{,}5025136499$
$b_1 = 9.0562657091$

Con estos valores se consiguió ajustar las lecturas del módulo para termocuplas para que el control de temperatura implementado en el PLC se efectúe de manera correcta.

3.2.10.5 Calibración de los parámetros del controlador PID.

La calibración de los parámetros del controlador PID se efectuó mediante simulaciones efectuadas en Matlab R2007a, para lo cual fue necesario crear el modelo aproximado de la planta: una resistencia eléctrica.

La función de transferencia de la planta fue obtenida mediante un proceso de identificación de sistemas por la curva de reacción

Donde la planta obtenida fue:

```
>> planta

Transfer function:
84.99 s^2 + 25.19 s + 23.7
-----------------------------------
 s^2 + 0.3708 s + 0.02622
```

Con esta planta se realizaron simulaciones en Matlab para encontrar los valores más apropiados para el controlador, los mismos que serán posteriormente contrastados en el proceso controlado de temperatura.

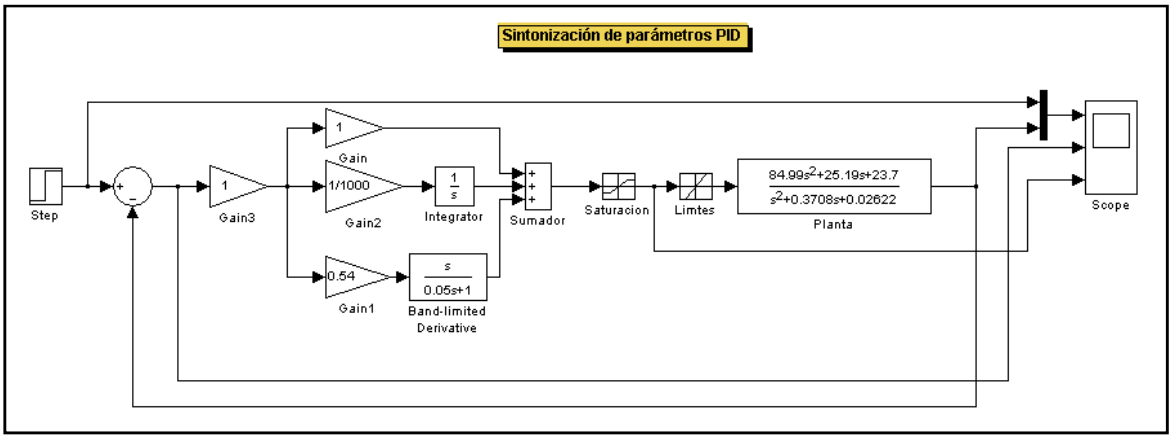


Figura 3-19: *Diagrama de la simulación del PID en Simulink de Matlab.*

Con la simulación se obtuvieron los siguientes resultados:

La línea azul describe la curva del valor de consigna o set point de temperatura y la línea verde describe la respuesta de la planta con controlador PID.

Tabla 3-2: *Grupo de parámetros 1 empleados para la calibración del controlador.*

GRUPO DE PARÁMETROS 1	
Kp	1
Ti	10
Td	0.54

Con los parámetros de la Tabla 3-2 se obtuvo el siguiente resultado.

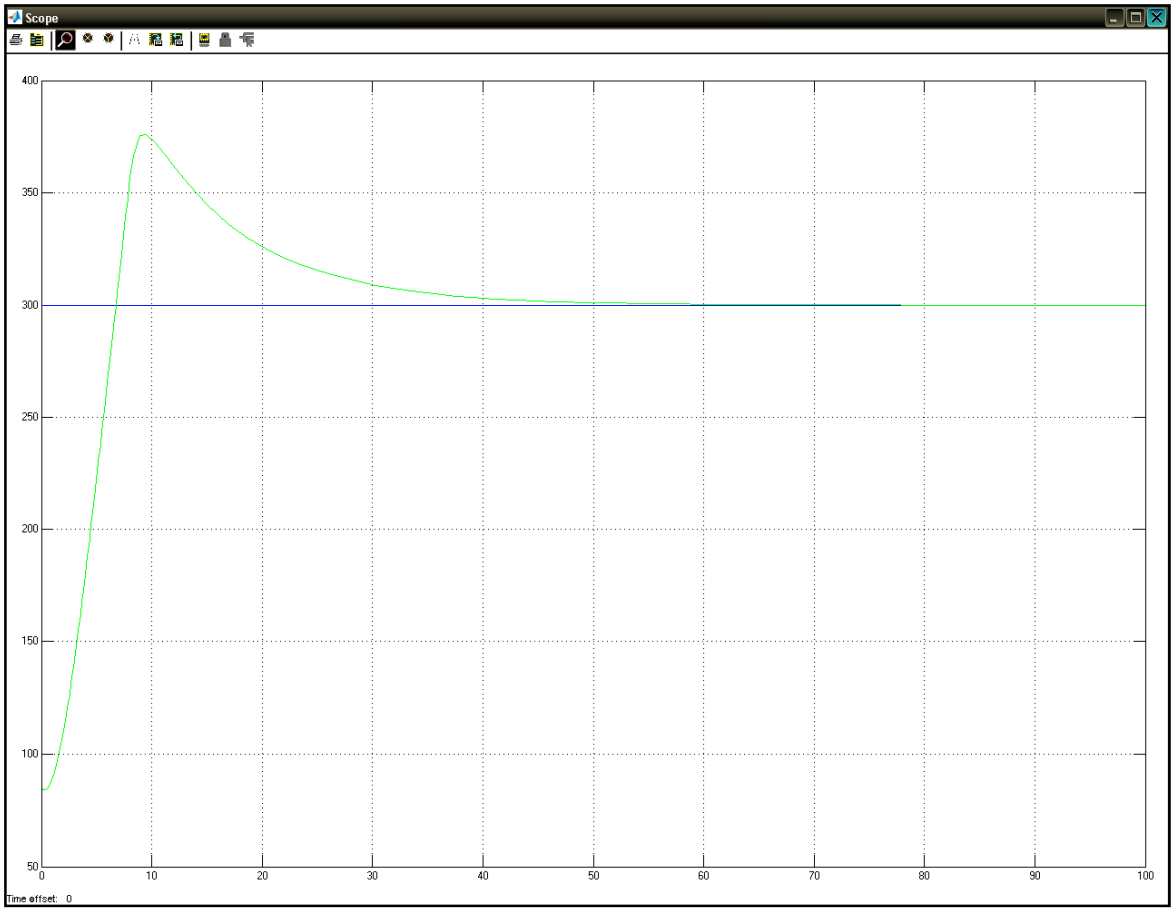


Figura 3-20: *Calibración 1 de parámetros del controlador PID.*

Tabla 3-3: *Grupo de parámetros 2 empleados para la calibración del controlador.*

GRUPO DE PARÁMETROS 2	
Kp	1
Ti	100
Td	0.54

Con los parámetros de la Tabla 3-3 se obtuvo el siguiente resultado.

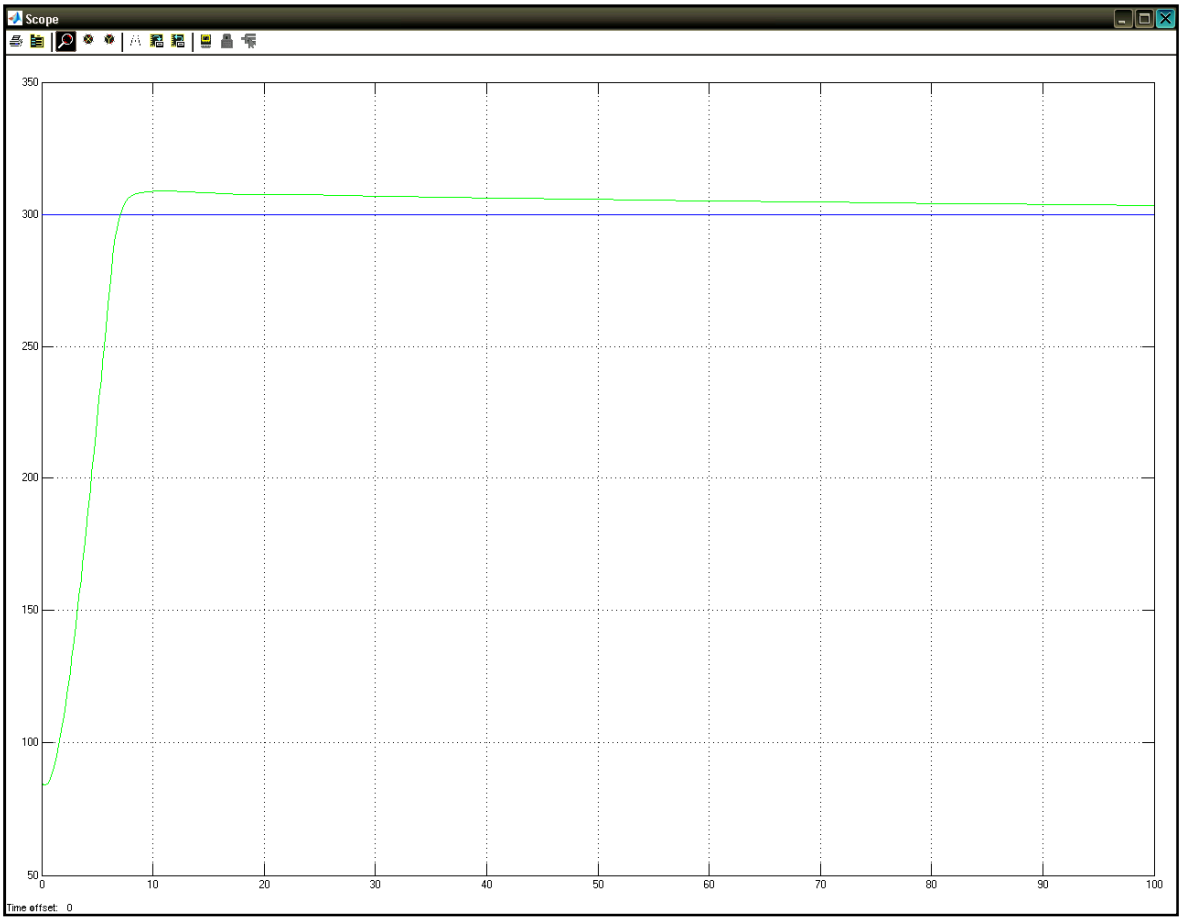


Figura 3-21: *Calibración 2 de parámetros del controlador PID.*

Tabla 3-4: *Grupo de parámetros 3 empleados para la calibración del controlador.*

GRUPO DE PARÁMETROS 3	
Kp	1
Ti	1000
Td	0.54

Con los parámetros de la Tabla 3-4 se obtuvo el siguiente resultado.

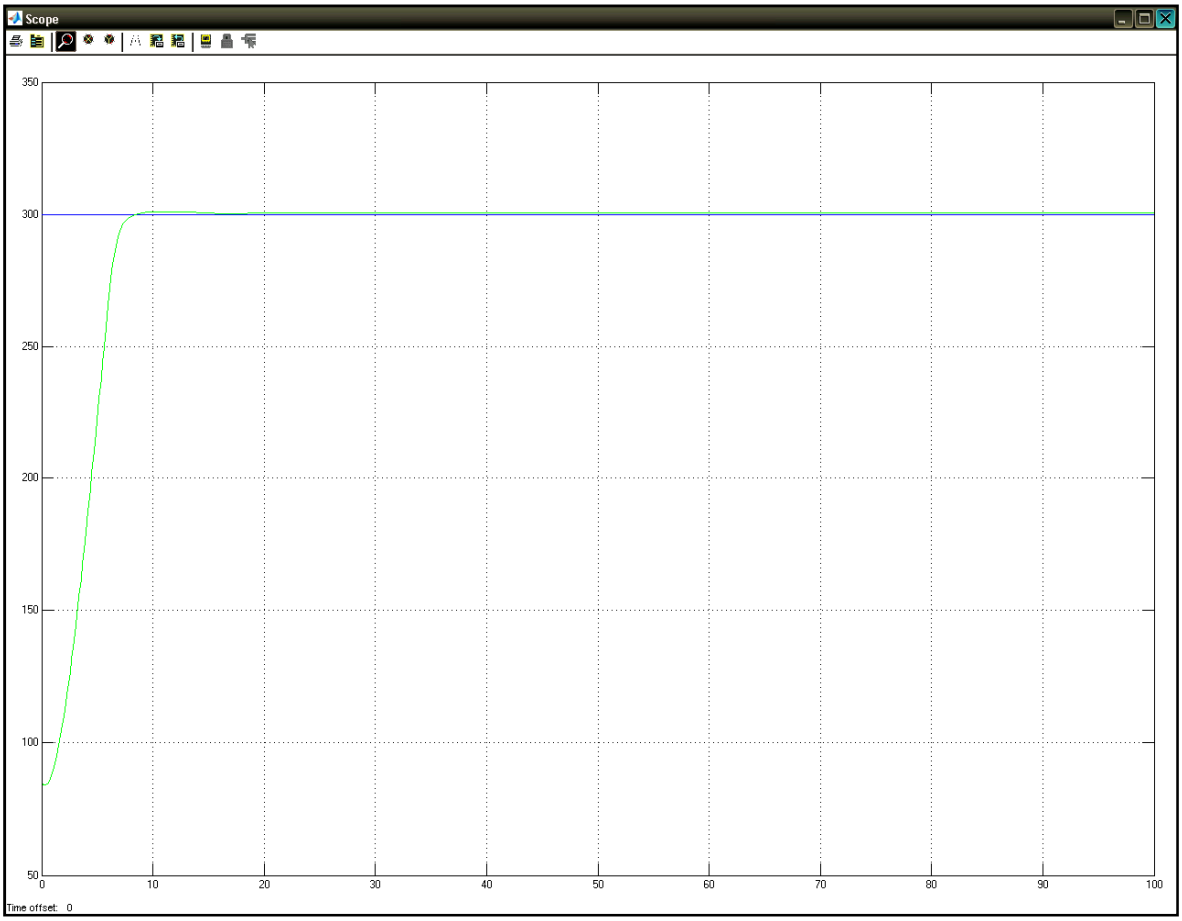


Figura 3-22: *Calibración 3 de parámetros del controlador PID.*

3.2.11 VELOCIDAD DEL MOTOR PRINCIPAL.

El motor principal en su dato de placa muestra que a voltaje y frecuencia nominal adquiere una velocidad de 1415 RPM a 50 Hz. El eje del motor se halla acoplado a una caja reductora donde el índice de la misma es 20. De este modo, a velocidad nominal del motor se obtendrá 70,75 RPM a la salida de la caja reductora.

Además, con el módulo de salida analógica se consigue 10 VDC cuando su área de memoria de 2 bytes es de 32768; y en este punto alcanzaría la velocidad máxima de 70,75 RPM que por facilidad de cálculo se trabajará con 71. Entonces, al realizar una relación del valor decimal de la palabra de salida del módulo analógico por RPM tenemos:

$$relación = \frac{32768}{71RPM} = 461{,}52 \qquad RPM^{-1}$$

Esta es la relación que nos permite realizar la conversión de la velocidad ingresada en la interfaz gráfica a la velocidad trabajada en palabra digital en el PLC, para que sea coherente con el voltaje de salida del módulo analógico que también trabaja en este formato, como se mencionó en el capítulo anterior.

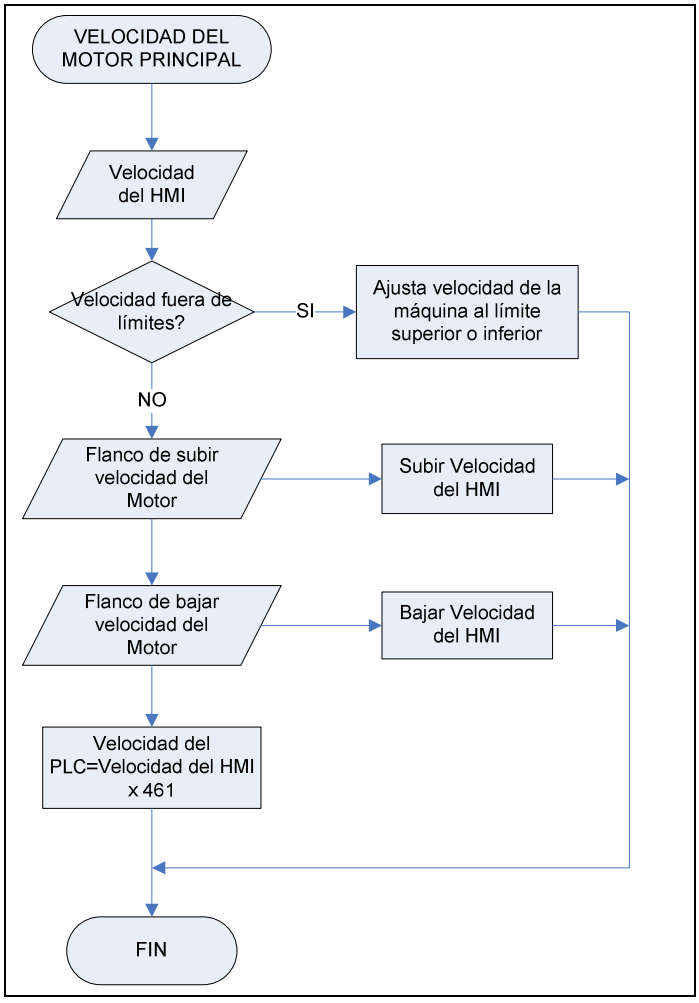


Figura 3-23: *Diagrama de flujo velocidad del motor principal.*

3.2.12 ARRANQUE Y FRENO DEL MOTOR PRINCIPAL.

Esta parte se encuentra en el programa principal y se encarga de emitir las señales de arranque y freno mecánico del motor principal.

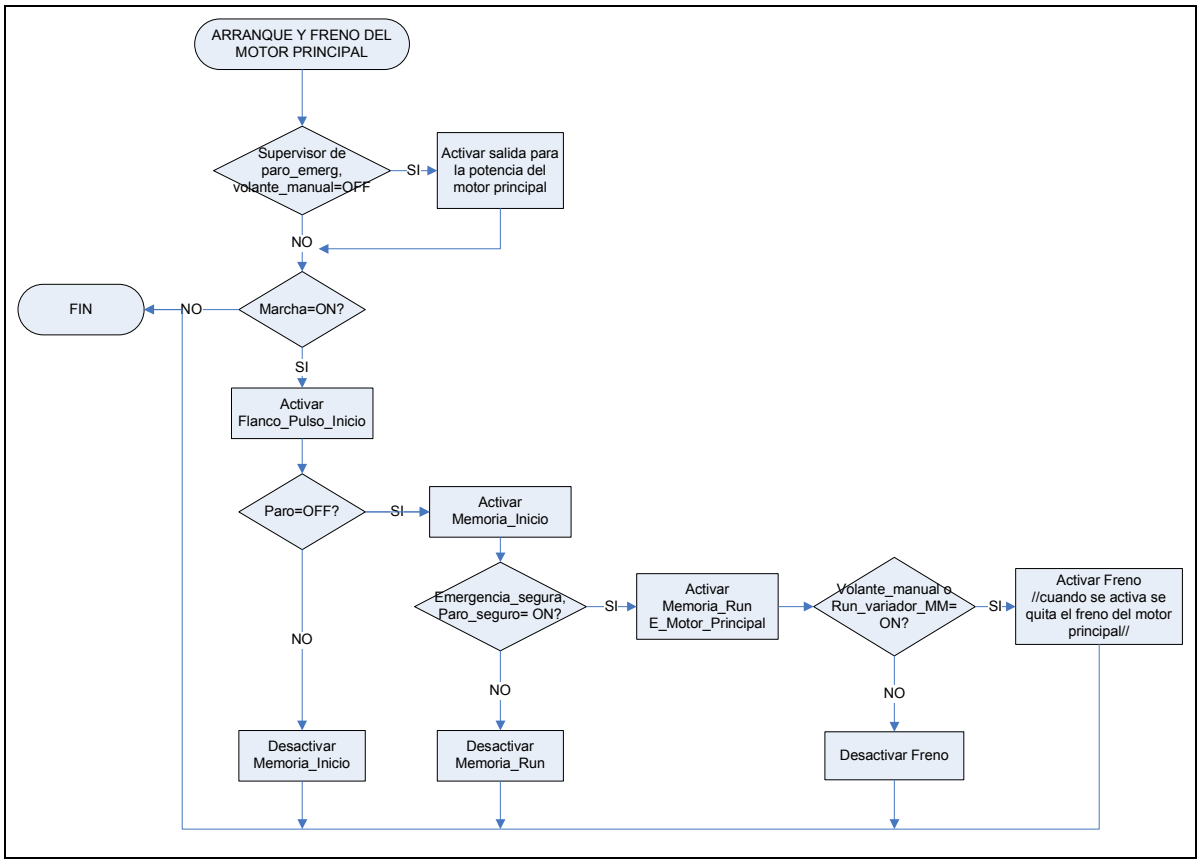


Figura 3-24: *Diagrama de flujo arranque y freno del motor principal.*

3.2.13 SUBRUTINA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR PRINCIPAL.

Esta subrutina se ejecuta continuamente mediante la marca especial SM0.0, debido a que siempre se visualiza la velocidad de la máquina en la interfaz gráfica.

En esta subrutina, la lectura de los valores del encoder y la ejecución del algoritmo de medición de la velocidad del motor principal, son efectuados cada 500 ms.

La lectura actual se compara con la lectura anterior y se convierte a RPM, mostrándose en la interfaz gráfica.

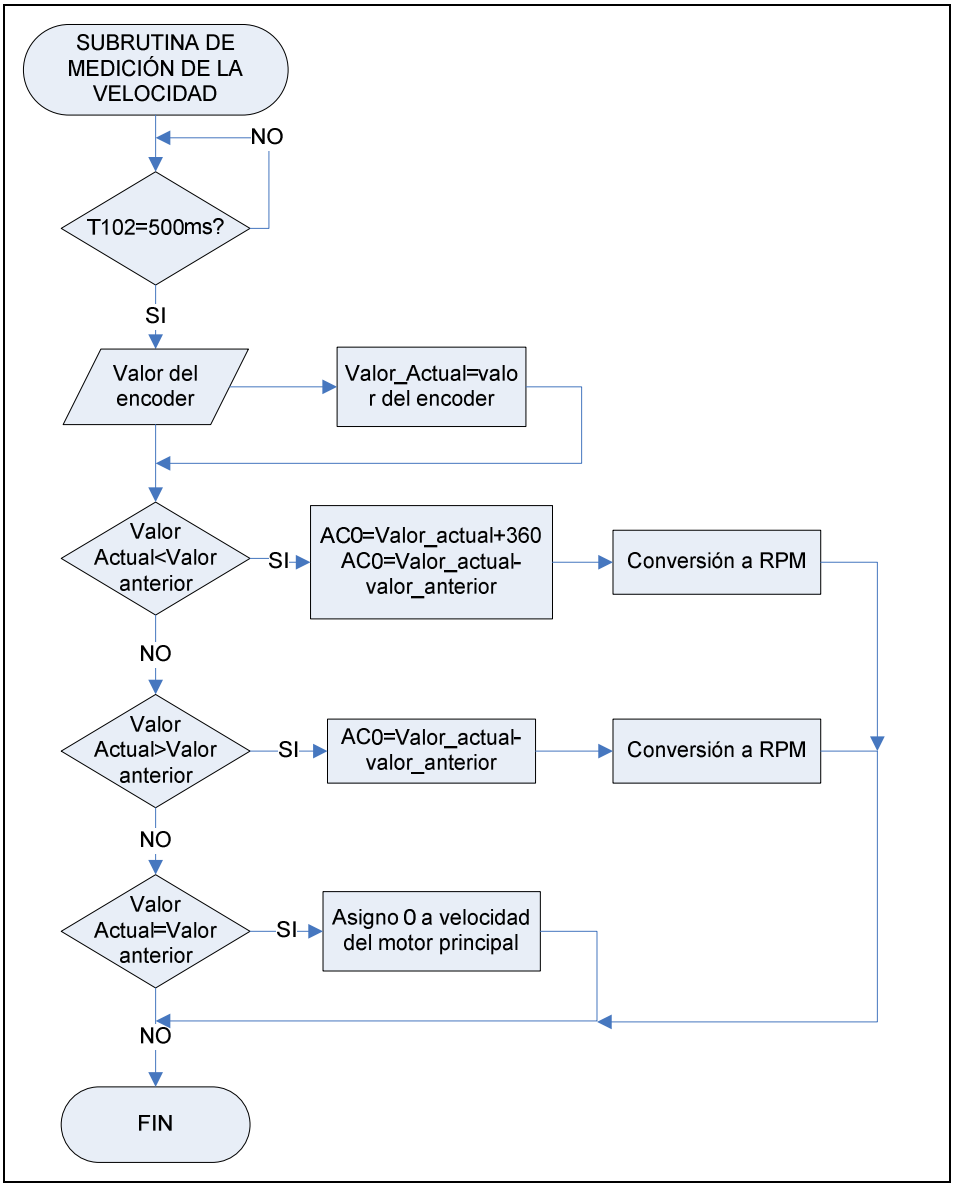


Figura 3-25: *Diagrama de flujo subrutina de la medición de la velocidad del motor principal.*

3.2.14 ARRASTRE DE MATERIAL.

Esta sección se encuentra en el programa principal y coordina la habilitación del servomotor del área de desbobinación.

Se realiza la lectura del valor del encoder y se determina a través de la interfaz gráfica, entre qué límites es necesaria la habilitación del servomotor. Estos límites

son áreas de memoria que determinan el inicio (VW106) y el final (VW108) de la habilitación.

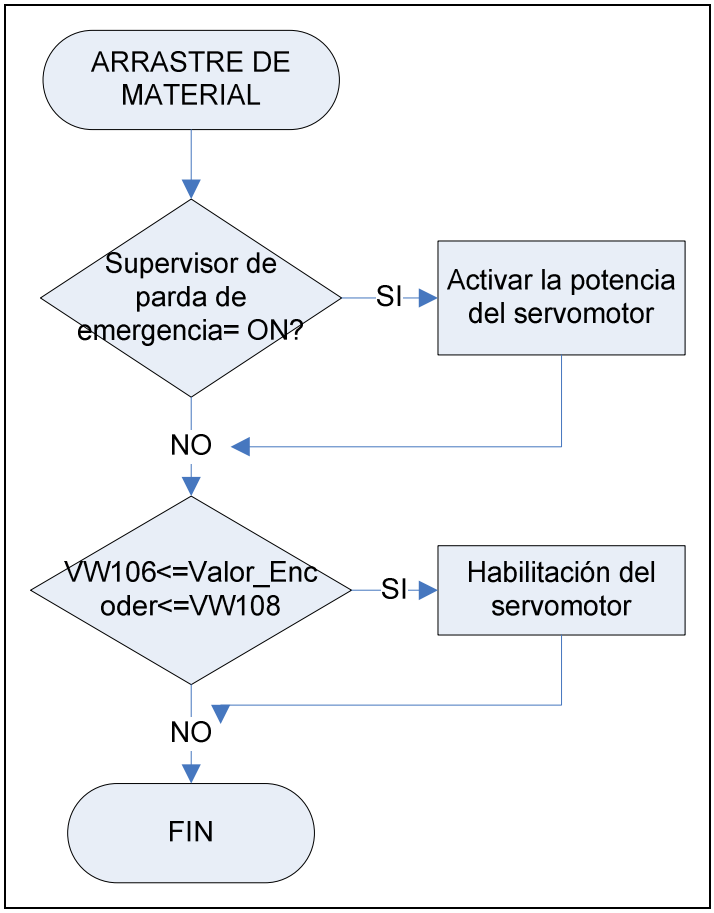


Figura 3-26: *Diagrama de flujo arrastre de material.*

3.2.15 DESBOBINACIÓN DE MATERIAL.

Esta sección se encuentra en el programa principal, consiste básicamente en activar la energía, es decir, la alimentación trifásica a través del contactor al variador de velocidad del motor del desbobinador. Además se encarga de dar la señal de marcha al variador para que accione al motor, siempre y cuando se cumplan las restricciones de funcionamiento.

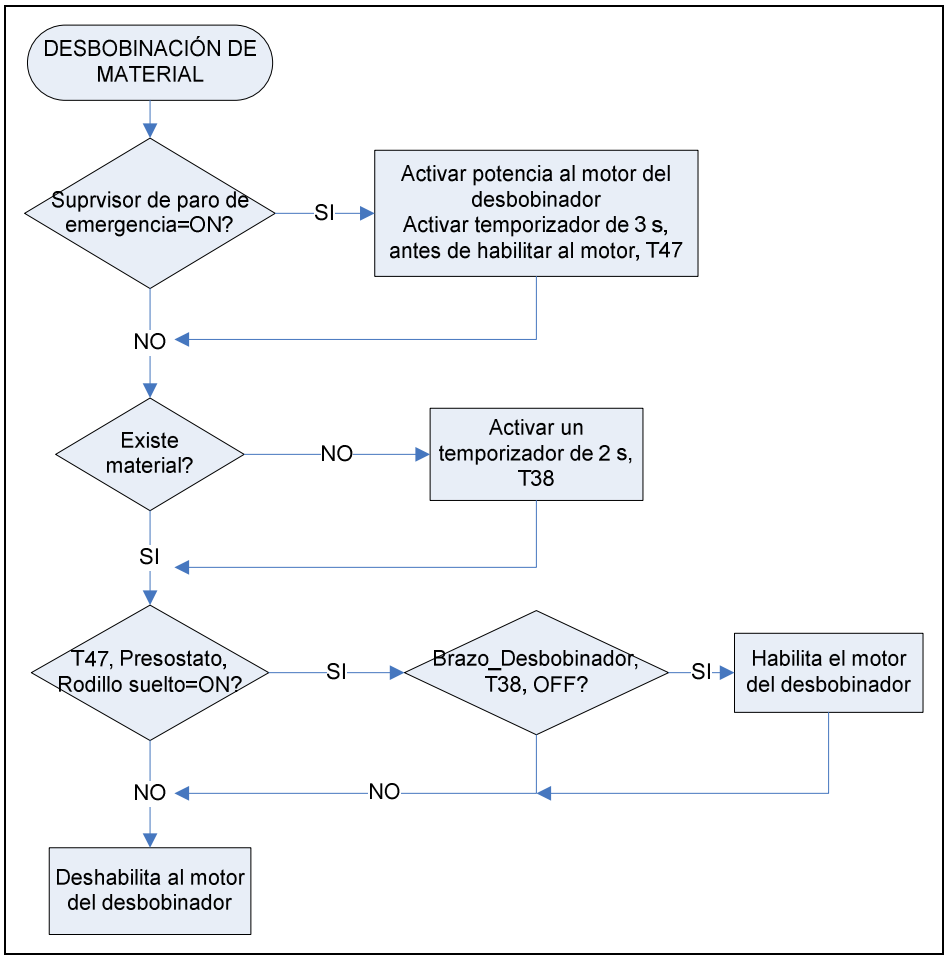


Figura 3-27: *Diagrama de flujo desbobinación de material.*

3.2.16 PERFORADOR DE FONDO.

Esta parte del programa principal se encarga de controlar los pistones neumáticos que realizan las perforaciones sincronizadas sobre el material de envase.

Las señales provenientes de la interfaz gráfica, PF_I_HMI y PF_II_HMI, activan a los algoritmos de esta sección. Cada pistón de perforación trabaja de manera independiente.

Las perforaciones son realizadas por pistones neumáticos, activados por electro válvulas. El sobrante de material de la perforación realizada es absorbido por el motor aspirador de esta área

.

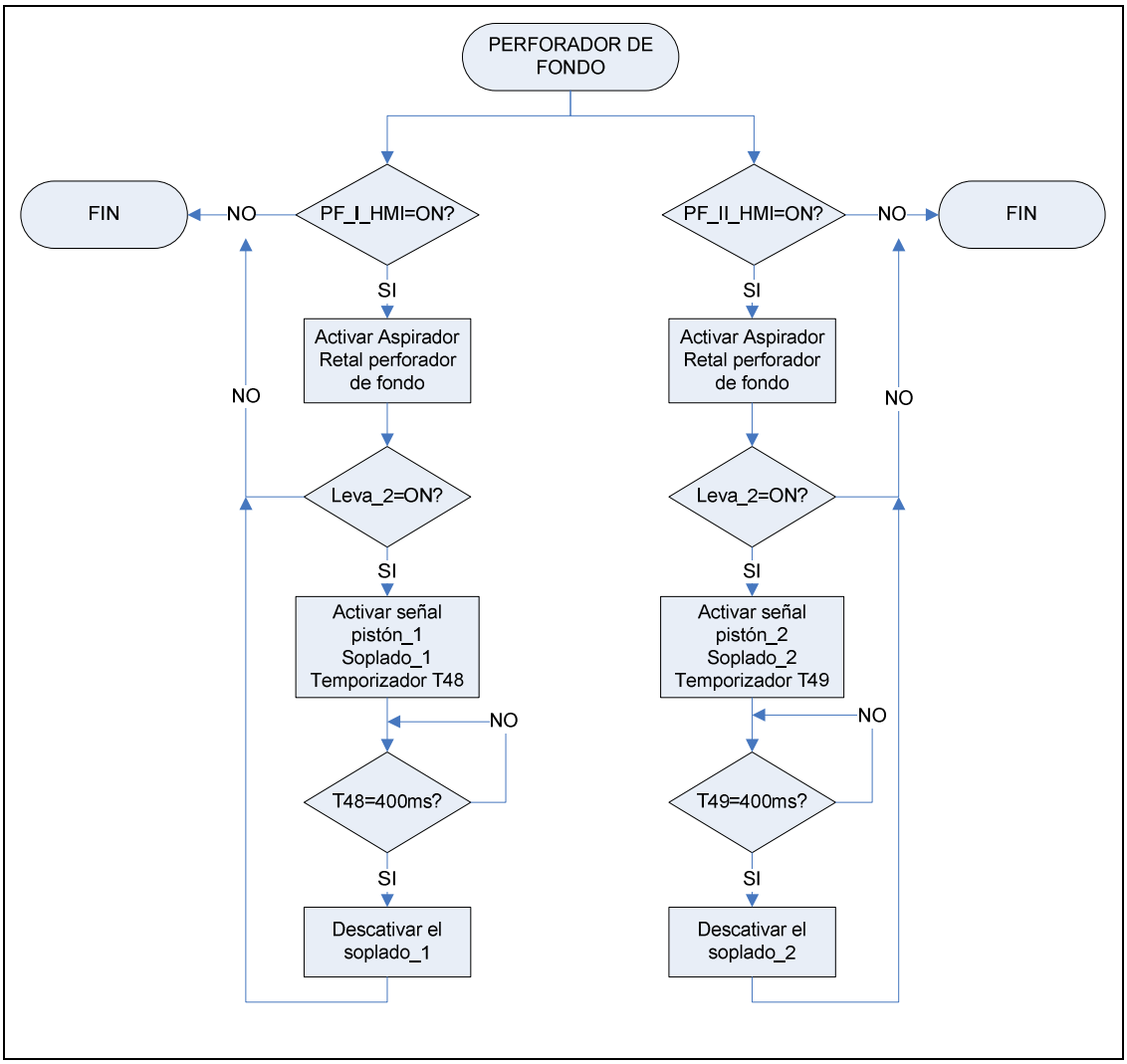


Figura 3-28: *Diagrama de flujo perforador de fondo.*

3.2.16.1 Corrección del perforador de fondo.

Como se mencionó anteriormente, a veces la impresión se descentra y es necesario corregir la precisión de las perforaciones. La función de esta parte del programa es controlar la marcha y el sentido de giro del motor DC de esta área, para alinear las perforaciones en el envase.

Alinea_PF_HMI permite activar esta opción desde la interfaz gráfica y un sensor de marcas detecta la taca del material impreso. Por otro lado, existe un selector que permite una alineación manual del perforador de fondo, estando la máquina detenida.

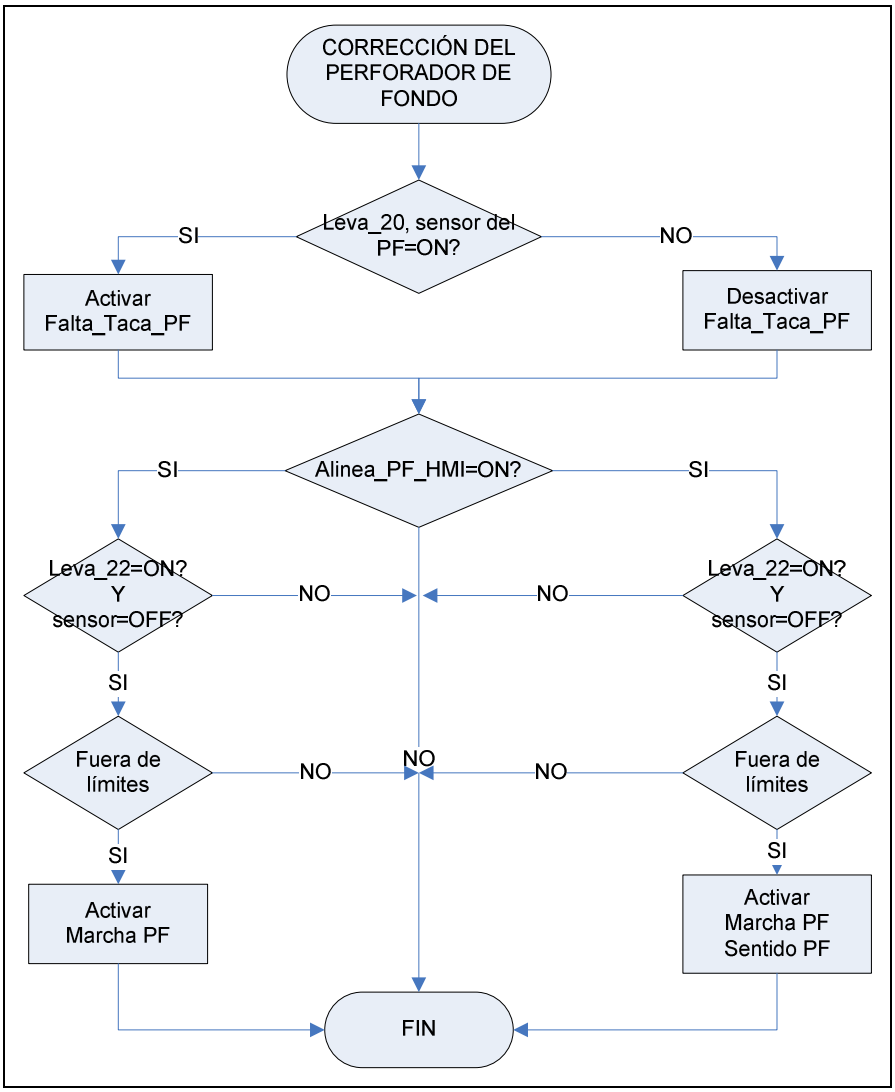


Figura 3-29: *Diagrama de flujo corrección del perforador de fondo.*

3.2.17 INCISIONES SOBRE EL MATERIAL.

En esta parte del programa se acciona un pistón, mediante una electro válvula, para que ejecute las incisiones sobre el material de envase. La ejecución de la señal es sincronizada con el eje de levas y esta opción puede ser activada o desactiva desde la interfaz gráfica.

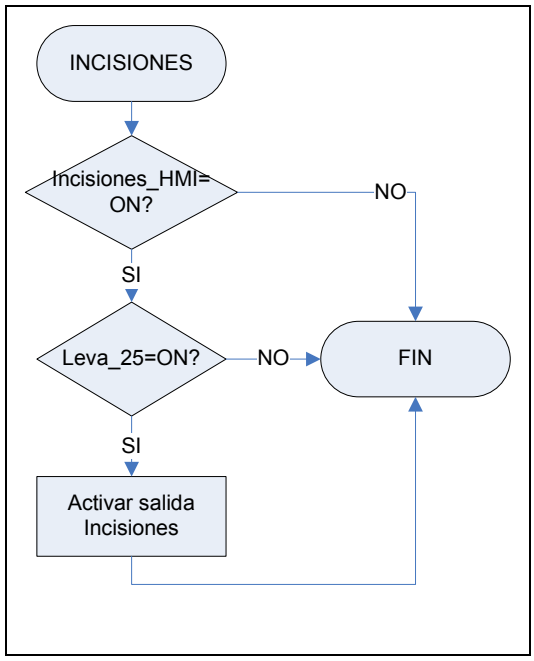


Figura 3-30: *Diagrama de flujo incisiones sobre el material.*

3.2.18 ALINEACIÓN DEL MATERIAL.

La alineación del material se produce al corregir la posición de la banda del área del desbobinador. De este modo, el programa efectúa el algoritmo que realiza correcciones a la banda. Esta función puede ser activada o desactivada desde la HMI, AB_HMI. El algoritmo trabaja con tres contadores decrementales (C2, C3 y C4) en función de la detección superior e inferior de la presencia del material y la inhibición de los mismos, respectivamente. Al detectarlos, el contador respectivo decrementa su cuenta hasta desbordar, activando una señal por un tiempo configurado desde la interfaz gráfica, que a su vez activará la señal de marcha y/o de sentido también. Una vez activada la señal de marcha, una señal de inhibición será activada, permitiendo que la corrección surja efecto en un número determinado de ciclos de máquina configurados desde la interfaz gráfica. Este número de ciclos se contabilizan en el contador decremental C4, donde la señal flanco de leva 2 marca el ciclo de máquina para esta sección, y disminuye en uno al contador, hasta desbordarlo a cero, desactivando la señal de inhibición, volviendo a funcionar el algoritmo descrito en los primeros párrafos.

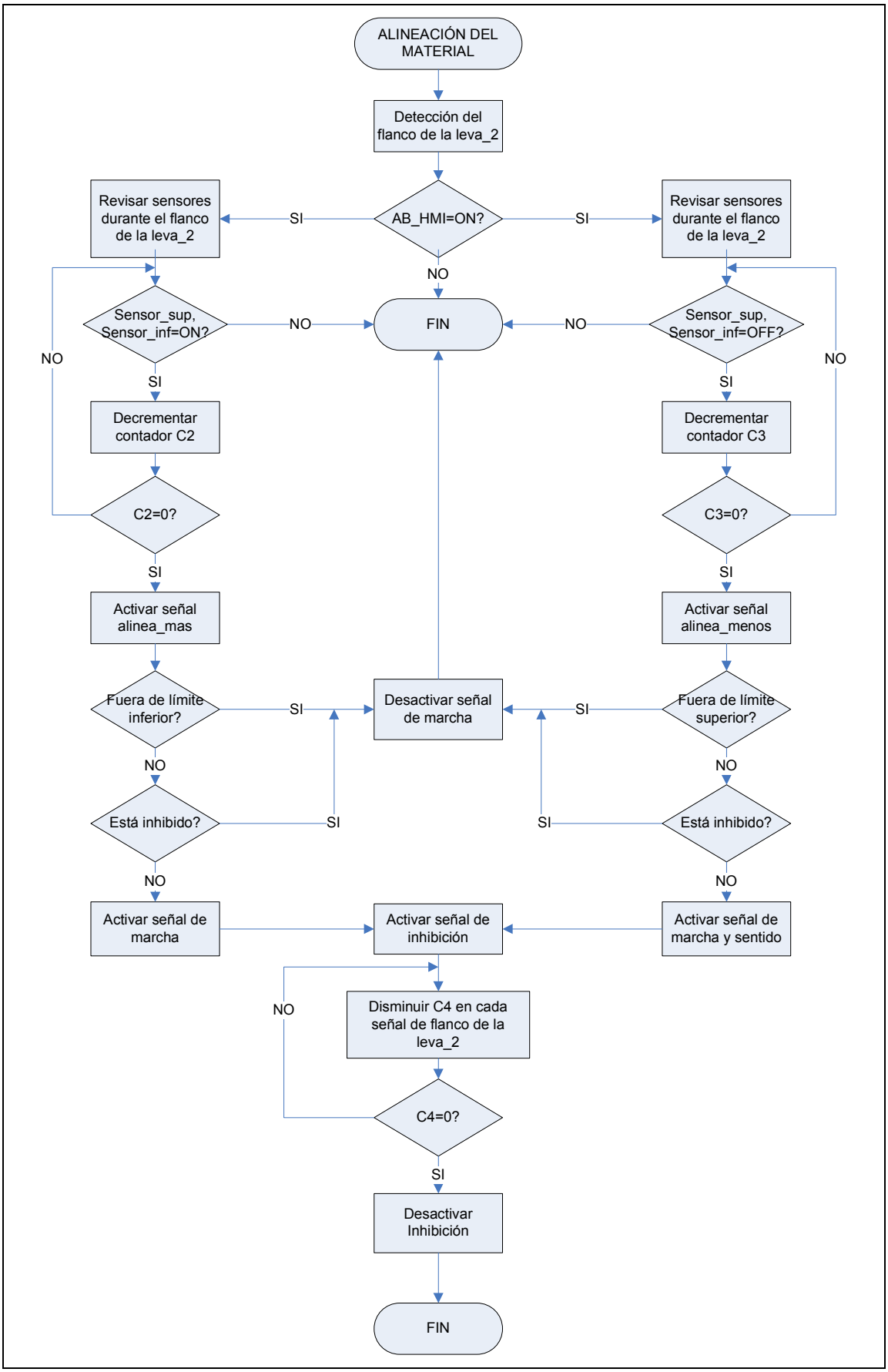


Figura 3-31: *Diagrama de flujo alineación de material.*

3.2.19 CORRECCIÓN DEL ARRASTRE DE MATERIAL.

La corrección del arrastre consiste en sincronizar la señal que activa el freno del cuerpo de arrastre de material, para que el corte se realice en la mitad de la taca, con la señal de la leva_1. Esta opción de corrección puede ser activada o desactivada desde la interfaz gráfica.

Al sincronizarse, la señal de corrección se la envía a la tarjeta FCR, que compara las señales de corrección y la proveniente del sensor de marcas para que finalmente, esta tarjeta envíe una señal al control del freno y lo accione de ser necesario.

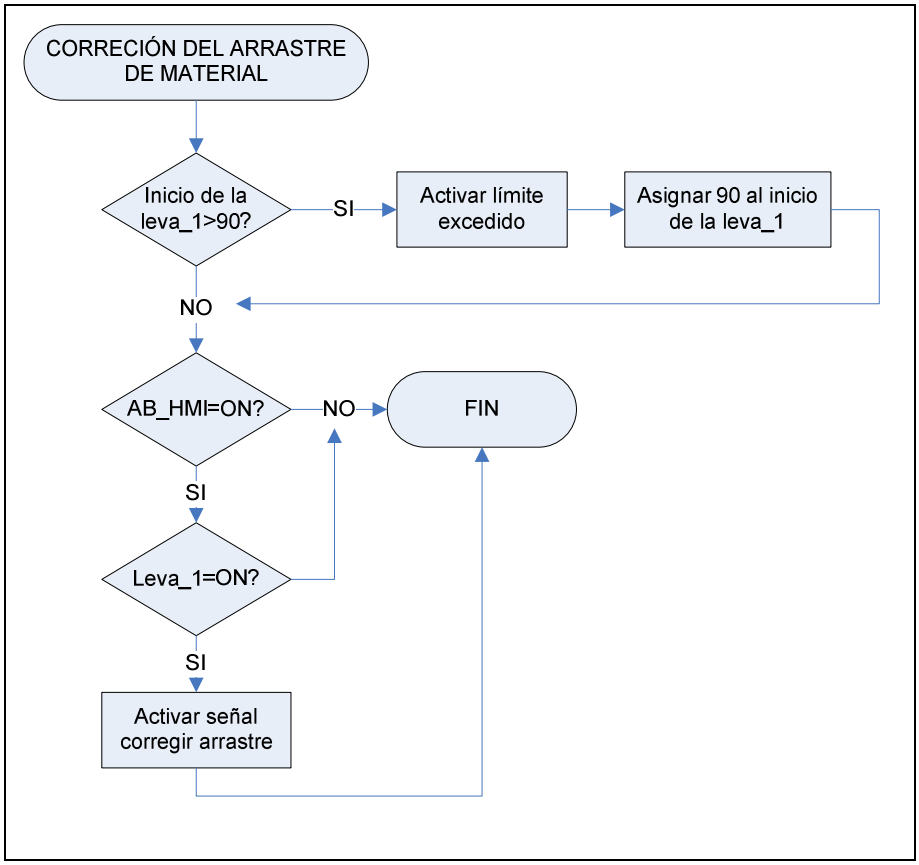


Figura 3-32: *Diagrama de flujo corrección del arrastre de material.*

3.2.20 MUESCA DE DESGARRE.

Esta parte del programa permite activar las electro válvulas encargadas de accionar a los pistones que realizan el corte para obtener la muesca de desgarre. Este corte se lo realiza cuando existe un detenimiento en el ciclo del proceso, es

decir cuando la leva_2 está activada. La opción de muesca de desgarre puede ser activada o desactivada desde la interfaz gráfica. Además se activa el soplado de la muesca y el motor del aspirador retal muesca de desgarre, para que expulse este residuo al exterior.

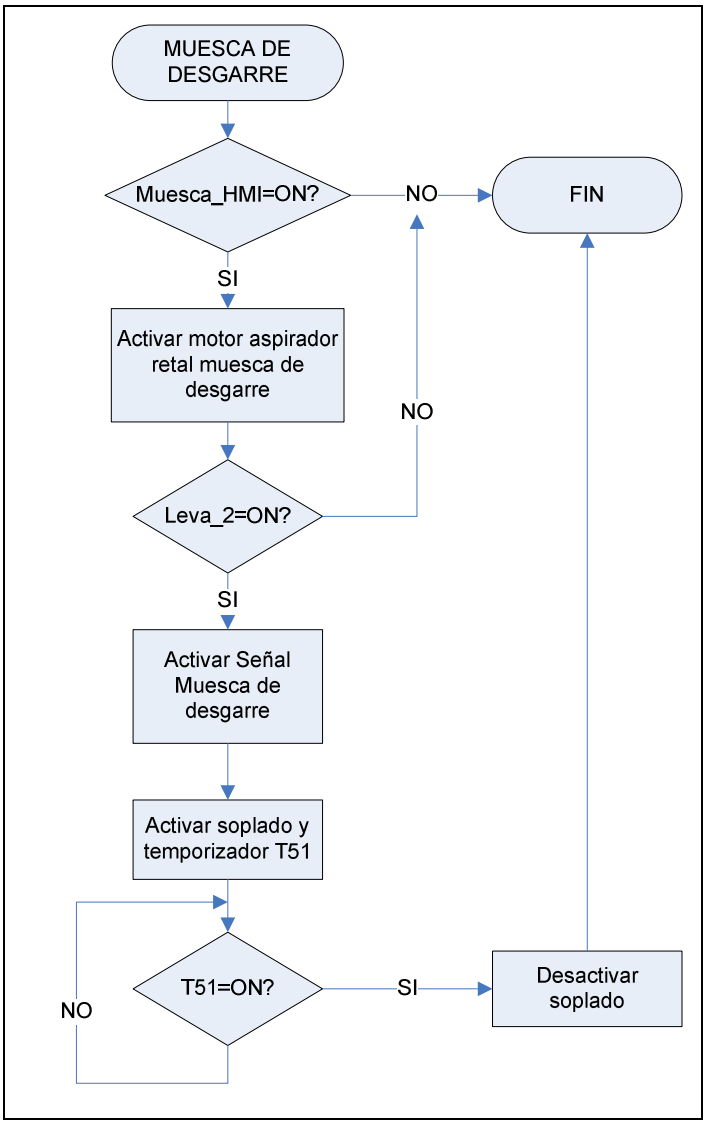


Figura 3-33: *Diagrama de flujo muesca de desgarre.*

3.2.21 ABERTURA DEL SOBRE.

La abertura del sobre sucede bajo tres condiciones, es necesario que las ventosas superior en inferior estén activadas, es decir, succionen las paredes exteriores del sobre con la ayuda de la bomba de vacío, para que luego se active el soplador y abra completamente al sobre, preparándole para la estación de

dosificado. Dos variables pueden ser activadas o desactivadas desde la interfaz gráfica, la primera que activará la opción de las ventosas, ventosas_HMI y la otra, que activará el soplado del sobre, soplado_HMI.

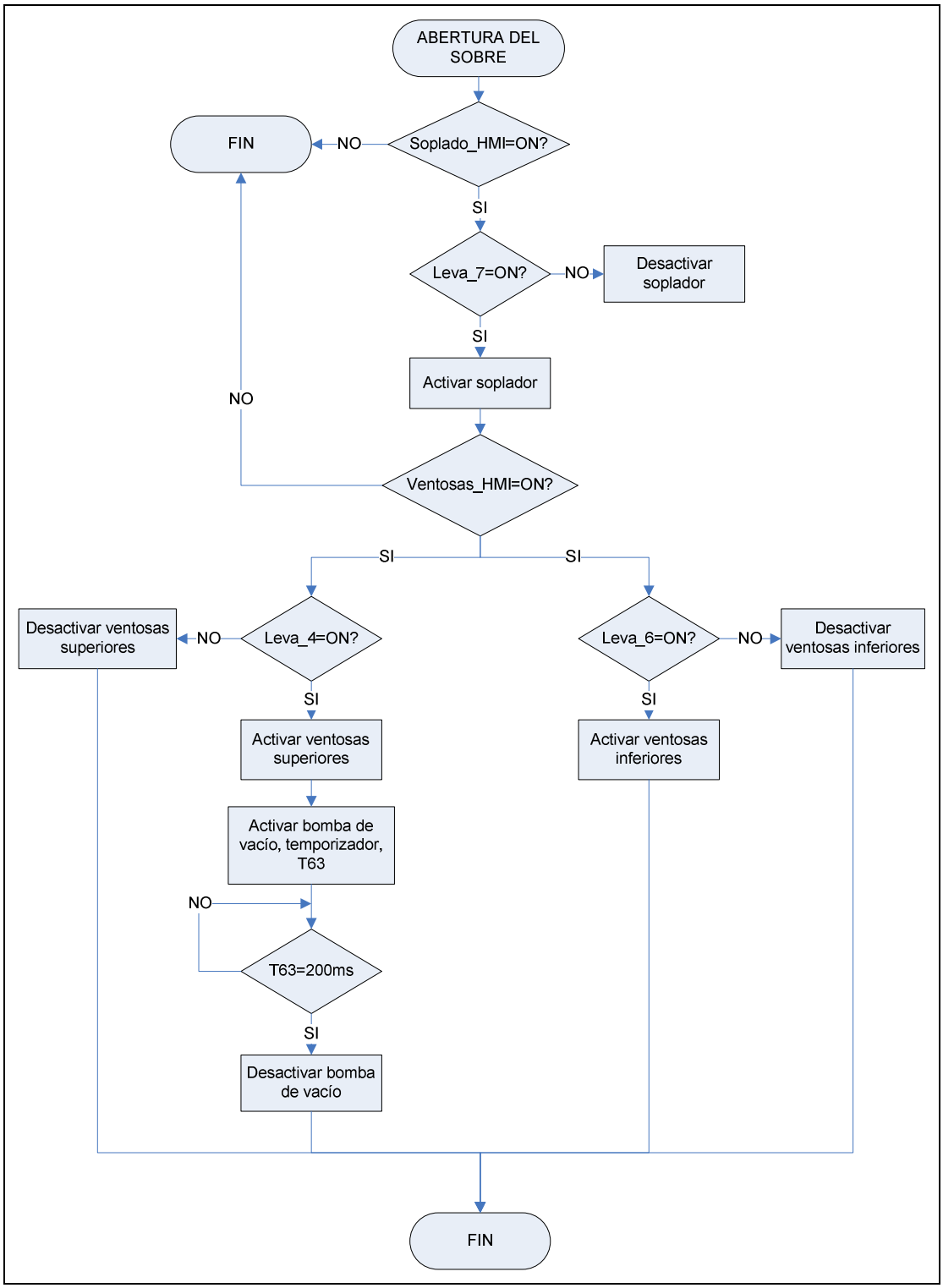


Figura 3-34: *Diagrama de flujo abertura del sobre.*

3.2.22 REGISTRO DE SOBRE NO ABIERTO.

Esta parte del programa permite tener un registro de que si el sobre se encuentra abierto o no. Un sensor inductivo detecta si la bomba de vacío se encuentra trabajando, de este modo se conoce si se ha abierto o no algún sobre. En cada ciclo de máquina, mediante la leva 11, se realiza la lectura del sensor y se obtiene un registro. Un contador decremental, C5, contabiliza los ciclos de máquina donde no se ha encontrado que esté abriendo el sobre, hasta un límite configurable desde la interfaz gráfica (VW2855), luego de ello se emitirá una alarma.

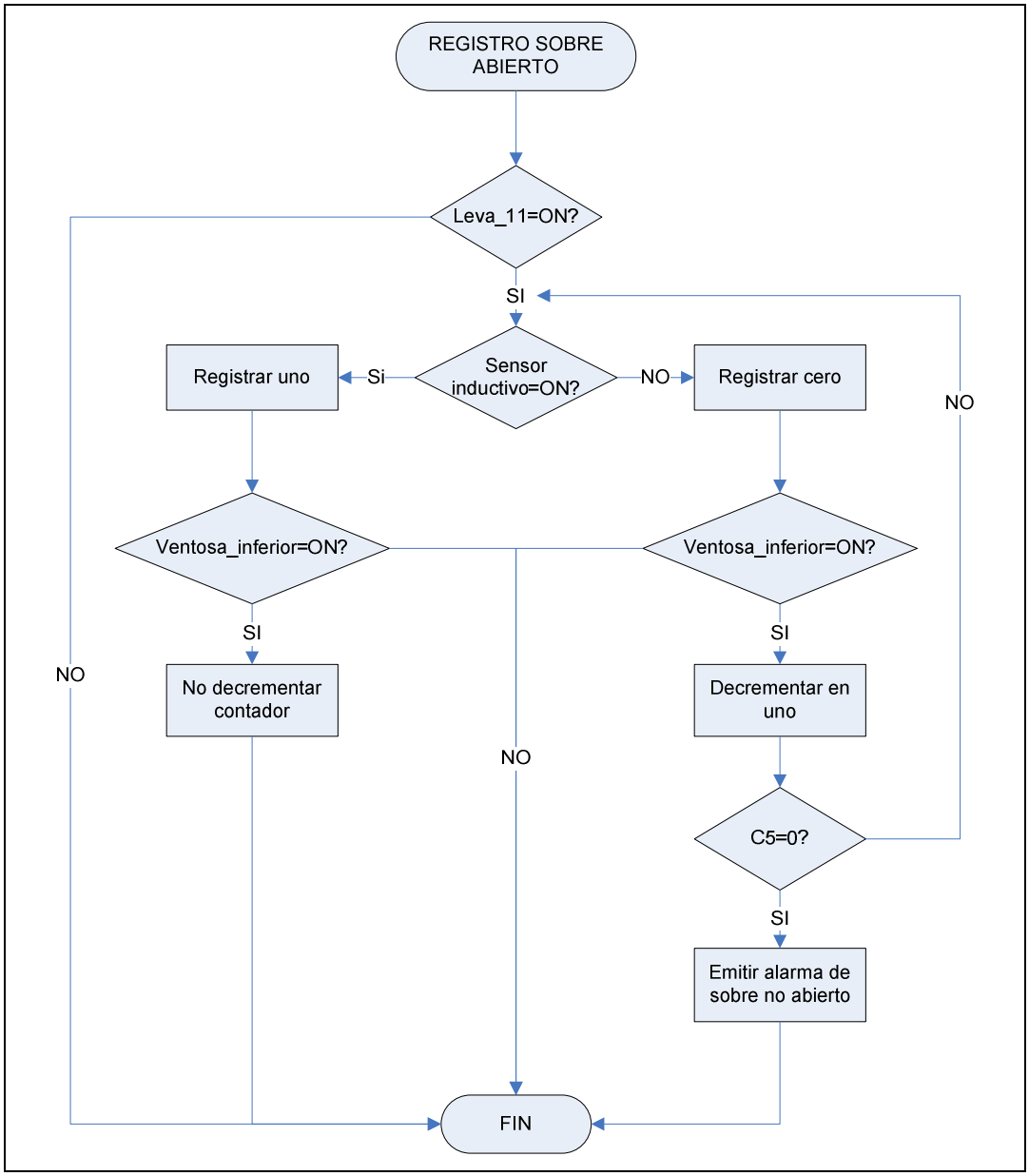


Figura 3-35: *Diagrama de flujo registro de sobre no abierto.*

3.2.23 ILUMINACIÓN Y GERMICIDA.

Desde la interfaz gráfica existen interruptores que activan la iluminación de la bancada inferior y de la bancada superior y también existe un interruptor que activa la sección del germicida en el área de desbobinado. Estos interruptores activan en el PLC, la salida correspondiente.

3.2.24 LIMPIEZA DE LA SOLDADURA SUPERIOR.

Para la limpieza de la soldadura superior, que se encuentra formando parte del carro móvil, dos pulsantes de la interfaz gráfica permite abrir o cerrar el carro móvil, respectivamente.

Esta limpieza se realiza abriendo el carro móvil, para lo cual no debe existir ninguna restricción que lo evite, como por ejemplo: baja presión de aíre, protecciones anuladas, paro de emergencia y motor principal en movimiento. La sincronización de esta sección de la máquina se realiza con la leva 17.

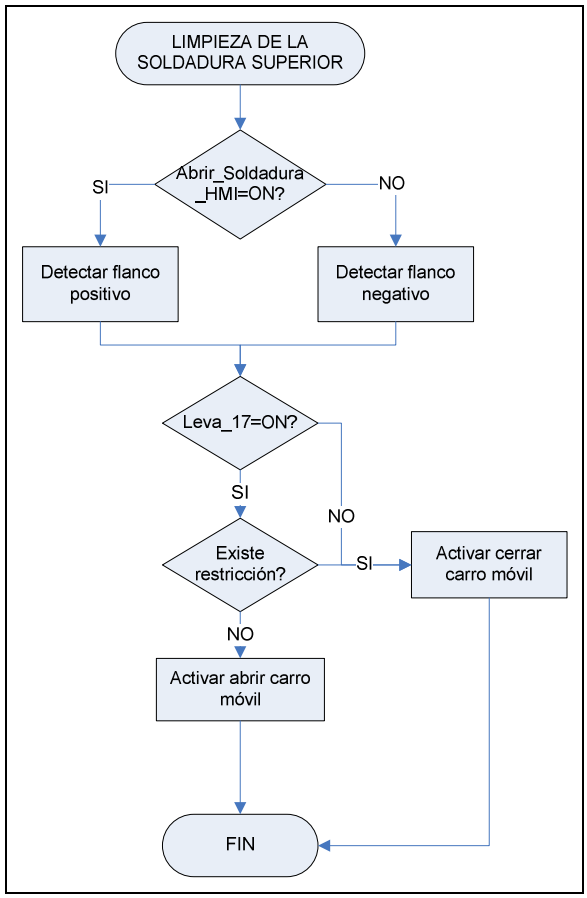


Figura 3-36: *Diagrama de flujo limpieza de la soldadura superior.*

3.2.25 RECHAZO DEL SOBRE NO ABIERTO.

Esta parte del programa selecciona las causas que ameritan rechazar el sobre. El rechazo sucede en la sección de la soldadura refrigeradora superior, un pistón acciona mecánicamente a la misma, abriéndola si se debe rechazar o cerrándola si el sobre debe continuar el proceso con la cinta de salida.

No dosificar ninguna de las cuatro estaciones es razón para rechazar los sobres, además, si se trabaja con un formato de arrastre de dos sobre en cada ciclo de máquina, el no dosificar alguno de ellos también es causa de rechazo de sobre.

El operador de la máquina también puede seleccionar desde la interfaz gráfica el rechazar los sobres, Rechazo_HMI, sea cual sea el formato de trabajo.

El rechazo del sobre no abierto, es decir, el activar el pistón de rechazo es sincronizado con la leva 18.

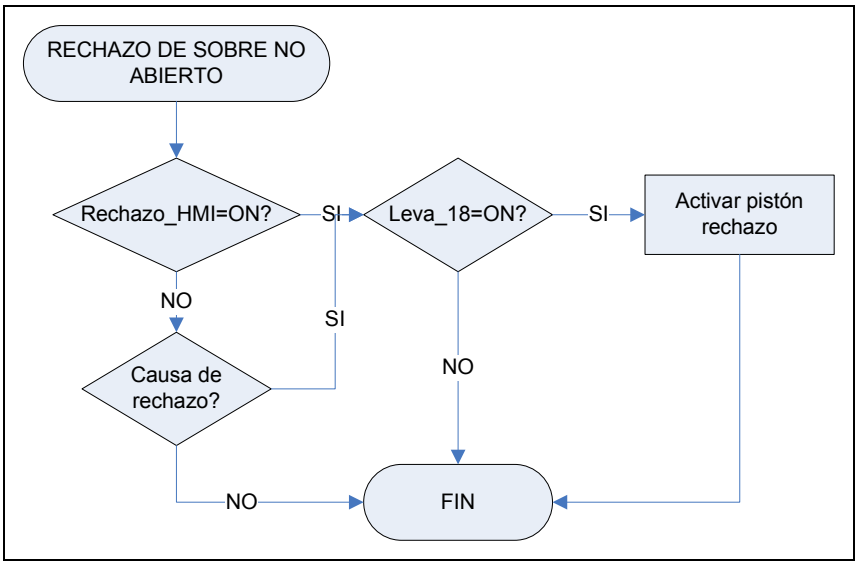


Figura 3-37: *Diagrama de flujo rechazo del sobre no abierto.*

3.2.26 MOTOR CINTA DE SALIDA.

La interfaz gráfica tiene un interruptor, Cinta de Salida_HMI, que permite activar al motor de este grupo, además se puede modificar la velocidad desde la HMI.

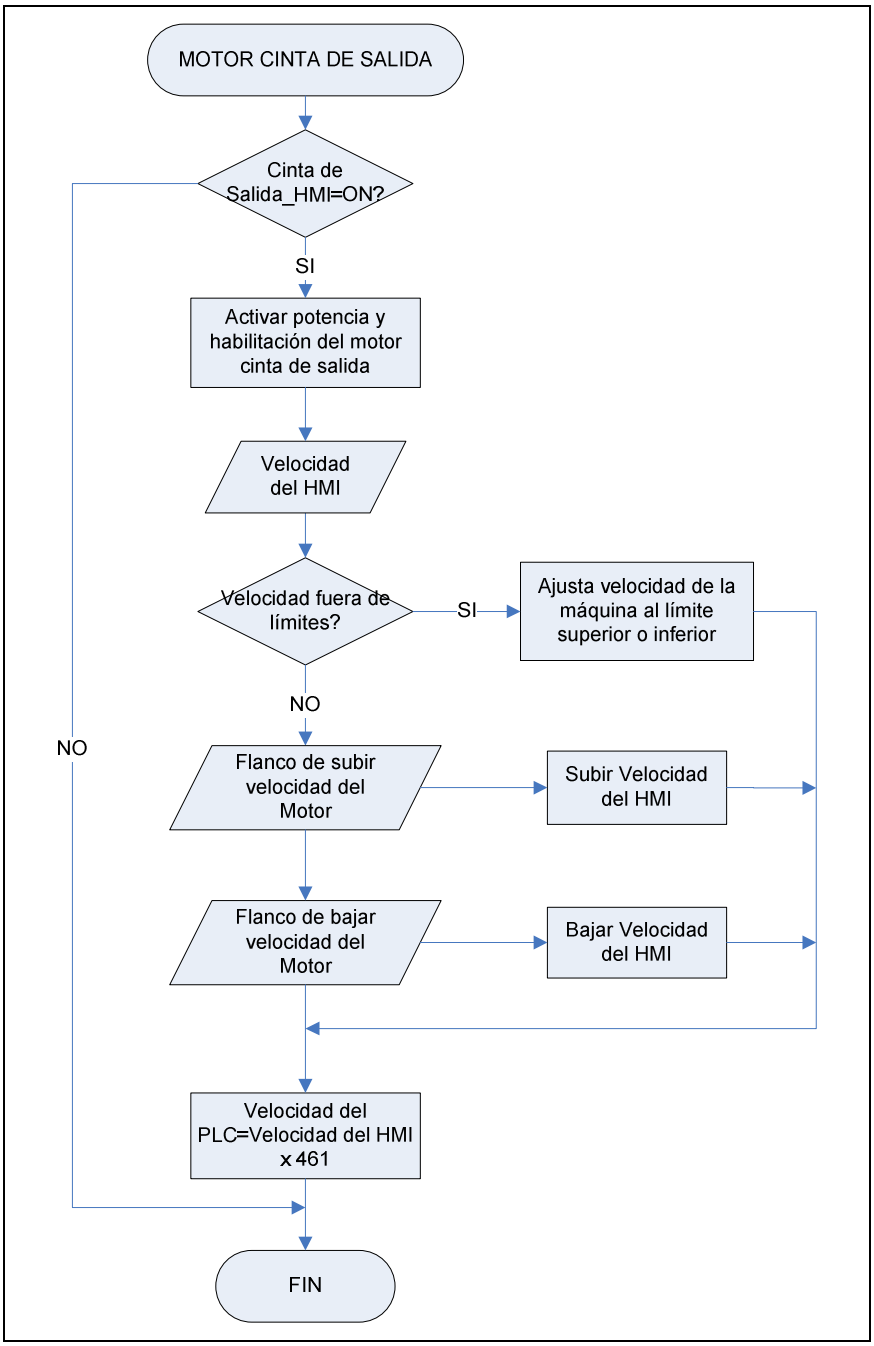


Figura 3-38: *Diagrama de flujo motor cinta de salida.*

3.2.27 FUNCIÓN CONTADOR RÁPIDO DEL PLC SIEMENS.

Los contadores rápidos se utilizan habitualmente para contar pulsos de alta frecuencia provenientes de encoders incrementales o absolutos. Los encoders incrementales proveen un número determinado de pulsos por giro, así como un pulso de puesta a “0” una vez por giro.

Los pulsos por giro y el de puesta a cero proveen información a la función contador rápido del PLC, para que realice el procesamiento de contaje.

En los siguientes párrafos se detallarán aspectos importantes de configuración de los contadores rápidos, asignados como High Speed Counter (HSC).

3.2.27.1 Descripción de las operaciones con contadores rápidos.

Hay cuatro tipos básicos de contadores, a saber: contadores de fase simple con control interno del sentido de contaje, contadores de fase simple con control externo del sentido de contaje, contadores de dos fases con 2 entradas de reloj, así como contadores A/B, este último es usado en este proyecto.

Es preciso tener en cuenta que no todos los contadores soportan todos los modos.

Todos los contadores se pueden utilizar sin entrada de puesta a 0 y sin entrada de arranque, con entrada de puesta a 0 pero sin entrada de arranque, o bien, con entrada de puesta a 0 y de arranque.

- Activando la entrada de puesta a 0 se borra el valor actual del contador hasta que esa entrada se desactive de nuevo.
- Cuando se activa la entrada de arranque, se habilita el contador. Si se desactiva esa entrada se mantiene el valor actual del contador, ignorándose los eventos de reloj.
- Si se activa la entrada de puesta a 0 mientras está desactivada la entrada del arranque, se ignorará la activación de la entrada de puesta a 0, con lo que no se modificará el valor actual. Si la entrada de arranque se activa mientras está activada la entrada de puesta a 0, el valor actual se borrará.

Antes de utilizar un contador rápido es preciso usar la operación HDEF (Definir modo para contador rápido) con objeto de seleccionar el modo del contador.

Se recomienda usar la marca del primer ciclo SM0.1 (este bit se activa sólo en el primer ciclo y se desactiva posteriormente) para llamar a la subrutina que contiene la operación HDEF.

3.2.27.2 Programar un contador rápido.

Para programar un contador rápido es necesario realizar las siguientes tareas básicas:

- Definir el contador y el modo.
- Ajustar el byte de control.
- Ajustar el valor actual (valor inicial).
- Ajustar el valor predeterminado (valor destino).
- Asociar y habilitar la rutina de interrupción.
- Activar el contador rápido.

3.2.27.2.1 Definir el contador y el modo.

Se debe utilizar el bloque HDEF para definir el modo del contador y las entradas.

La Tabla 3-5 muestra las entradas correspondientes al reloj, el control de sentido, la puesta a cero y las funciones de arranque de los contadores rápidos.

Tabla 3-5: *Descripción de las entradas del contador rápido.*

Mode	Descripción	Entradas			
	HSC0	I0.0	I0.1	I0.2	
	HSC1	I0.6	I0.7	I1.0	I1.1
	HSC2	I1.2	I1.3	I1.4	I1.5
	HSC3	I0.1			
	HSC4	I0.3	I0.4	I0.5	
	HSC5	I0.4			
0	Contador de fase simple con control interno del sentido de contaje	Reloj			
1		Reloj		Puesta a 0	
2		Reloj		Puesta a 0	Arranque
3	Contador de fase simple con control externo del sentido de contaje	Reloj	Sentido		
4		Reloj	Sentido	Puesta a 0	
5		Reloj	Sentido	Puesta a 0	Arranque
6	Contador de dos fases con 2 entradas de reloj	Reloj adelante	Reloj atrás		
7		Reloj adelante	Reloj atrás	Puesta a 0	
8		Reloj adelante	Reloj atrás	Puesta a 0	Arranque
9	Contador A/B	Reloj A	Reloj B		
10		Reloj A	Reloj B	Puesta a 0	
11		Reloj A	Reloj B	Puesta a 0	Arranque

Cuatro contadores tienen tres marcas de control que se utilizan para configurar el estado activo de las entradas de puesta a 0 y de arranque, así como para seleccionar la velocidad simple o cuádruple (ésto sólo en los contadores A/B).

Estas marcas están depositadas en el byte de control del respectivo contador y se emplean solamente cuando se ejecuta la operación HDEF. La Tabla 3-6 muestra esas marcas.

Tabla 3-6: *Marcas del byte de control de contadores rápidos para ejecutar con la operación HDEF.*

HSC0	HSC1	HSC2	HSC4	Descripción (sólo cuando se ejecuta HDEF)
SM37.0	SM47.0	SM57.0	SM147.0	Bit de control de nivel de actividad para puesta a 0[1]: 0 = entrada de puesta a 0 (actividad alta) 1 = entrada de puesta a 0 (actividad baja)
---	SM47.1	SM57.1	---	Bit de control de nivel de actividad para arranque[1]: 0 = arranque (actividad alta) 1 = arranque (actividad baja)
SM37.2	SM47.2	SM57.2	SM147.2	Velocidad de contaje de los contadores A/B: 0 = velocidad cuádruple 1 = velocidad simple

1 El ajuste estándar de las entradas de puesta a 0 y de arranque es de actividad alta, y la velocidad de contaje es la cuádruple (es decir, la frecuencia del reloj de entrada multiplicada por cuatro).

3.2.27.2.2 Ajustar el byte de control

Una vez definido el contador y el modo de contaje es preciso programar los parámetros dinámicos del mismo.

Cada contador rápido tiene un byte de control que permite realizar las siguientes acciones:

- Habilitar o inhibir el contador.
- Controlar el sentido (sólo en los modos 0, 1 y 2), o bien el sentido de contaje inicial (en los demás modos).
- Cargar el valor actual.
- Cargar el valor predeterminado.

La Tabla 3-7 describe las marcas del byte de control.

Tabla 3-7: *Marcas del byte de control de contadores rápidos.*

HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	Descripción
SM37.3	SM47.3	SM57.3	SM137.3	SM147.3	SM157.3	Bit de control para el sentido de contaje: 0 = atrás 1 = adelante
SM37.4	SM47.4	SM57.4	SM137.4	SM147.4	SM157.4	Escribir el sentido de contaje en el contador rápido: 0 = no actualizar 1 = actualizar el sentido de contaje
SM37.5	SM47.5	SM57.5	SM137.5	SM147.5	SM157.5	Escribir el nuevo valor predeterminado en el contador rápido: 0 = no actualizar 1 = actualizar el valor predeterminado
SM37.6	SM47.6	SM57.6	SM137.6	SM147.6	SM157.6	Escribir el nuevo valor actual en el contador rápido: 0 = no actualizar 1 = actualizar el valor actual
SM37.7	SM47.7	SM57.7	SM137.7	SM147.7	SM157.7	Habilitar el contador rápido: 0 = inhibir el contador rápido 1 = habilitar el contador rápido

3.2.27.2.3 Ajustar los valores actuales y predeterminados.

Todos los contadores rápidos disponen de un valor actual y de un valor predeterminado de 32 bits. Ambos son valores enteros con signo. Para cargar un nuevo valor actual o predeterminado en el contador rápido es preciso ajustar el byte de control y los bytes de marcas que contienen los valores actuales y/o predeterminados, así como ejecutar la operación HSC (Activar contador rápido) para transferir los nuevos valores al contador rápido. En la Tabla 3-8 figuran los bytes de marcas especiales que contienen los nuevos valores y los valores predeterminados.

Tabla 3-8: *Marcas especiales de valores actuales y predeterminados.*

Valor a cargar	HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5
Nuevo valor actual	SMD38	SMD48	SMD58	SMD138	SMD148	SMD158
Nuevo valor predeterminado	SMD42	SMD52	SMD62	SMD142	SMD152	SMD162

Además de los bytes de control y de los bytes que contienen los nuevos valores predeterminados, también se puede leer el valor actual de cada uno de los contadores rápidos, utilizando el tipo de datos HC (valor actual del contador rápido) seguido del número de contador (0, 1, 2, 3, 4 ó 5), como muestra la Tabla 3-9. Ello permite acceder directamente al valor actual para operaciones de lectura. Por el contrario, este valor sólo se puede escribir utilizando la operación HSC.

Tabla 3-9: *Dirección de la lectura del contador rápido.*

Valor	HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5
Intensidad	HC0	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5

3.2.27.2.4 Asociar interrupciones

Todos los modos de los contadores soportan una interrupción si el valor actual es igual al valor predeterminado.

Los modos de los contadores que utilizan una entrada de puesta a 0 externa soportan una interrupción que se ejecuta cuando se activa esa entrada. Todos los modos de contaje (con excepción de los modos 0, 1 y 2) soportan una interrupción que se ejecuta cuando se produce un cambio del sentido de contaje.

Cada una de estas condiciones se puede habilitar o inhibir por separado. Cabe destacar que cada contador posee su evento de interrupción, como se detalla en la Tabla 3-10.

Tabla 3-10: *Eventos de interrupción de contadores rápidos.*

Nº de evento	Descripción de la interrupción
12	HSC0 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)
27	HSC0 cambio de sentido
28	HSC0, puesto a 0 externamente
13	HSC1 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)
14	HSC1, cambio de sentido
15	HSC1 puesto a 0 externamente
16	HSC2 CV=PV
17	HSC2 cambio de sentido
18	HSC2 puesto a 0 externamente
32	HSC3 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)
29	HSC4 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)
30	HSC4 cambio de sentido
31	HSC4, puesto a 0 externamente
33	HSC5 CV=PV (valor actual = valor predeterminado)

3.2.27.2.5 Byte de estado

Todos los contadores rápidos disponen de un byte para marcas de estado. Éstas indican el sentido de contaje actual y si el valor actual es igual o mayor que el valor predeterminado.

La Tabla 3-11 muestra las marcas de estado de los contadores rápidos.

Tabla 3-11: *Byte de estado de contadores rápidos.*

HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	Descripción
SM36.0	SM46.0	SM56.0	SM136.0	SM146.0	SM156.0	No utilizado
SM36.1	SM46.1	SM56.1	SM136.1	SM146.1	SM156.1	No utilizado
SM36.2	SM46.2	SM56.2	SM136.2	SM146.2	SM156.2	No utilizado
SM36.3	SM46.3	SM56.3	SM136.3	SM146.3	SM156.3	No utilizado
SM36.4	SM46.4	SM56.4	SM136.4	SM146.4	SM156.4	No utilizado
SM36.5	SM46.5	SM56.5	SM136.5	SM146.5	SM156.5	Bit de estado del sentido de contaje actual: 0 = atrás 1 = adelante
SM36.6	SM46.6	SM56.6	SM136.6	SM146.6	SM156.6	El valor actual es igual al bit de estado del valor predeterminado: 0 = diferente 1 = igual
SM36.7	SM46.7	SM56.7	SM136.7	SM146.7	SM156.7	El valor actual es mayor que el bit de estado del valor predeterminado: 0 = menor o igual 1 = mayor que

3.2.27.3 Subrutina de inicialización del contador rápido

La subrutina consiste en configurar los parámetros antes descritos para que el contador acepte entradas de dos fases A/B y puesta de cero externa.

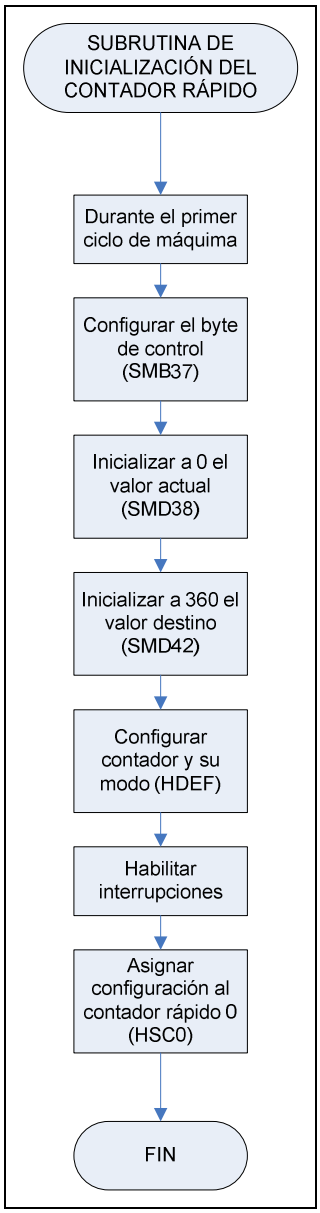


Figura 3-39: *Diagrama de flujo subrutina inicialización del contador rápido.*

3.2.28 ENVÍO DE VALORES A LOS MÓDULOS DE SALIDA ANALÓGICA.

Los valores de las velocidades del motor principal y del motor cinta de salida son enviadas en formato de palabra digital al módulo de salida analógica.

Simplemente un bloque de transferencia con la respectiva salida a la palabra de salida analógica cero (AQW0) para el motor cinta de salida, y la palabra de salida analógica dos (AQW2) para el motor principal.

3.2.29 CARGA DE VALORES PREDEFINIDOS DE LAS LEVAS.

Es posible que por alguna ocasión de manera fortuita o un apagón demasiado prolongado de la máquina, provoque que la configuración del sincronismo de las levas se pierda. Para prevenir esta situación, existe un pulsante en la interfaz gráfica que permite cargar los valores predefinidos de las levas de la máquina. La carga de estos valores se realizará a la interfaz gráfica y al PLC. En la Tabla 3-12 se muestra los valores predefinidos de cada leva.

Tabla 3-12: *Valores predefinidos de sincronización de las levas.*

DESCRIPCIÓN	LEVA	INICIO	FIN
Paro posición	0	230	AUTO
Fotocélula	1	25	116
Film parado	2	150	180
Freno alineador	3	0	100
Ventosa inferior	4	85	230
Codificador	5	100	AUTO
Ventosa superior	6	85	150
Soplador	7	80	200
Corta hilos	8	260	280
Vibrador embudo	9	150	250
Transfer de salida	10	0	200
Sobre abierto	11	230	AUTO
Registro sobre abierto	12	0	AUTO
Pinza de salida	13	30	230
Dosificado tipo 1	14	50	AUTO
Dosificado tipo 2	15	0	AUTO
Detección de sobre vacío	16	20	AUTO
Posición seguridad	17	260	70
Pistón rechazo	18	100	243
Soplador rechazo	19	75	150
Lectura perforador fondo	20	20	50
Arrastre film	21	0	AUTO

Tabla 3-12: *Continuación.*

DESCRIPCIÓN	LEVA	INICIO	FIN
Corrección perforador fondo	22	50	100
Detección sobre vacío	23	50	150
Separador cinta	24	0	0
Incisiones	25	155	210
Permiso arrastre	26	59	270
Falta pajita	27	1	AUTO
Pajita obstruida	28	206	AUTO
Especial 5	29	0	0
Alimentador pajita	30	110	AUTO
Detección transfer	31	0	AUTO

3.2.30 SUBRUTINA LEVAS.

La subrutina LEVAS permite la activación o desactivación de los contactos que representan las levas de la máquina. Este algoritmo considera los valores de inicio y fin, definidos desde la HMI, los mismos que determinan entre qué límites debe actuar el contacto de la leva. El intervalo de funcionamiento de estos contactos de levas es el fondo de escala del encoder incremental instalado, es decir, 360 grados. Esto permite sincronizar el eje principal con los eventos de los subprocesos de la máquina, ya que cada uno de éstos se encuentra relacionado con una leva del eje principal.

El algoritmo diferencia en cada contacto de leva, si el valor de inicio es menor que el valor de fin, de este modo activa tal contacto durante el intervalo formado por el valor de inicio y el valor de fin, [valor inicio; valor fin]

Del mismo modo, si se detecta que el valor de inicio es mayor que el valor de fin, el contacto de leva se activa durante los intervalos [0º, valor inicio) o (valor fin, 360º]. Este algoritmo se realiza con cada uno de los contactos de las levas.

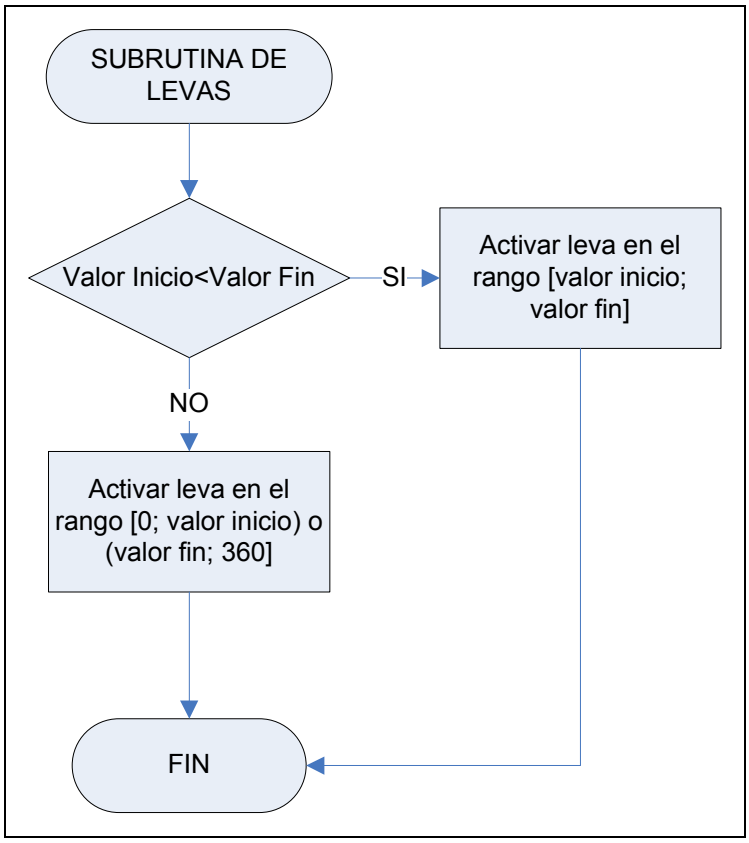


Figura 3-40: *Diagrama de flujo subrutina de levas.*

A continuación se detalla el algoritmo que se realiza para leer y comparar los valores de inicio y fin, desde la interfaz gráfica.

3.2.30.1 Subrutina de la leva 0

Como se ha mencionado antes, los valores de inicio y fin de las levas se pueden modificar desde la HMI. Además, a esta configuración puede entrar solo personal autorizado, poseedor de la contraseña de seguridad. Algunas levas presentan una restricción por seguridad, en donde el único valor modificable es el de inicio, y el valor de fin aparece como AUTO. Con esta subrutina se explicará todas las demás levas, que presentan esta configuración.

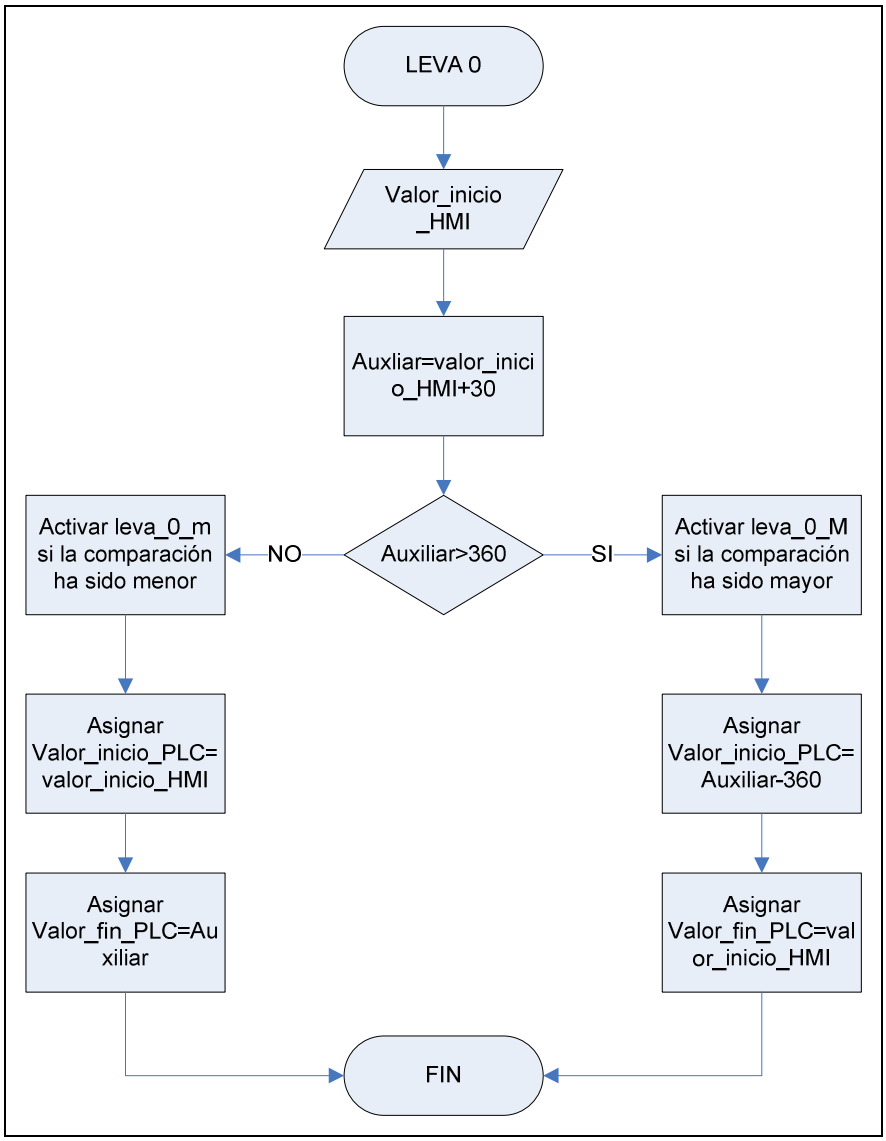


Figura 3-41: *Diagrama de flujo Leva cero.*

3.2.30.2 Subrutina de la leva 1.

Otro algoritmo es implementado para las demás levas, aquellas que no presentan la configuración anterior. Es decir, se puede modificar desde la interfaz gráfica el valor de inicio y el valor de fin de la leva.

Se explicará el algoritmo realizado para la leva 1, siendo el mismo para las demás que presenten igual configuración.

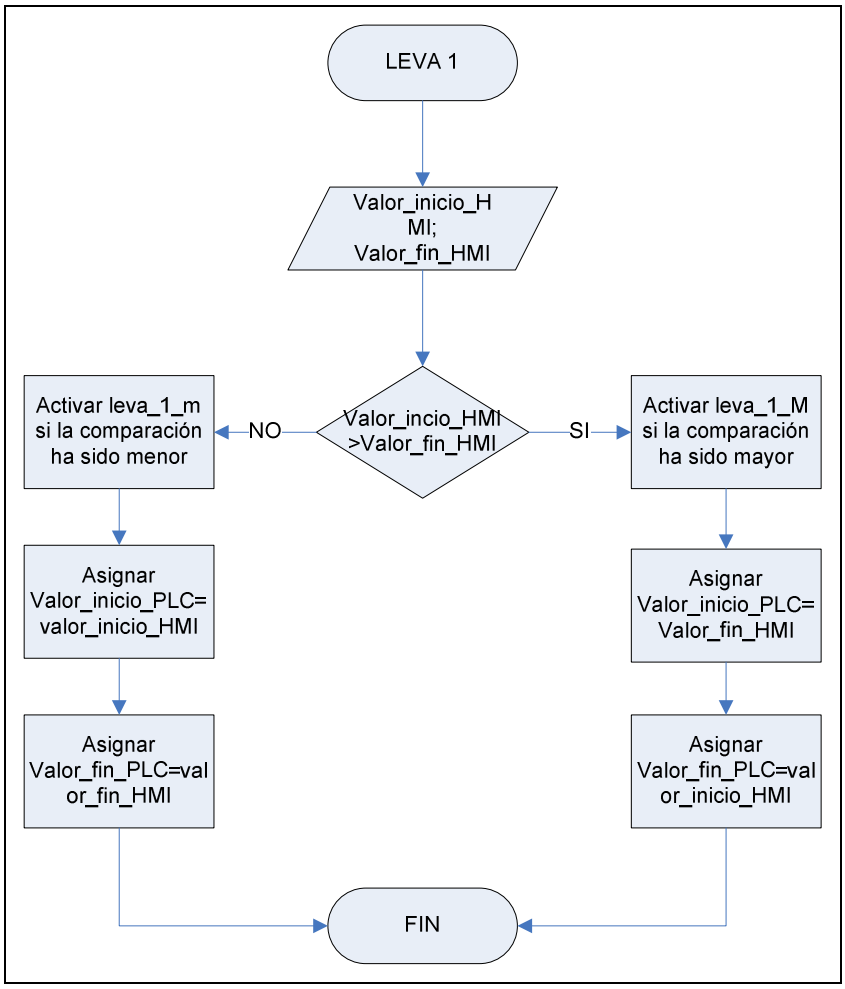


Figura 3-42: *Diagrama de flujo Leva uno.*

3.2.31 SUBRUTINA DE DATOS DE PRODUCCIÓN.

Esta subrutina se encarga en visualizar datos de producción del proceso de envasado, como por ejemplo, Producción, que cuantifica el número de sobres dosificados; Rechazo, cuantifica el número de sobres que han sido rechazados por no estar dosificados o por una acción manual del operador; Rendimiento, cuantifica el número de sobres dosificados con respecto a todos los sobres realizados (producción y rechazo).

Además, se cuantifica el tiempo en horas que la máquina se encuentra funcionando o que se encuentra detenida y la cantidad en metros de material que se ha usado de la bobina, este último se sincroniza con la leva 16 para detectar el material en función del tamaño del arrastre.

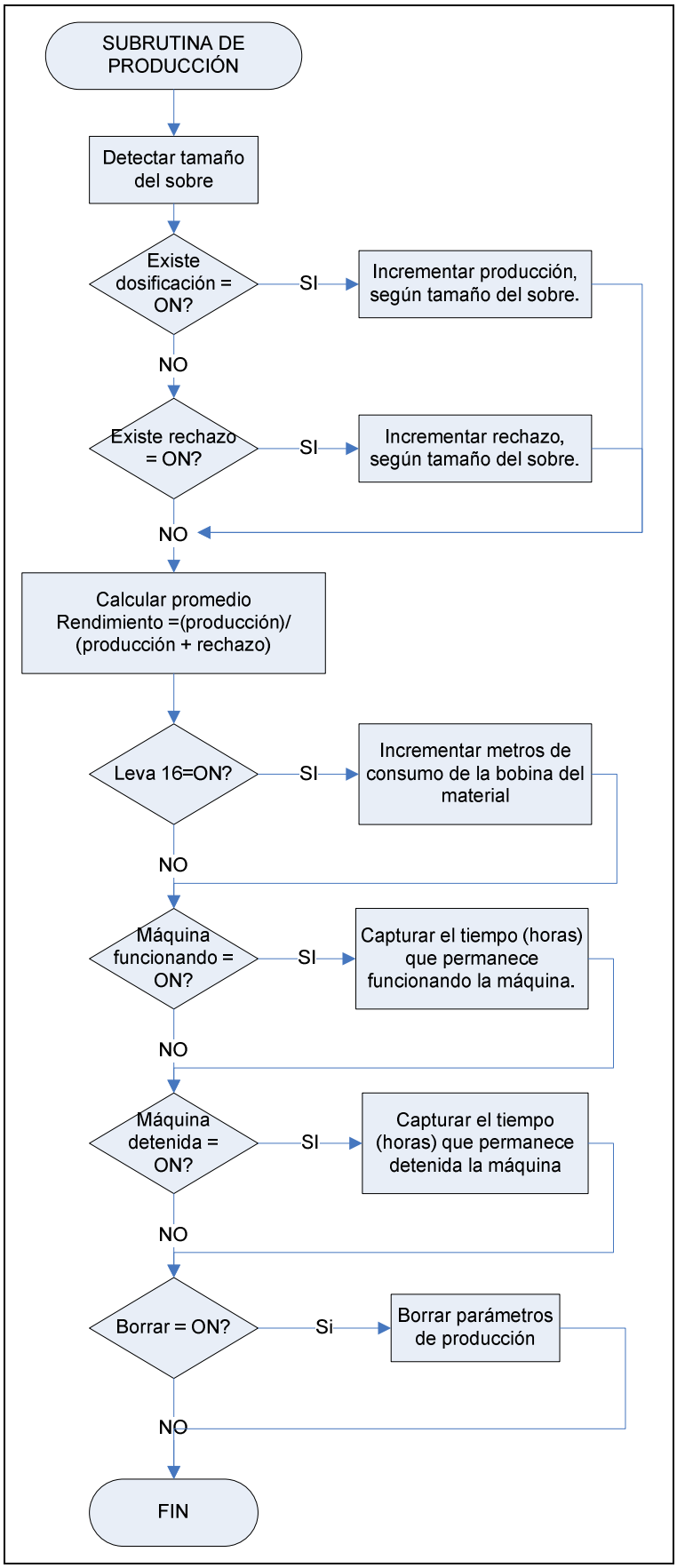


Figura 3-43: *Diagrama de flujo subrutina de producción.*

3.2.32 SUPERVISIÓN.

Esta parte del programa permite monitorear el estado de las entradas y salidas del PLC y sus módulos adicionales. Para lo cual, cada entrada o salida al momento de activarse, activa también una variable que se visualiza en la interfaz gráfica.

3.3 INTRODUCCIÓN DEL SOFTWARE WINCC-FLEXIBLE.

Figura 3-44: *Ventana de introducción al software WinCC Flexible.*

Un sistema HMI representa la interfaz entre el hombre (operador) y el proceso (máquina/instalación). El autómata posee el verdadero control sobre el proceso. Por lo tanto existe una interfaz entre el operador y WinCC flexible (en el panel de operador) y una interfaz entre WinCC flexible y el autómata.

WinCC flexible es el software HMI para conceptos de automatización del ámbito industrial de Siemens.

Al crear un proyecto en WinCC flexible o al abrir uno ya existente, aparece la estación de trabajo de WinCC flexible en la pantalla del equipo de configuración. En la ventana de proyecto se representa la estructura del proyecto y se visualiza su estructura.

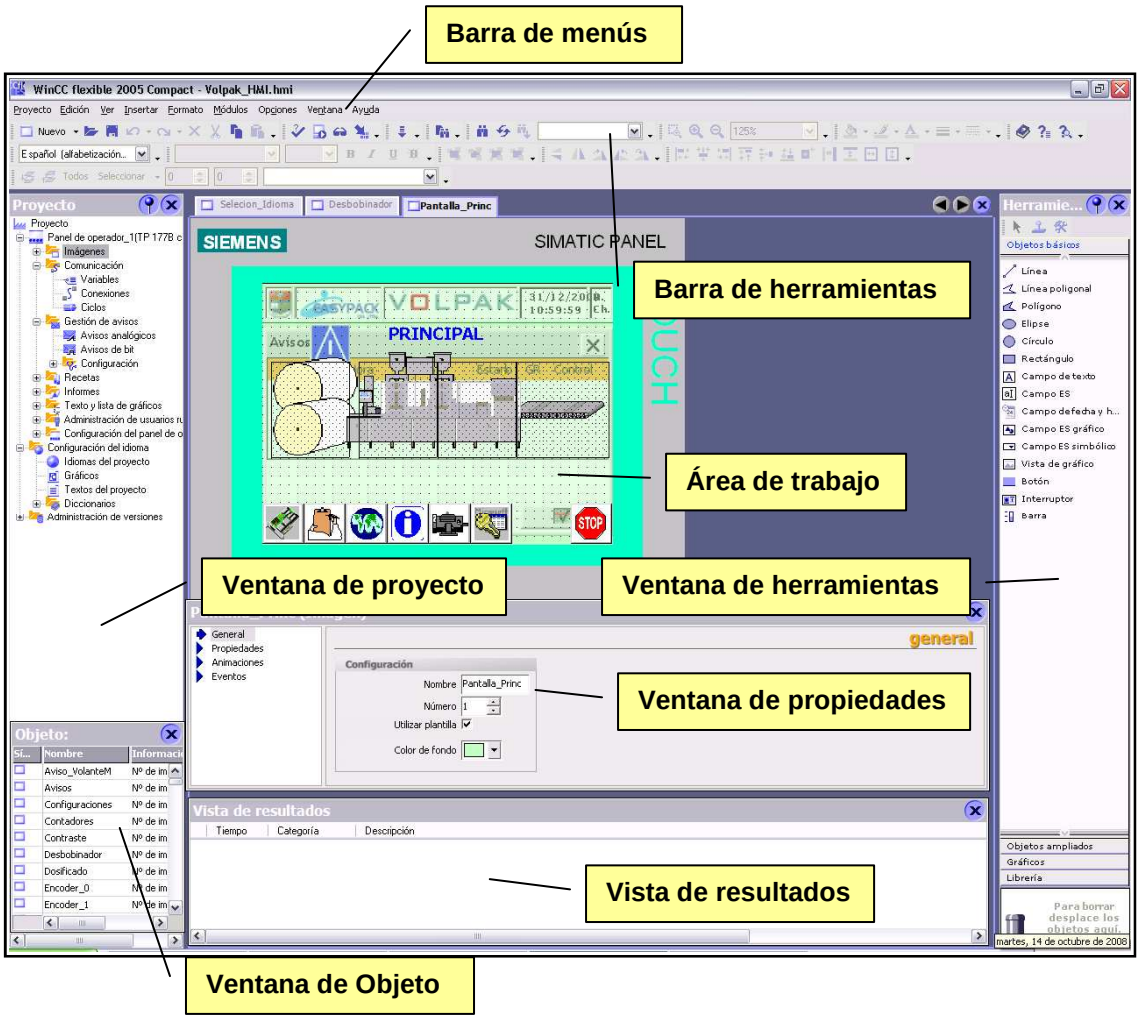


Figura 3-45: *Ventana principal del software WinCC Flexible.*

WinCC flexible incluye un editor específico para cada tarea de configuración. Por ejemplo, la interfaz gráfica de usuario de los paneles de operador se configura en el editor "Imágenes". Para configurar los avisos se emplea p. ej. el editor "Avisos de bit". Todos los datos de configuración que pertenecen a un mismo proyecto se almacenan en la base de datos del proyecto.

3.4 PROGRAMA DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA.

La interfaz gráfica fue desarrollada en el software WinCC Flexible de Siemens, programa que se utiliza para crear las HMI de pantallas táctiles y/o computadores, dependiendo de la versión del mismo.

Para la máquina horizontal Volpak S-240DF se crearon algunas imágenes.

Una imagen es la pantalla que va a observar el operador en la interfaz gráfica para que pueda interactuar con ella.

A continuación se describen las ventanas y las funciones empleadas para el programa de la HMI.

3.4.1 PLANTILLA.

La plantilla constituye la imagen de fondo que va aparecer en todas las demás ventanas de la HMI.

En esta ventana se puede configurar, la ventana de avisos, que aparece en cualquier instante que se presente una falla programada o un error del sistema, en cualquier imagen en la que se esté trabajando; y el indicador de avisos, que es triángulo de fondo azul, que informa de manera parpadeante la existencia del número de fallas o errores presentes.

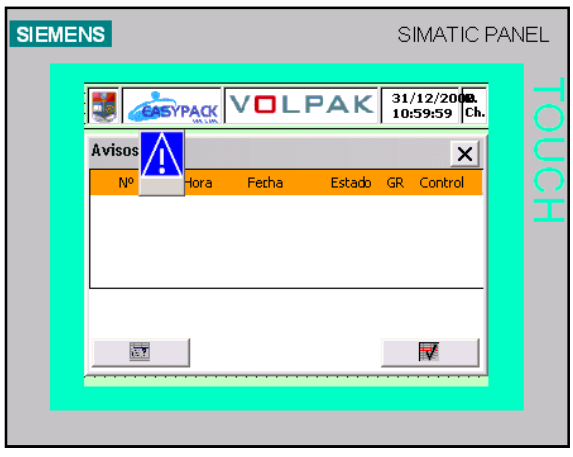


Figura 3-46: *Plantilla del sistema de visualización.*

3.4.2 PANTALLA PRINCIPAL

Esta ventana constituye el inicio de la interfaz gráfica, desde ésta se puede seleccionar cada área de la máquina. Un gráfico de fondo, muestra las secciones

de la Volpak, de tal modo que al presionar sobre alguna de ellas se ingresa a otra ventana que presenta más opciones.

Existe el área de desbobinado, soldadura y perforación, dosificado e iluminación y cinta de salida.

Además, en la parte inferior cuenta con botones que permiten ingresar a opciones de configuración, producción, selección de idioma, historial de avisos, velocidad del motor principal y del motor cinta de salida, registro de usuarios y salir del HMI.

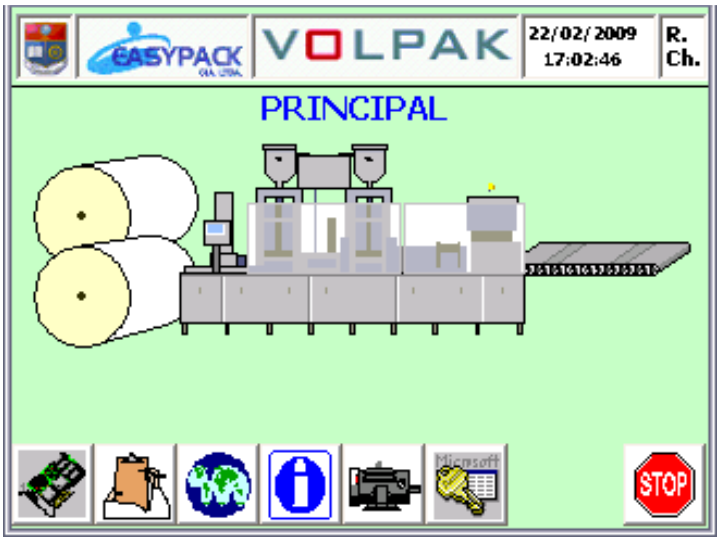


Figura 3-47: *Pantalla principal de la interfaz hombre-máquina.*

3.4.2.1 Configuraciones.

Dentro de la pantalla principal se encuentra el botón de configuraciones, dentro del cual solo personal autorizado con la contraseña de seguridad puede ingresar a las siguientes ventanas.

Se puede realizar modificaciones de los parámetros de los PID de la máquina, parámetros de sincronismo de las levas, monitoreo de entradas y salidas del PLC, modificación de timers y contadores y realizar cambios en la pantalla táctil.

3.4.2.1.1 Parámetros PID.

En esta ventana se pueden realizar cambios de los parámetros de sintonización de los PID de las ocho soldaduras, es decir, la ganancia, tiempo integral y tiempo derivativo de los controladores.

3.4.2.1.2 Sincronismo de levas.

El cambio de los parámetros de inicio y fin de los contactos de las levas se puede realizar en esta imagen, donde el usuario autorizado tendrá la opción de modificarlos o sincronizarlos con el valor del encoder, mediante la opción copiar.

3.4.2.1.3 Supervisión.

El monitoreo de las entradas y salidas del PLC se puede realizar en esta imagen, ya que se encuentran representaciones del CPU y los módulos de ampliación con señales luminosas que muestran el estado de activación o desactivación de las mismas.

3.4.2.1.4 Temporizadores y contadores.

La modificación de temporizadores y contadores del área de alineación de la banda, incisiones y abertura del sobre se puede realizar en esta imagen.

3.4.2.1.5 Pantalla táctil

Algunas opciones propias del sistema operativo de la pantalla táctil se pueden modificar desde esta imagen, panel de control, calibrar la sensibilidad de la pantalla, permitir la limpieza de la interfaz y cambiar el contraste de la misma.

3.4.2.2 Producción.

Esta ventana muestra al operador datos importantes de producción, como por ejemplo, el número de sobres dosificados, el número de sobres rechazados, rendimiento del proceso, tiempo de operación transcurrido, tiempo de paradas de producción y la cantidad de metros de material utilizado.

3.4.2.3 Selección de idioma.

WinCC Flexible puede configurar en varios idiomas a la HMI, de tal forma, en este proyecto se puede seleccionar entre los idiomas de español o inglés.

Al seleccionar que la HMI se visualice en idioma inglés, es necesario traducir los textos que inicialmente se escribieron en español a inglés. En la ventana de proyecto, en la pestaña configuración del idioma, en textos del proyecto se traducen los textos a otro idioma.

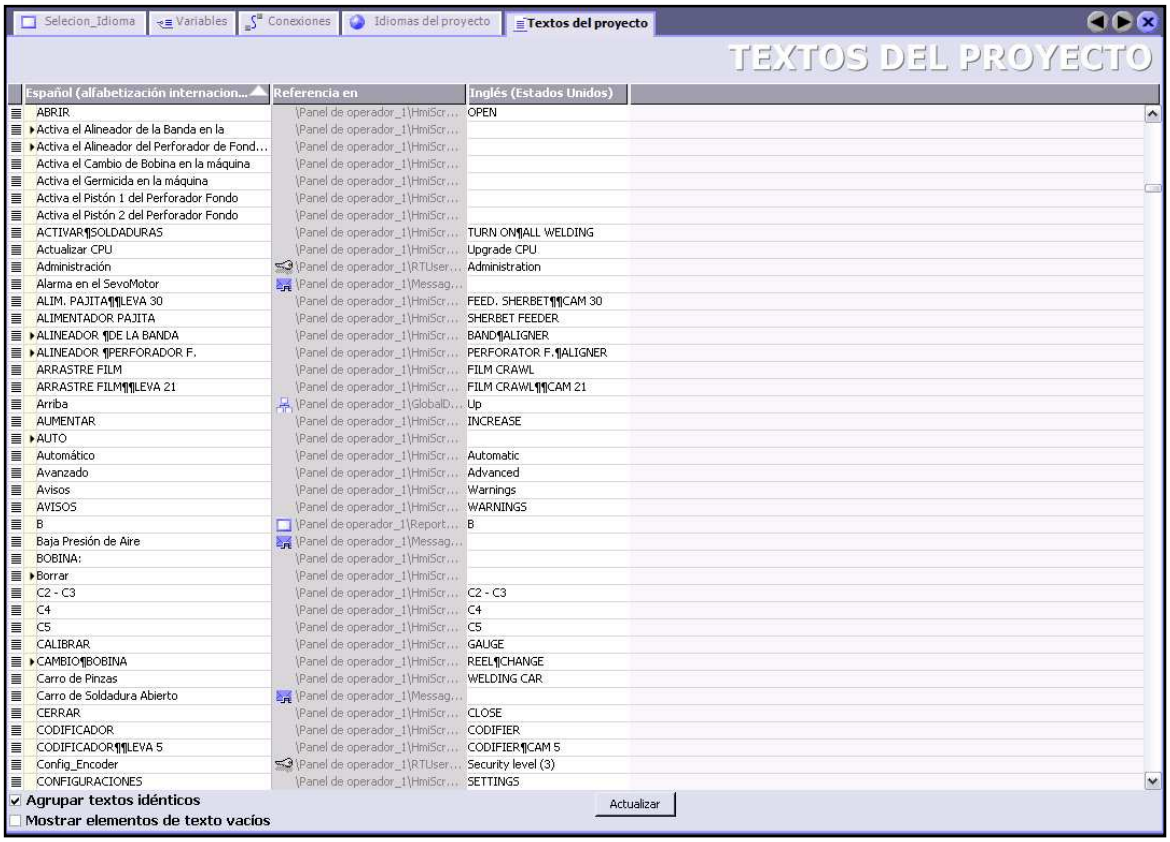


Figura 3-48: *Traducción de textos del proyecto en WinCC Flexible.*

3.4.2.4 Historial de avisos.

En esta ventana se aprecia el historial de avisos que se han presentado durante la ejecución de la HMI, mostrando el número, hora, fecha y estado de las fallas o errores del proceso.

3.4.2.5 Velocidad de motores.

La velocidad del motor principal y la del motor cinta de salida se puede modificar desde esta imagen. Además se cuenta con un botón para activar o desactivar al motor cinta de salida. En esta imagen, también se observa la velocidad del motor principal, que realimenta el encoder.

3.4.2.6 Vista de usuarios.

La vista de usuarios permite conocer las personas que han estado operando la interfaz.

3.4.2.7 Salir de la HMI.

Esta opción permite terminar el programa de la HMI y trabajar con el sistema operativo de la pantalla táctil, Windows CE. Para volver a ingresar al programa de la HMI se debe pulsar el botón Start.

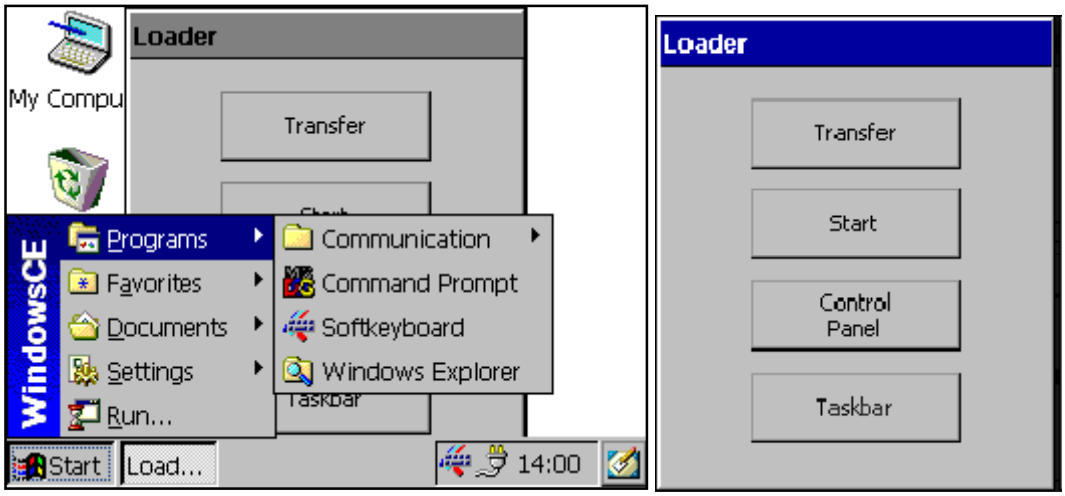


Figura 3-49: *Sistema operativo de la pantalla táctil.*

3.4.3 PANTALLA DE DESBOBINACIÓN

En esta imagen se encuentra presente las opciones para el área de desbobinado, alineador de la banda, alineador del perforador de fondo, cambio de bobina, germicida, doypack I y doypack II. Cada botón puede activar o desactivar la función descrita sobre él y una señal luminosa indica el estado del mismo.

3.4.4 PANTALLA DE SOLDADURA Y PERFORACIÓN

En esta sección se encuentran presenten botones de las funciones de perforación y soldadura. Muesca de desgarre, incisiones, fotocélula y soldadura son las opciones que presenta esta imagen. El botón de soldadura permite ingresar a otra imagen donde se selecciona, con qué soldadura se va a trabajar, todas, inferiores, verticales o superiores, al presionar alguna de ellas, aparece otra ventana que muestra el valor actual o valor del proceso de la temperatura de la soldadura seleccionada y el valor de consigna o set point, que puede ser modificado en cualquier instante.

3.4.5 PANTALLA DE DOSIFICACIÓN

En esta ventana existen botones que permiten activar las funciones de soplado, cortahilos, ventosas, nivel del depósito de dosificado, limpieza, marcha de la dosificación automática. Cuando se dosifica, una animación de los pistones, mostrados en esta imagen, se desplazan verticalmente, señalando el funcionamiento de los mismos.

3.4.6 PANTALLA DE ILUMINACIÓN Y CARRO MÓVIL.

El rechazo de sobres, la iluminación superior e inferior de la máquina y la apertura del carro móvil para su limpieza son las opciones presentes en esta ventana, cada una con su respectivo botón.

3.4.7 ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS.

En la ventana de proyecto, pestaña de usuarios, se puede administrar a los usuarios, designándoles niveles de acceso a las áreas de la HMI. Como por ejemplo, el área de configuración debe ser modificada por personal autorizado con la contraseña de seguridad.

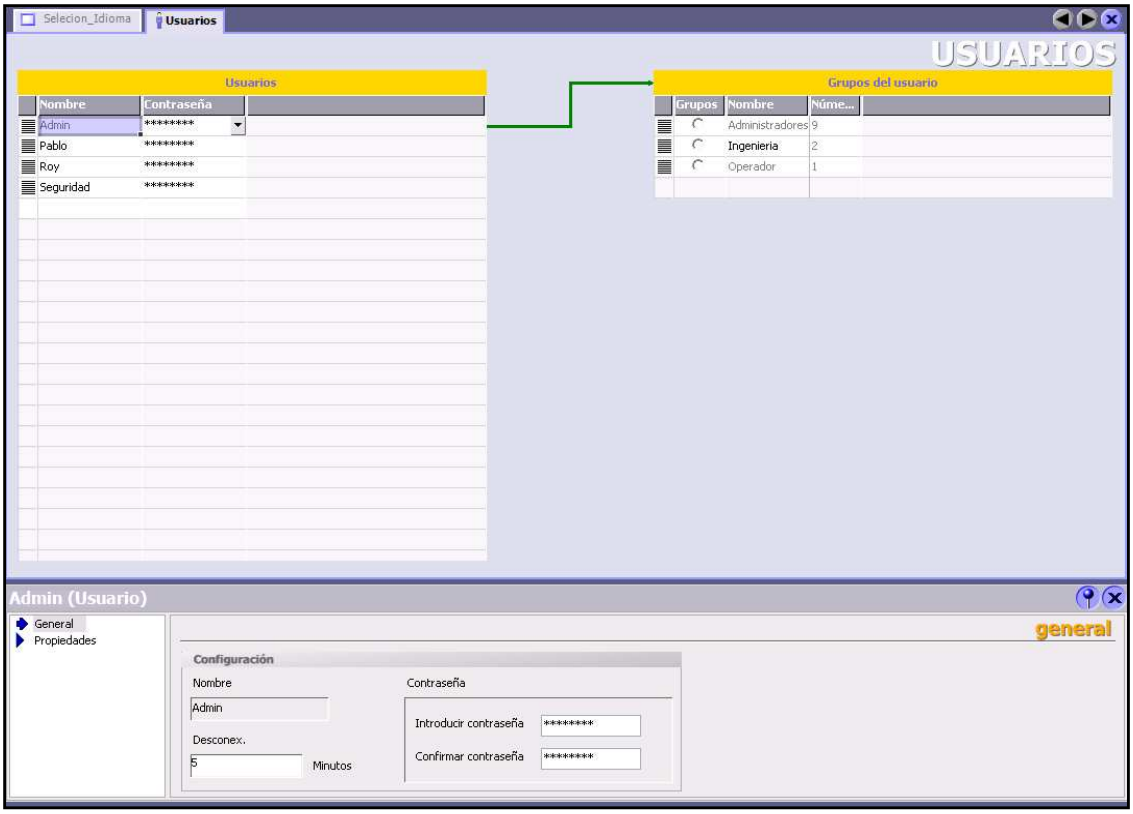


Figura 3-50: *Administración de usuarios de WinCC Flexible.*

Antes de poder ingresar a alguna área que presenta contraseña, el sistema le solicita el nombre de usuario y la contraseña de seguridad.

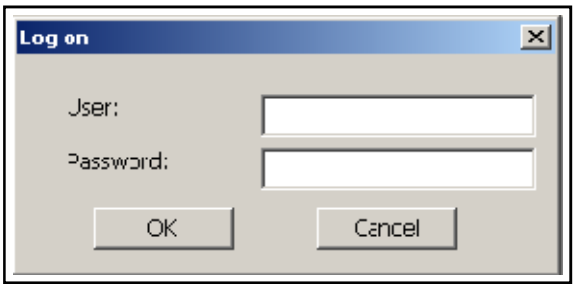


Figura 3-51: *Solicitud de nombre de usuario y contraseña de WinCC Flexible*

3.4.8 VARIABLES.

Las variables a utilizarse en la HMI se declaran en la ventana de proyecto, pestaña variables. Aquí se designa el nombre simbólico a cada variable, la dirección, que es la misma que se utiliza en el PLC con el fin de tener correspondencia unívoca en la comunicación,

Se designa si es una variable interna o una variable que tiene conexión con el autómata (Conexión_2), el tipo de datos y el ciclo de adquisición, es decir, con qué tiempo la pantalla adquirirá los datos del PLC y refrescará con ellos la interfaz.

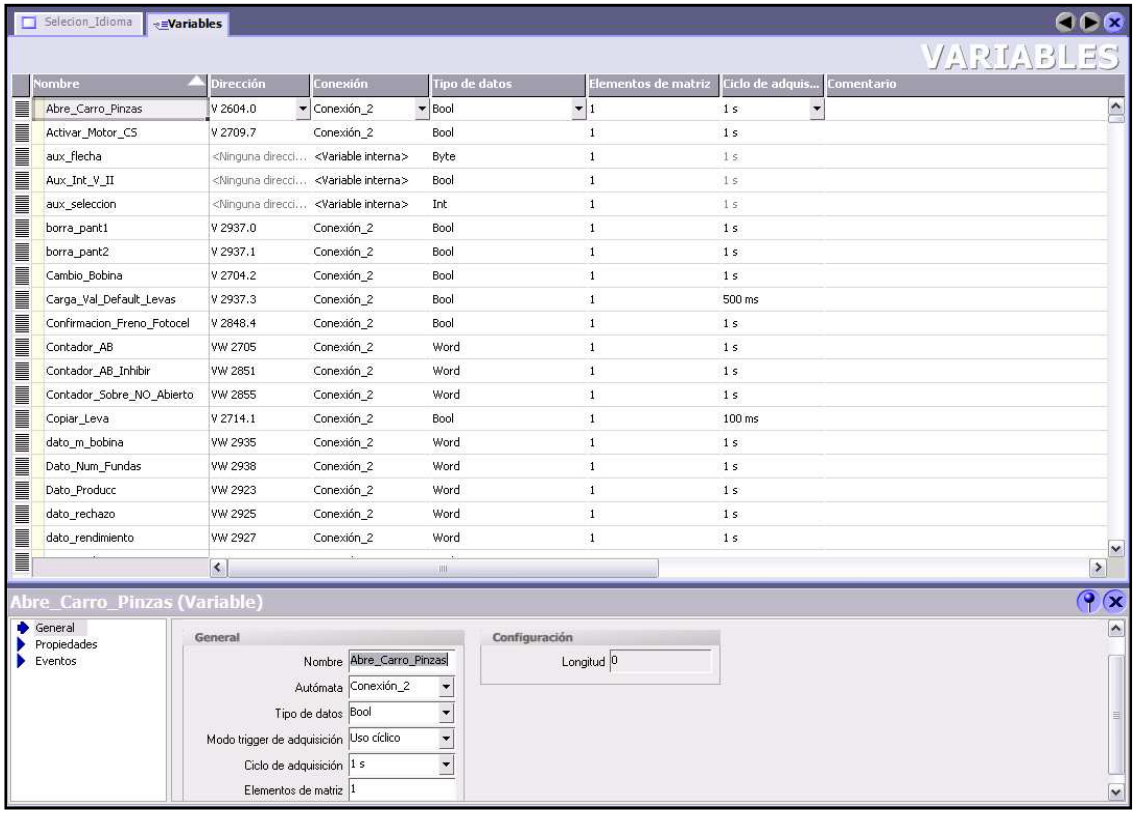


Figura 3-52: *Ventana de variables usadas para la HMI en WinCC Flexible.*

3.4.9 COMUNICACIÓN HMI PLC.

En la ventana de proyecto, pestaña de comunicación, se configura la comunicación entre la pantalla táctil y el PLC. Se determina el nombre simbólico de la conexión, driver de comunicación, es decir, con qué PLC se está realizando el intercambio de información y en el estado de parámetros se determina la interface de comunicación, RS-485 o Etherney.

La interface RS-485 fue elegida para comunicarse con el PLC, IF1 B. La velocidad de transferencia y el perfil también se configura en esta ventana. Esta velocidad debe coincidir con la velocidad de comunicación del PLC, 187,5 Kbps.

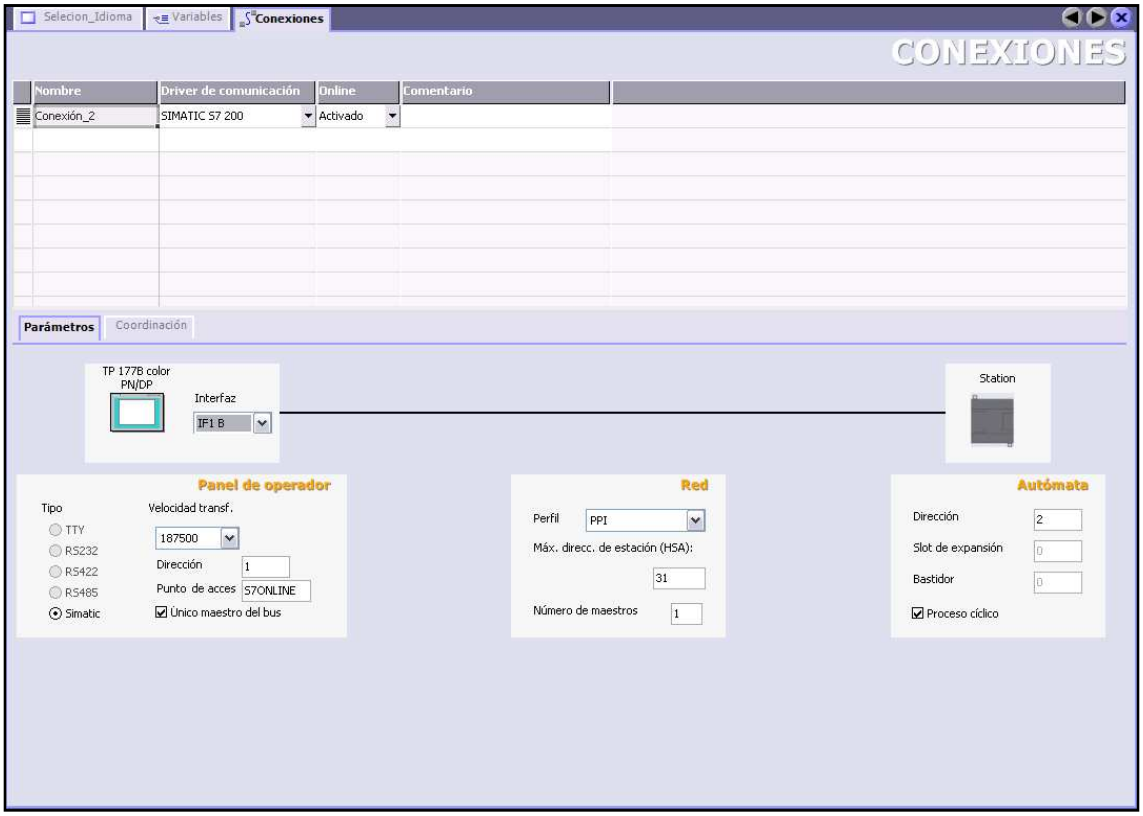


Figura 3-53: *Ventana de conexiones entre la HMI y el PLC.*

3.4.10 AVISOS DE BIT.

Los estados de falla, alarma o error se pueden configurar en WinCC Flexible como aviso de bit, es decir, cuando se activa un bit del PLC correspondiente a una alarma, éste puede activar un aviso a la HMI informando la situación presentada.

En la ventana de proyecto, pestaña de gestión de avisos, se configura el texto del aviso que se desea que aparezca; la clase de aviso, es decir, si es un error, una advertencia, etc; la variable y bit del PLC que va a realizar el aviso, como se observa en la siguiente figura.

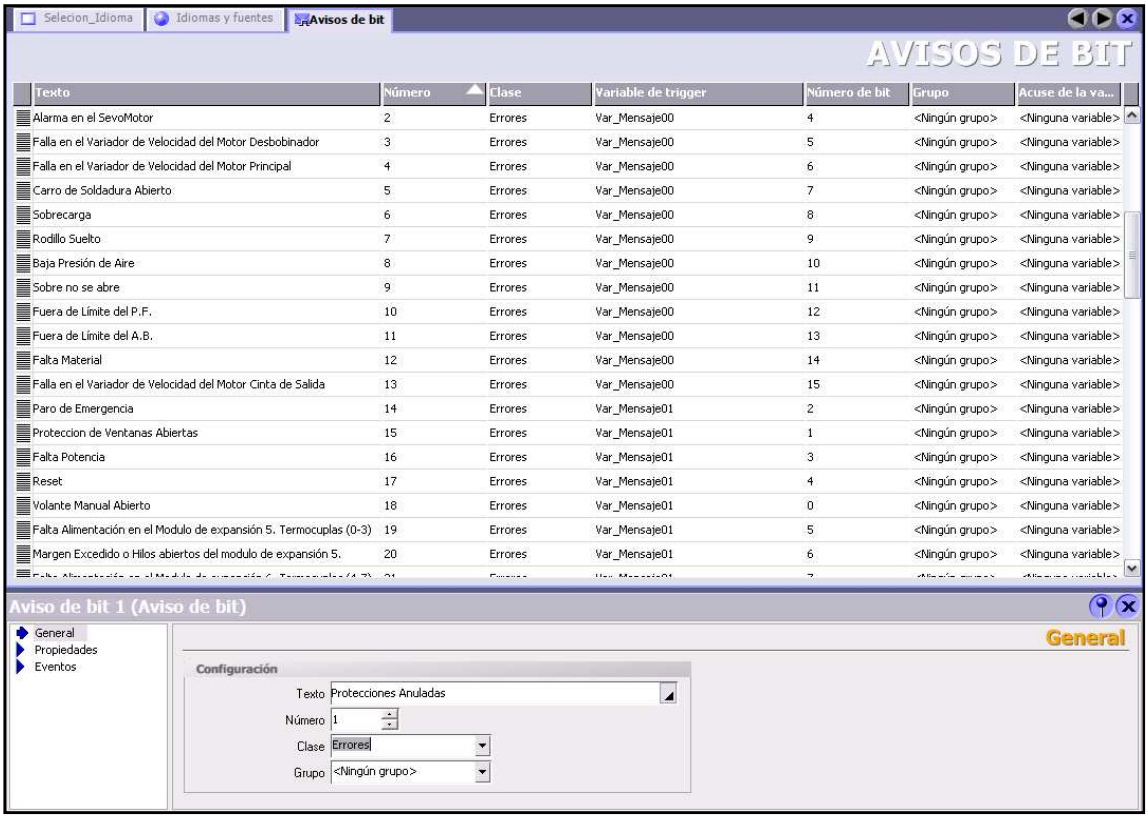


Figura 3-54: *Ventana de avisos de bit del software WinCC Flexible.*

3.5 PROGRAMACIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD.

3.5.1 AJUSTE DE PARÁMETROS DE VARIADORES.

Los variadores de velocidad usados para el motor principal, el motor del desbobinador y el motor cinta de salida fueron programados inicialmente con la puesta en servicio rápida de cada variador. Luego, dependiendo de las necesidades, se realizaron ajustes en los parámetros de los variadores.

3.5.1.1 Variador MicroMaster 440 del motor principal.

Como se mencionó, se programó inicialmente al variador con la puesta en servicio rápida.

En la Tabla 3-13 se muestra los parámetros necesarios para ello.

Tabla 3-13: *Párametros de la puesta en marcha rápida del variador de velocidad Micromaster 440.*

No	Name	Access level	Cstat
P0100	Europe / North America	1	C
P0205	Inverter application	3	C
P0300	Select motor type	2	C
P0304	Motor voltage rating	1	C
P0305	Motor current rating	1	C
P0307	Motor power rating	1	C
P0308	Motor cosPhi rating	2	C
P0309	Motor efficiency rating	2	C
P0310	Motor frequency rating	1	C
P0311	Motor speed rating	1	C
P0320	Motor magnetizing current	3	CT
P0335	Motor cooling	2	CT
P0640	Motor overload factor [%]	2	CUT
P0700	Selection of command source	1	CT
P1000	Selection of frequency setpoint	1	CT
P1080	Min. speed	1	CUT
P1082	Max. speed	1	CT
P1120	Ramp-up time	1	CUT
P1121	Ramp-down time	1	CUT
P1135	OFF3 ramp-down time	2	CUT
P1300	Control mode	2	CT
P1500	Selection of torque setpoint	2	CT
P1910	Select motor data identification	2	CT
P3900	End of quick commissioning	1	C

Al seleccionar el parámetro P0010=1, y definir el nivel de acceso en el parámetro P0003, se puede realizar la puesta en servicio rápido. Al finalizar esta operación se asigna el parámetro P3900 = 1.

Posteriormente, debido a la necesidad del proceso de mantener la velocidad constante para reducir pérdidas por calibraciones de cambio de formato se programó al variador para que trabaje en modo de control: control vectorial sin sensor (sensor less vector control SLVC).

A manera de síntesis, la operación del modo de control SLVC consiste en una re calculación continua de la posición del rotor.

SLVC no debe ser usado en las siguientes situaciones:

- Donde la frecuencia máxima es mayor que 200 Hz.
- En aplicaciones de manejo de varios motores.

- Si un contactor se encuentra entre el motor y el inversor. El contactor nunca debe operar mientras el variador está funcionando.
- Aplicaciones de levantamiento.

Para un óptimo funcionamiento bajo SLVC, es muy importante que los datos del motor sean ingresados correctamente en la programación, para que la identificación del modelo del motor realizado por el variador de velocidad, sea efectuada con mayor precisión.

El procedimiento realizado para implementar este control fue:

1. Parametrizar y configurar el modelo inicial del motor.

Parámetro P0003 = 2, permitirá tener nivel de acceso 2.

Parámetro P0010 = 1, puesta en servicio rápida.

Parámetro P0300 y los que siguen permiten configurar datos del motor en función de la placa del mismo.

P0700, P1000, P1080/P1082, P1120/P1121 permite configurar respectivamente selección de control, selección de punto de consigna, Fmin/Fmáx, tiempos de rampa, etc.

P1300 = 20 selección de modo de control: Sensorless Vector Control.

P1910 = 1 (En este punto aparecerá una alarma A0541, la misma que se explicará más adelante).

P3900 = 1, la palabra “busy” aparecerá en el panel de operaciones básicas (en inglés BOP) por aproximadamente un minuto, o más dependiendo del inversor; hasta que los parámetros del motor sean calculados. Terminado este periodo, la alarma A0541 se encontrará parpadeante en el BOP, señal que nos indicará que se ha terminado esta primera parte.

2. Identificación del motor usando el parámetro P1910.

Dos grupos de mediciones deben realizarse automáticamente.

Las mediciones deben llevarse a efecto con el motor en frío, es decir, sin que haya estado operando anteriormente. La temperatura ambiente del motor debe

ser ingresada correctamente en el parámetro P0625, ya que de manera predeterminada se encuentra en 20ºC.

P1910 = 1. Se da un comando de RUN que permitirá inicializar la identificación del motor. La alarma A0541 continúa parpadeante, mientras que las mediciones se realizan inyectando corriente al motor por cortos impulsos, esto provoca que se escuche un sonido de “hum”. Este sonido se acompaña con la palabra “busy” en el BOP mientras los parámetros internos del motor son calculados.

Luego de terminar el proceso anterior, si aparece el mensaje de falla F0041 (falla de identificación de datos del motor) en el BOP, significa que los valores medidos no concuerdan con los valores esperados por el modelo inicial del motor. En este caso, se debe revisar el cableado, conexiones del motor y los valores ingresados en el variador y posteriormente intentar nuevamente el procedimiento anterior sin carga, en control escalar V/f (seleccionar el parámetro P1300=0), con un punto de consigna o set point de 80% de la frecuencia nominal del motor. Observar el valor de la corriente de salida en el parámetro r0027 e ingresar este valor en la corriente de magnetización, parámetro P0320 (como porcentaje de la corriente nominal del motor, parámetro P0305) y re calcular los parámetros del motor (seleccionar P0304 = 1).

La identificación de la curva de saturación, parámetro P1910 = 3, puede mejorar el rendimiento: esto debe realizarse después de seleccionar el parámetro P1910 = 1.

Una vez que el parámetro P1910 esté seleccionado a 3, la alarma A0541 aparecerá nuevamente. Entonces se dará el comando de RUN consiguiendo un comportamiento similar al descrito anteriormente. En este punto, el inversor ya puede trabajar bajo SLVC, de todos modos se debe realizar un procedimiento de optimización para mejorar la regulación.

3. Optimización del control de velocidad usando el parámetro P1960.

Cuando la optimización del controlador de velocidad está habilitado (parámetro P1960 = 1), la alarma A0542 se encontrará activa. Cuando el inversor inicie el siguiente arranque, las pruebas de optimización empezarán y el inversor acelera al motor hasta el 20% del parámetro P0310 (frecuencia nominal del motor) en el tiempo de la rampa de aceleración, parámetro P1120 y luego, bajo el control de torque se irá al 50 % del parámetro P0310. Posteriormente, el inversor disminuirá su velocidad al 20% en el tiempo de la rampa de desaceleración, parámetro P1121.

Este procedimiento es llevado a cabo algunas veces en un periodo de tiempo. Cuando la prueba esté completa, el parámetro P1960 se limpiará a cero.

4. Optimización manual del control de velocidad.

Modelo del motor.

SLVC requiere de una muy buena identificación del modelo del motor. Un parámetro que refleja esto es el r1787 (Adaptación Xm re salida). Este parámetro debe estar entre +/- 15%, de no ser el caso, es necesario mejorar la identificación del modelo del motor.

El modelo del motor puede ser mejorado midiendo la corriente de magnetización, un procedimiento para esto se describe en [21].

El procedimiento en [21] contempla el desacoplar la carga del eje del motor, pero en caso de no poder desacoplarla, se deberá intentar con valores de corriente de magnetización (seleccionar el parámetro P0320 seguido del parámetro P0340 = 1 para re calcular el modelo del motor) hasta encontrar que el parámetro r1787 esté en un rango aceptable.

Funcionamiento.

La identificación del motor seleccionará valores iniciales para SLVC donde permitirá al motor funcionar hasta 50 Hz. Para obtener un buen funcionamiento

del vector, es necesario optimizar el lazo del control vectorial en función de los mecanismos del sistema motor/carga.

Los siguientes parámetros pueden ser ajustados por el usuario para mejorar el funcionamiento del inversor.

- Parámetro P0003 = 3, nivel de acceso.
- Parámetro P0342 = relación de inercia motor/carga, en combinación con el parámetro P1496 (pre control de la aceleración escalada).
- Parámetro P1470: SVC P ganancia.
- Parámetro P1472: SVC I tiempo.
- Parámetro P1520/P1521: límites de torque.
- Parámetro P1610: SVC boost a lazo abierto.
- Parámetro P1750: habilitación de modelo observador.

Estos parámetros se refieren a los diagramas 7000, 7200, 7500, 7800 y 7900 que se encuentran en el Anexo Nº3.

Parámetro P0342: relación de inercia motor/carga, debe estar seleccionada apropiadamente. Éste es usado con el parámetro P1496 para generar un torque extra para vencer la inercia de la carga.

Para mejores resultados, seleccionar el parámetro P1496 = 100% y probar valores del parámetro P0342 = 1, 3, 6 etc. Se debe observar que el funcionamiento mejora con el incremento de los valores hasta hacerlos muy altos y cause inestabilidad. Esto es normalmente útil, en sistemas donde se requiere un pulso de torque para mover la inercia de la carga en el inicio.

Parámetro P1470: P ganancia, ganancia del controlador de velocidad (SLVC) y el **Parámetro P1472: I tiempo,** tiempo integral del mismo controlador. Estos valores se hallan inicializados para permitir un amplio rango de aplicaciones. La configuración óptima va a depender del sistema mecánico. Buenos resultados se pueden conseguir incrementando el término P y disminuyendo el término I mientras se observa la respuesta del sistema ante estos cambios.

Idealmente esto se puede conseguir mirando la frecuencia de salida no filtrada (r0066) mediante un osciloscopio, por la salida analógica (P0771[0] = 66).

Parámetro P1511: setpoint de torque adicional, esto es muy útil en aplicaciones donde se requiere torque instantáneo. Por ejemplo, se puede seleccionar valores como: parámetro P1511 = 2890 y seleccionar al parámetro P2890 = 40%.

Parámetro P1520: límite superior de torque y Parámetro P1521 límite inferior de torque, reduciendo estos valores puede reducir la inestabilidad, mientras que si se incrementan, puede mejorar la respuesta dinámica del sistema.

Parámetro P1610: SLVC operación del boost para el lazo abierto, selecciona un continuo torque boost en el rango de bajas velocidades de SLVC. Los valores son ingresados en % del torque nominal del motor, parámetro r0333. El valor predeterminado es 50%.

Parámetro P1750: Bytes de control del modelo del motor. Este parámetro controla la operación del SLVC a muy bajas frecuencias.
Configurando el parámetro P1750.0 = 0, permite que el modelo del observador ha ser usado desde un lugar fijo, provea que el setpoint de la frecuencia es más grande que 5 Hz.

Configurando P1750.1 = 0, permite al modelo observador ha ser usado cuando pase por 0 Hz. En general, usar el modelo observador provee mejores resultados y evita las transiciones entre lazo abierto y SLVC a 5 Hz..

Parámetro P1755: Frecuencia de corte para el control vectorial, es la frecuencia base o de corte en el punto del modelo del vector. La configuración predeterminada de 5 Hz opera control escalar V/f. Este valor puede ser reducido de 5 Hz. De todos modos, no debería reducirse por debajo de dos veces la frecuencia de deslizamiento nominal del motor. Ésta es la razón para esta

configuración, ya que es difícil mantener un fiel modelo del motor a muy bajas corrientes del motor.

En el Anexo Nº4, Tabla 5-1 se listan los parámetros programados en el variador de velocidad MicroMaster 440 para el motor del eje de levas.

3.5.1.2 Variador Sinamics G110 del motor del desbobinador.

Inicialmente fue parametrizado con la puesta en servicio rápida.

En la Tabla 3-14 se muestran los parámetros:

Tabla 3-14: *Parámetros de la puesta en servicio rápida del variador de velocidad Sinamics G110.*

No	Nombre	Nivel de acceso	Cstat
P0100	Europa / Norte América	1	C
P0304	Tensión nominal del motor	1	C
P0305	Corriente nominal del motor	1	C
P0307	Potencia nominal del motor	1	C
P0308	CosPhi nominal del motor	3	C
P0309	Rendimiento nominal del motor	3	C
P0310	Frecuencia nominal del motor	1	C
P0311	Velocidad nominal del motor	1	C
P0335	Ventilación del motor	3	CT
P0640	Factor de sobrecarga del motor [%]	3	CUT
P0700	Selección de la fuente de órdenes	1	CT
P1000	Selección de la consigna de frecuencia	1	CT
P1080	Velocidad Mín.	1	CUT
P1082	Velocidad Máx.	1	CT
P1120	Tiempo de aceleración	1	CUT
P1121	Tiempo de deceleración	1	CUT
P1135	Tiempo de deceleración OFF3	3	CUT
P1300	Modo de control	2	CT
P3900	Fin de la puesta en servicio	1	C

Bajo esta programación el resultado fue que el material se rompía en la sección del desbobinador con cada arrastre de la máquina. Esto se debía a que la rapidez con la que se desbobinaba el material era muy lenta frente a la velocidad del arrastre en cada ciclo de máquina. De este modo, fue necesario aumentar la rapidez de desbobinación de material, es decir que la entrada analógica proveniente del potenciómetro del brazo del desbobinador debía provocar que el

variador gire a mayor velocidad con el mismo valor sensado en la entrada analógica. Para lo cual se aumentó la pendiente de la curva consigna analógica vs. voltaje, Figura 3-55.

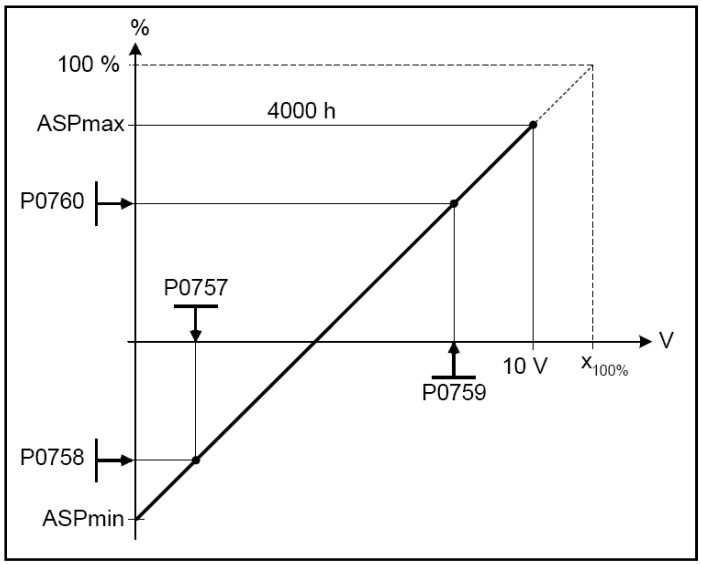


Figura 3-55: *Curva consigna de frecuencia (%) vs voltaje de la entrada analógica del variador Sinamics G110.*

Donde:
ASPmax = consigna analógica máxima.
ASPmin = consigna analógica mínima.
Parámetro P0757 = valor mínimo de voltaje.
Parámetro P0759 = valor máximo de voltaje.
Parámetro P0758 = valor mínimo en % de la consigna analógica.
Parámetro P0760 = valor máximo en % de la consigna analógica.

Esta curva muestra la correspondencia existente entre el voltaje de la entrada analógica y el porcentaje de la consigna analógica.

En el Anexo Nº4, Tabla 5-2 se listan los parámetros programados en el variador de velocidad Sinamics G110 para el motor del desbobinador.

CAPITULO 4.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

En este capítulo se describen las pruebas y resultados efectuados en la máquina envasadora Volpak.

4.1 DESBOBINACIÓN DE MATERIAL

El variador de velocidad Simanics G110 del motor del desbobinador, fue programado con la puesta en marcha rápida, pero esto provocó que la desbobinación de material sea insuficiente, es decir, mientras el cuerpo de arrastre desplaza el material en cada ciclo del proceso, el área de desbobinación no suministra la cantidad necesaria, lo que provoca que exista una fuerte tensión en el arrastre y con ello, la ruptura del material.

Entonces, era necesario garantizar que el motor del desbobinador desplace mayor cantidad de material. Esto se logró aumentando la pendiente de la entrada analógica del variador de velocidad.

La máquina genera máximo 80 sobres/min, en formato simple (240 x 240 x 80 mm); o 160 sobres/min en formato doble (120 x 240 x 80 mm), según especificaciones técnicas de la máquina, Tabla 1-1.

Significa que la máquina tiene una velocidad lineal máxima de:

$$V_{LMax_MAQ} = 80\frac{sobres}{min}.\frac{0.24m}{1\,sobre} = 19.2\frac{metros}{min}$$

Esto significa que el motor principal desplaza 19.2 metros cada minuto.

La velocidad de este motor es constante, siempre y cuando el operador no modifique la consigna de velocidad del motor principal desde la pantalla táctil

El brazo desbobinador se puede desplazar angularmente 40 grados, sin presión de aire en el cilindro, que está conectado a él para generar tensión en el desplazamiento del material, como se muestra en las Figuras 4-1 y 4-2

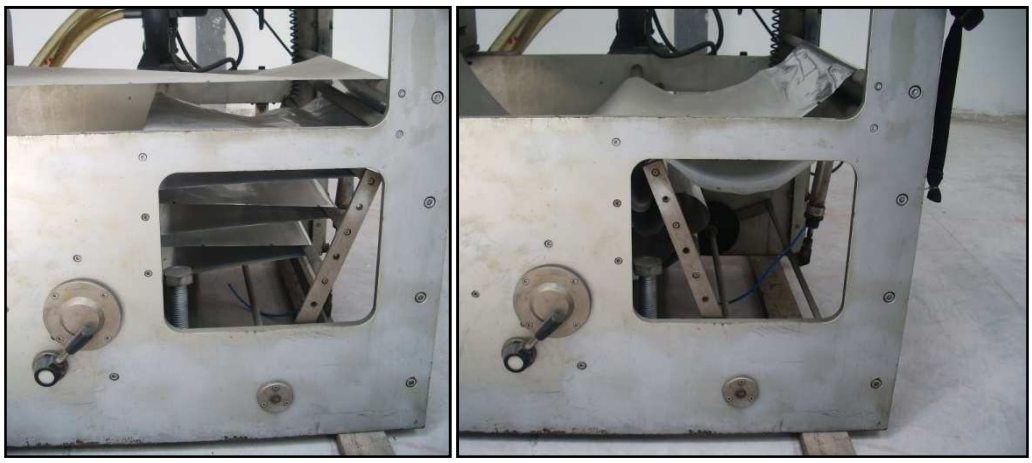


Figura 4-1: *Desplazamiento angular máximo del brazo desbobinador.*

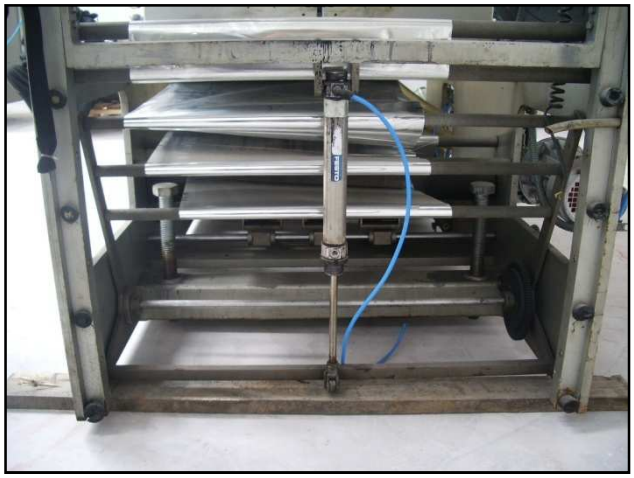


Figura 4-2: *Cilindro neumático acoplado al brazo desbobinador.*

Pero, debido a que debe existir presión de aire para que exista tensión en el desplazamiento del material, el desplazamiento angular se ve limitado, esto puede variar dependiendo el material del empaque flexible.

Para esta prueba, se utilizó un material trilaminado, que provocaba un desplazamiento angular máximo de 10 grados.
El piñón del brazo desbobinador está acoplado mecánicamente a otro, de relación 1:4, éste último tiene en su eje al potenciómetro, que debido al desplazamiento genera una señal analógica que varía de 0,03 VDC a 1,21 VDC.

Significa una consigna de velocidad (F_{MOTOR}) de 6,06 Hz en el variador de este motor, programado con la puesta en marcha rápida.

$$\boldsymbol{F_{MOTOR} = \frac{1.21\ Vdc\ .\ 50\ Hz}{10\ Vdc} = 6.06\ Hz}$$

El motor desbobinador desarrolla su potencia a 50 Hz, de este modo, la velocidad nominal (n_{MOTOR}) es:

$$\boldsymbol{n_{MOTOR} = \frac{120\ .\ f}{\#polos} = \frac{120\ .\ 50}{4} = 1500\ RPM}$$

El dato de placa muestra que a frecuencia nominal (50 Hz) el rotor gira a 1380 RPM, por lo tanto, el deslizamiento (S_{MOTOR}) es

$$\boldsymbol{S_{MOTOR} = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1380}{1500} = 0.08}$$

Ya que el torque de la carga es constante, se considera que el deslizamiento también lo es, debido al control escalar del accionamiento de velocidad. De este modo, se calcula la nueva velocidad en el estator (n_{MOTOR1}), para encontrar la velocidad en el rotor o del eje (n_{EJE1}).

$$\boldsymbol{n_{MOTOR1} = \frac{120\ .\ f}{\#polos} = \frac{120\ .\ 6.06}{4} = 181.82\ RPM}$$

$$\boldsymbol{n_{EJE1} = (1 - s).\ n_{MOTOR} = 0.92\ .\ 181.82 = 167.27\ RPM}$$

Entonces, la velocidad lineal del rodillo giratorio (v_{L_ROD}) que está acoplado al motor del desbobinador es:

$$\boldsymbol{v_{L_ROD} = \omega \cdot R = \frac{167.278 REV}{MIN} \cdot \frac{2\pi rad}{1\ REV} \cdot 0.035\ m = 36.77\ \frac{metros}{min}}$$

Se considera que el radio (R) del rodillo giratorio del desbobinador = 35 mm y la velocidad angular (w) proviene de la velocidad en el eje.

El movimiento del rodillo giratorio es acelerado, debido a esto, la velocidad encontrada se da en el desplazamiento máximo del brazo desbobinador.

Si se compara ambas velocidades en la misma unidad de tiempo, por ejemplo un minuto, se encuentra que el motor principal desplaza 19.2 metros de material y el motor del desbobinador desplaza ($Distancia_{ROD}$) 18.38 metros.

Considerando ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

$$\boldsymbol{v_f = v_0 + a \cdot t = a \cdot t}$$

Donde:
V_f = velocidad final.
V_0 = velocidad inicial.
a = aceleración.
t = tiempo.

$$\boldsymbol{Distancia_{ROD} = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{v_f}{2} \cdot t = \frac{36.77}{2} \cdot 1}$$

$$\boldsymbol{Distancia_{ROD} = 18.38\ metros}$$

Por lo tanto, el motor desbobinador desplaza insuficientemente material al resto de las estaciones, es por eso que, para garantizar un suministro adecuado, la pendiente de la curva frecuencia vs voltaje de la entrada analógica, del variador

de velocidad, debe ser mayor, para conseguir que desplace, al menos la misma cantidad de material.

Si el motor desbobinador desplaza 18.38 metros, bajo las condiciones antes mencionadas, se necesita al menos un incremento del 5% de la velocidad para conseguir que desplace la misma cantidad de material del empaque flexible.

Con esta información se realizaron las siguientes pruebas.

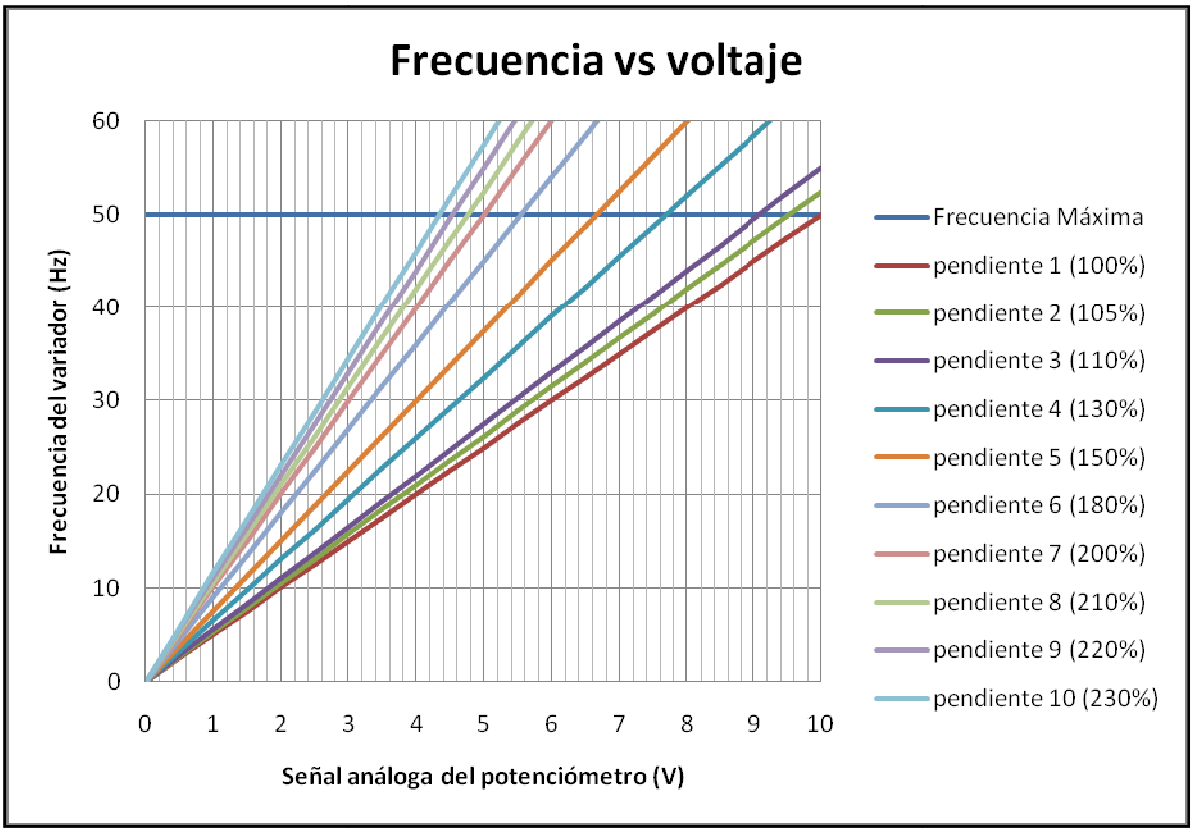


Figura 4-3: *Curva frecuencia del variador de velocidad vs voltaje de la señal análogica del potenciómetro del desbobinador.*

Tabla 4-1: *Incrementos de la pendiente de la señal analógica del variador de velocidad.*

% Incremento	Resultado	
	Material	**Tensión**
100	Ruptura	Muy Alta
105	Ruptura	Muy Alta
110	Ruptura	Muy Alta
130	Ruptura	Alta
150	No hay ruptura	Alta
180	No hay ruptura	Media
200	No hay ruptura	Adecuada
210	No hay ruptura	Baja
220	No hay ruptura	Baja
230	No hay ruptura	Muy Baja

Con un incremento del 200% en la pendiente de la entrada analógica del variador de velocidad, se consiguió que el material no se rompa y la tensión en el arrastre sea adecuada.

Este incremento implica que el rodillo giratorio desbobinará 36.77m, el equivalente al 92% más que el desplazamiento del cuerpo de arrastre.

4.2 ALINEACIÓN DE MATERIAL

El proceso de alineación de la banda, sincronizado con la leva 2, depende de tres variables modificables desde la pantalla táctil. Dos contadores determinan cuantos ciclos del proceso debe transcurrir hasta que surja efecto la alineación a la derecha o izquierda; un temporizador, cuya duración permite mantener la señal

de marcha de la alineación activo y finalmente, un tercer contador permite inhibir ciclos de proceso mientras se está realizando el giro de la banda.

Las pruebas realizadas dieron los siguientes resultados.

Tabla 4-2: Pruebas del proceso de alineación de material.

Contador 1	Contador 2	Tiempo (ms)	Contador 3	Resultados	
				Alineación	**Alarma**
1	1	100	0	Deficiente	Fuera de límites
2	2	100	0	Mala	Fuera de límites
3	3	100	0	Mala	Sin alarma
3	3	200	0	Regular	Sin alarma
3	3	300	0	Regular	Sin alarma
4	4	300	0	Buena	Sin alarma
4	4	300	1	Adecuada	Sin alarma
4	4	400	1	Regular	Fuera de límites
4	4	500	1	Deficiente	Fuera de límites
5	5	300	1	Regular	Sin alarma
6	6	300	1	Deficiente	Sin alarma

La Figura 4-4 muestra las señales recibidas y enviadas por el PLC durante el proceso de alineación de la banda.

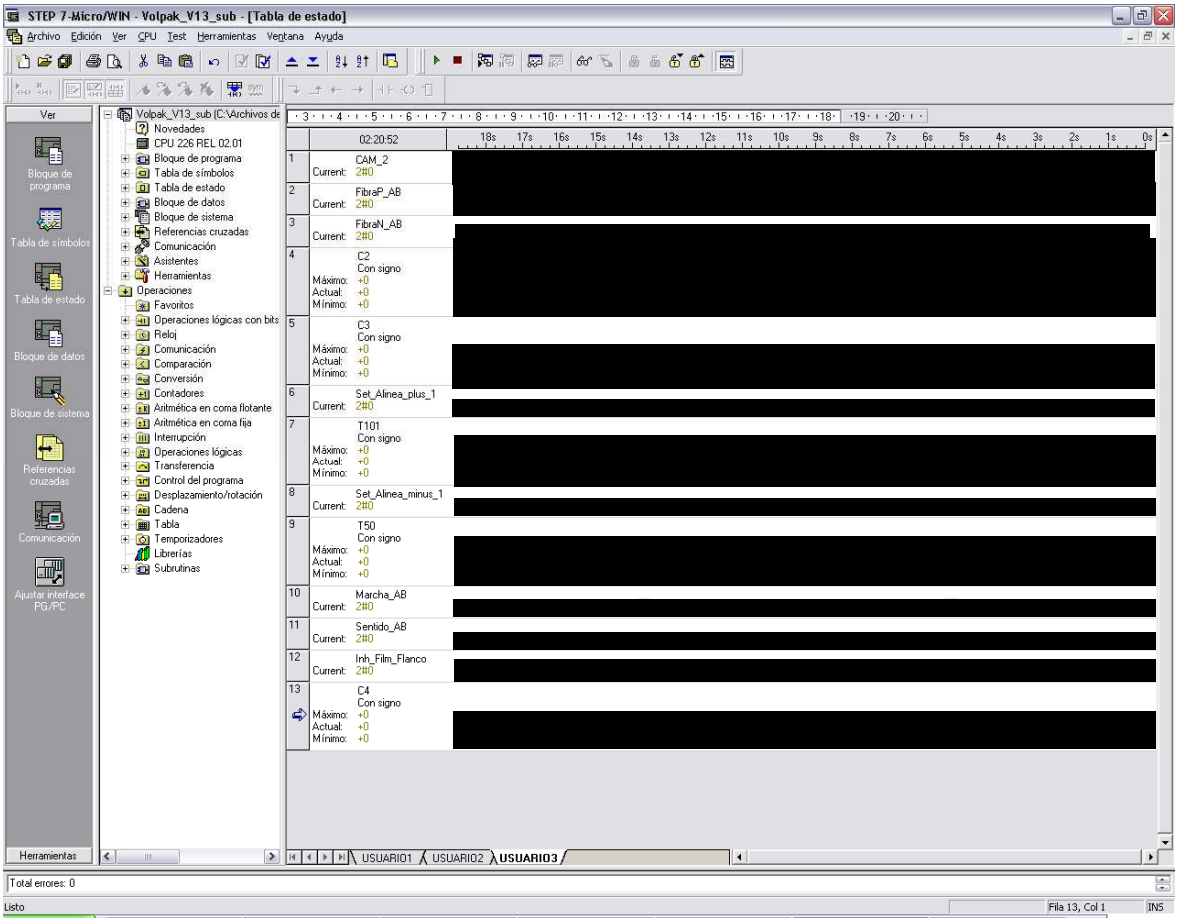


Figura 4-4: *Señales de entrada y salida del PLC durante el proceso de alineación de la banda.*

4.3 SELLADO DE MATERIAL.

En el capítulo uno se menciona que la capa interna, responsable del sellado del empaque flexible, es el polietileno de baja densidad. Material cuya temperatura de fusión está entre 105ºC a 110 ºC.

Se realizaron pruebas considerando esta temperatura, pero no se consiguieron buenos resultados en el sellado del material, debido a que las resistencias eléctricas tubulares inmersas en las mordazas, no generaron una temperatura suficiente para atravesar por los siguientes medios:

- De la resistencia eléctrica a la mordaza de la soldadura.
- De la mordaza a la capa de teflón que recubre cada soldadura.

- De la capa de teflón al empaque flexible trilaminado, teniendo como ambiente al aire.

Entonces, debido a estas capas que debe atravesar el calor, fue necesario elevar la temperatura para conseguir transferirlo hasta la capa interna del empaque.

Figura 4-5 *Soldadura inferior anterior.*

Existe otra variable que influye en el resultado del sello del material, la presión de de las soldaduras. Esta variable es modificada mecánicamente por las tuercas de sujeción de las mordazas.

En la Tabla 4-3 se detallan los resultados de este subproceso.

Tabla 4-3: *Resultados del subproceso de sellado del empaque.*

Temperatura (ºC)	Presión	Resultado Sellabilidad
100	Baja	Deficiente
110	Baja	Deficiente
115	Normal	Deficiente
120	Normal	Bajo
130	Normal	Bajo
140	Normal	Regular
145	Normal	Bueno

Tabla 4-3: *Continuación.*

Temperatura (ºC)	Presión	Resultado Sellabilidad
150	Normal	Adecuado
160	Normal	Deterioro del material
170	Normal	Deterioro del material
180	Normal	Deterioro del material
190	Normal	Corte de material por exceso de calor
200	Normal	Corte de material por exceso de calor

En la Figura 4-6 se muestra el comportamiento de la temperatura de la soldadura inferior anterior para un valor de consigna (set point) 150 ºC.

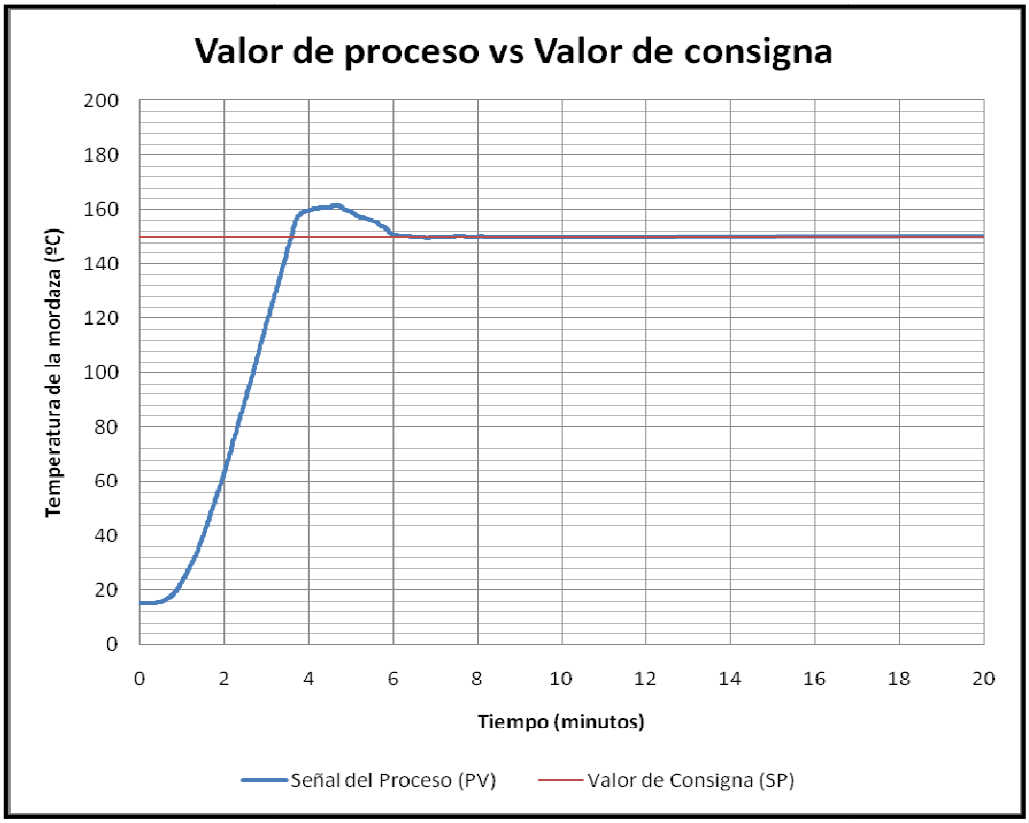


Figura 4-6: *Comportamiento de la temperatura de la soldadura inferior anterior.*

4.4 FRENO DEL CUERPO DE ARRASTRE.

El PLC sincroniza la leva 1 con la activación del freno de arrastre. Como se mencionó anteriormente, el sensor de contraste que detecta las marcas impresas (tacas) del material ingresa directamente a la tarjeta FCR para que compare con

las señales sincronizadas que envía el PLC, y active al módulo del control del freno del cuerpo de arrastre.

En la siguiente figura se muestra los pulsos de habilitación del PLC sincronizados con la leva 1. La tercera fila, muestra el proceso de activación del freno del cuerpo de arrastre.

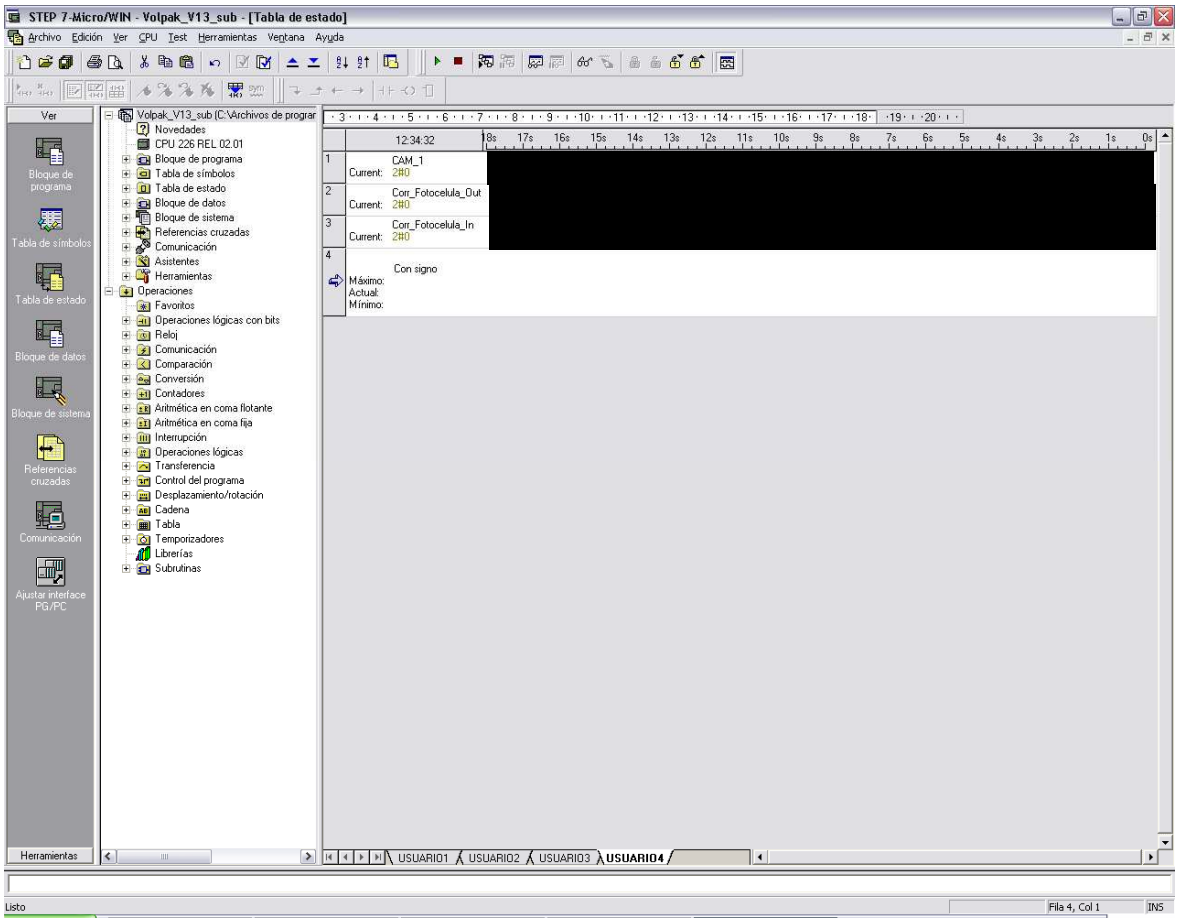


Figura 4-7: *Señales que intervienen en el freno del cuerpo de arrastre.*

4.5 DOSIFICACIÓN DE PRODUCTO.

La máquina horizontal Volpak dispone del módulo de control de dosificación, original de la máquina, lo que se hizo en este proyecto fue sincronizar las señales de habilitación de la dosificación con el eje de levas, específicamente con la leva 14.

La Figura 4-8 muestra la sincronización de estas señales.

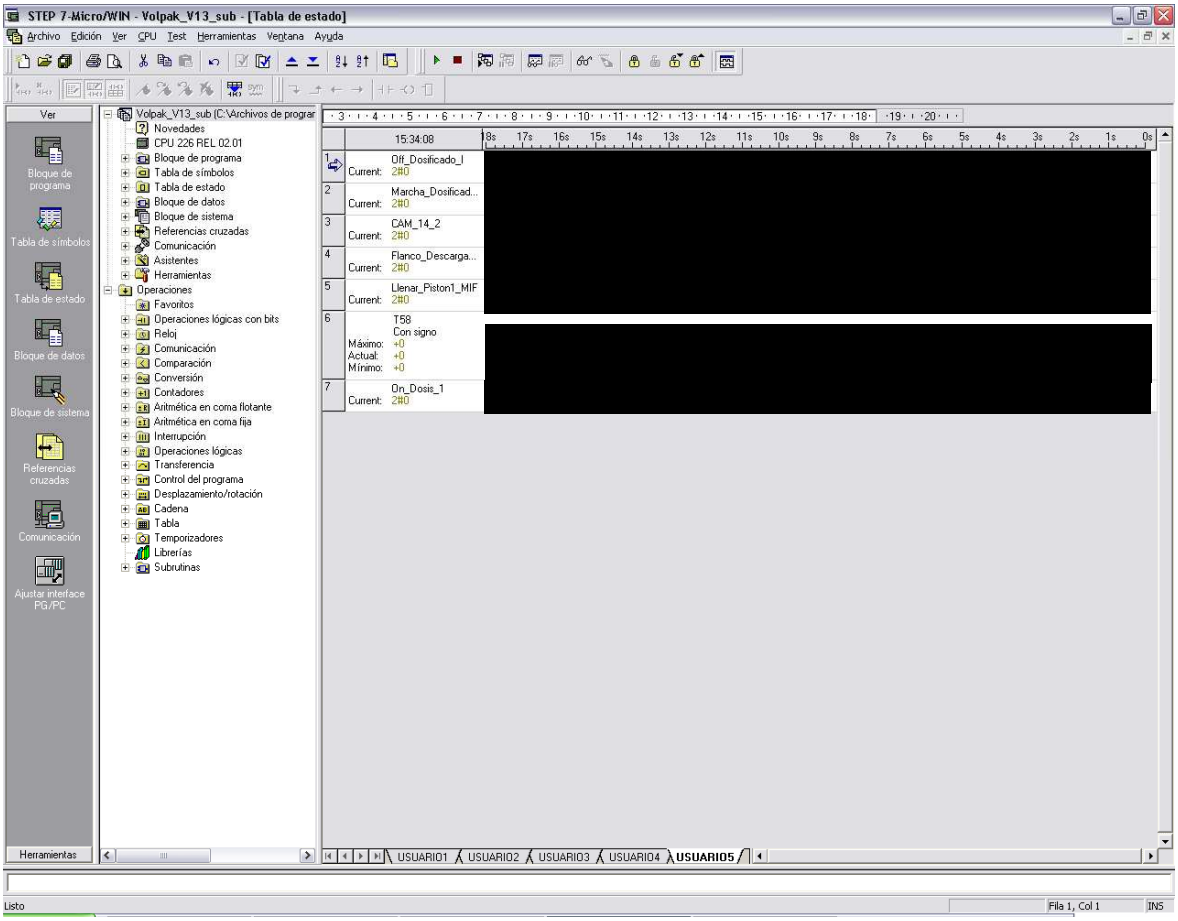


Figura 4-8: *Señales del subproceso de dosificado del puesto uno.*

4.6 DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ACTIVADO DE LEVAS.

La determinación de los límites de activación de las levas fue mediante observación del movimiento mecánico de las mismas y la verificación en la pantalla táctil, con la información del encoder.

La máquina envasadora Volpak viene preajustada de fábrica, es decir, la señal Z (origen) del encoder incremental se halla sincronizado con el origen de todas las levas y cada una de éstas posee una señal impresa que marca el origen de activación de la leva y con ello, el accionamiento de la parte mecánica que se encuentra acoplado a ella.

El PLC S7-200 cuenta con entradas rápidas, que son usadas para leer al encoder del eje principal, esta lectura es enviada a la interfaz gráfica.

Con la lectura desde la interfaz gráfica y la observación de las marcas de las levas, se determinaron sus límites de activación.

La Tabla 3-12 muestra los límites inicio y fin de activación de las levas del eje principal de la máquina Volpak.

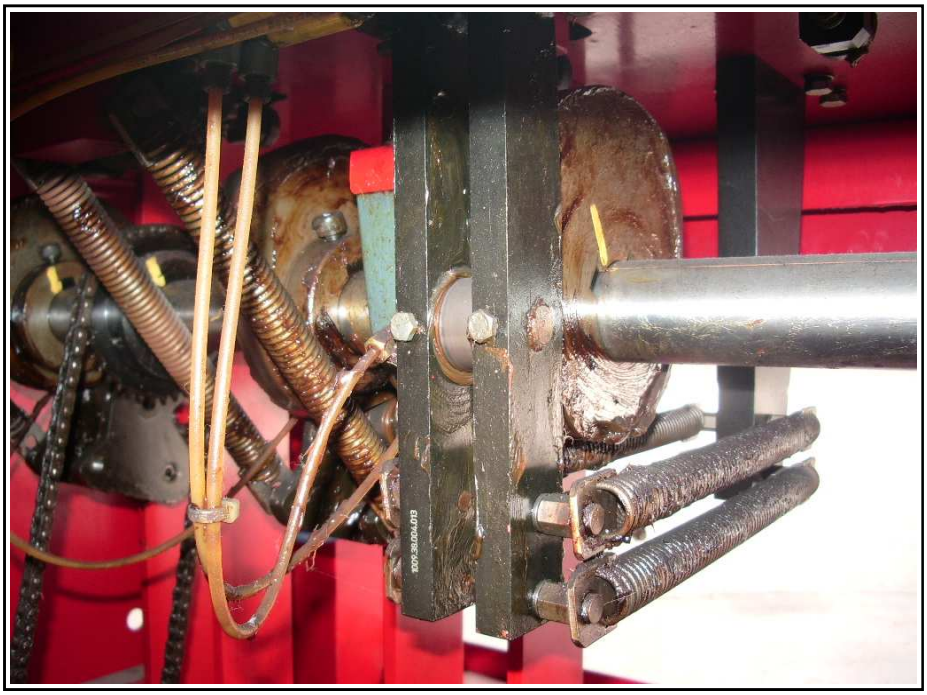


Figura 4-9: *Marcas impresas originales de la máquina Volpak.*

La siguiente figura muestra el desplazamiento angular (25º) de la leva 25 (Incisiones), desde 155º a 210º. Además, se observa en el fondo la activación de la palanca mecánica debido a este desplazamiento.

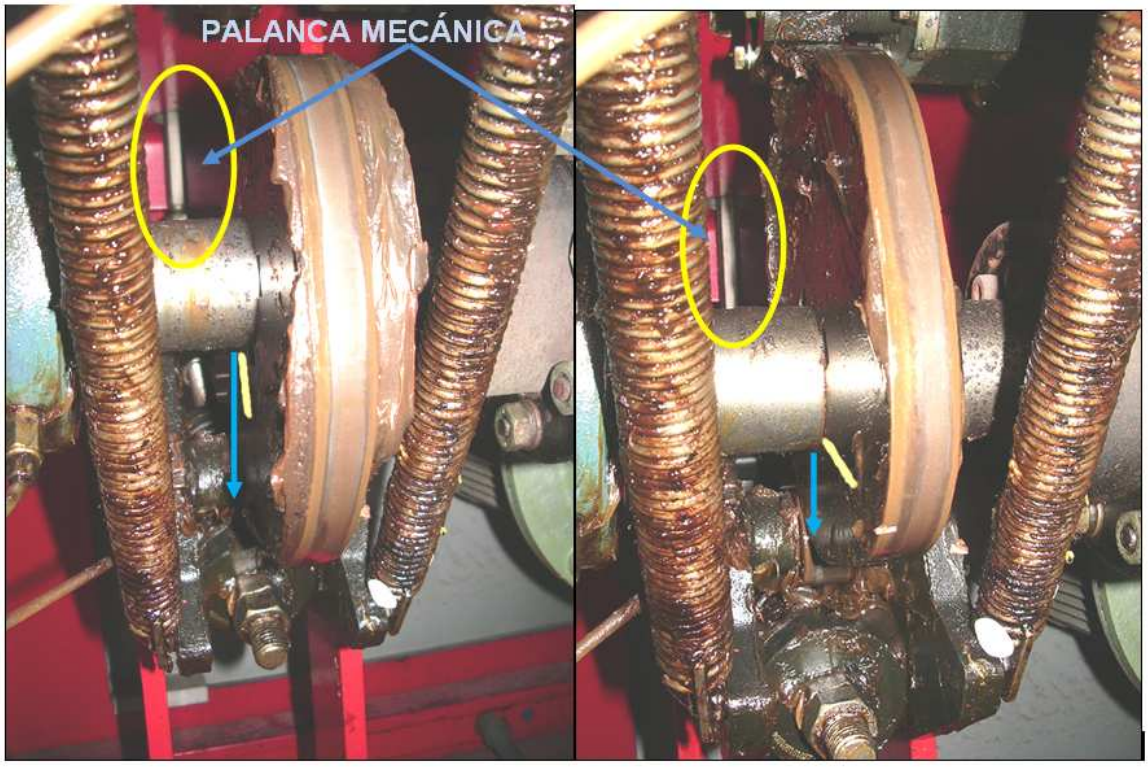


Figura 4-10: *Desplazamiento angular de la Leva 25 (Incisiones).*

El desplazamiento angular de la Leva 25 fue contrastado con las lecturas recibidas por el PLC (contador rápido) y enviadas a la interfaz gráfica, como se observa en la Figura 4-11.

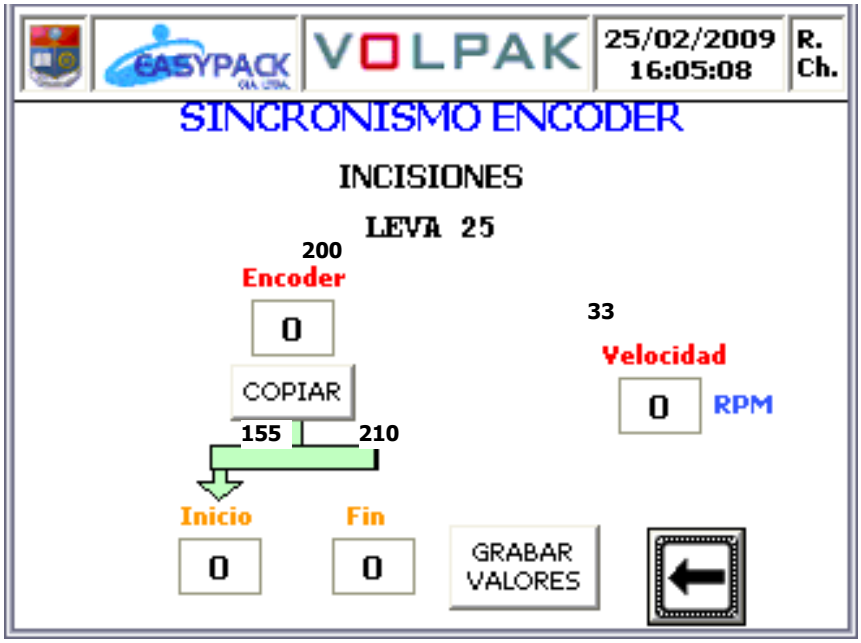


Figura 4-11: *Visualización de parámetros de la Leva 25 (Incisiones).*

CAPITULO 5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

- Los objetivos planteados al inicio de este proyecto se han cumplido, al implementar el sistema de control y visualización de la máquina envasadora horizontal Volpak S-240DF.
- El sistema de control, implementado con un PLC S7-200 de Siemens, permitió que la máquina realice las funciones para la cual fue creada.
- La interfaz gráfica, implementada con una pantalla táctil TP 177B PN/DP de Siemens, permitió monitorear y habilitar variables y funciones del proceso de envasado de la máquina.
- La puesta en marcha de esta máquina contempló algunos aspectos:

  El conocimiento del proceso de la máquina, analizado por secciones individuales y posteriormente sintetizado para un entendimiento global.

  Diseño y planificación de un sistema de control, estructurado en función de las necesidades de funcionamiento de la máquina.

  Consideraciones mecánicas de funcionamiento, tales como una correcta nivelación horizontal y vertical de la máquina, lubricación de partes móviles, reemplazo de piezas desgastadas y ajuste de las mismas.
- Las pérdidas de material presentes en esta máquina envasadora fueron omitidas, manteniendo siempre tensión en todo el proceso de arrastre de material de bobinado, esto se consiguió ajustando la cantidad de arrastre de material dada por el servomotor en el área de desbobinado y la regulación de aire para generar tensión en esta misma área.
- El cambio de formato de un envase en este tipo de máquinas involucra considerar algunos aspectos:

  Material trilaminado cuya impresión y diseño se encuentre dentro de los límites de operación de la máquina.

  Placas formadoras de fondo.

Mordazas inferiores formadoras de fondo del envase.

Boquillas de dosificación apropiadas al producto y al volumen a llenar.

Mordazas superiores, lisas para envasado de jugos o con forma, para envasado de jugos que tengan incorporado sorbete.

Ajustes mecánicos tales como desplazamiento de arrastre de material, posición de soldaduras verticales, posición de pinzas fijas, móviles y estirado estático en función del nuevo formato a emplear.

- Los movimientos de la máquina son sincronizados por levas mecánicas, distribuidas y ajustadas sobre el eje principal de la máquina, adicionalmente un encoder incremental sensa la posición de este eje que permite sincronizar intervalos de activación de señales eléctricas que contribuyen al funcionamiento del proceso de envasado.
- El uso de variadores de frecuencia para el control de la velocidad del proceso de envasado, permitió reducir pérdidas de material y con ello mejorar la eficiencia de la máquina.
- Modificar la pendiente de la entrada analógica del variador de velocidad del motor desbobinador, permitió suministrar suficiente material a las siguientes áreas del proceso, con tensión adecuada y sin rupturas del mismo.
- La comunicación entre la pantalla táctil TP177 B y el PLC S7-200 fue transparente, es decir, bastó con direccionar, desde la HMI, el área de memoria global V del PLC, en formato bit, byte, palabra o doble palabra, de acuerdo al dato requerido.
- Las levas mecánicas del eje principal estuvieron sincronizadas con la señal Z (origen) del encoder incremental, permitiendo identificar más fácilmente los intervalos de activación de las señales eléctricas que actúan sobre electroválvulas y señales digitales destinadas para el procesamiento del PLC.
- El control de nivel en el depósito del área de dosificación, fue muy importante, porque permitió que la presión interna del tanque no disminuya y afecte la cantidad de dosificación del producto.
- La temperatura óptima de sellado del empaque flexible fue mayor a la temperatura de fusión del polietileno (capa interna del empaque), ya que

fue necesario compensar las pérdidas por transferencia de calor entre cada medio (mordaza, teflón, capas del empaque flexible y aire).

- El sistema de control de dosificación de producto es independiente y original de la máquina. Este sistema se encarga del ingreso de cantidades de dosificación para las estaciones de llenado y del senso de la cantidad de líquido a dosificar.
- Las pruebas realizadas en el sistema de control de dosificación de la máquina, demostraron que existe buena precisión en la dosificación para cantidades mayores a 200 ml.
- El sistema de control implementado sincroniza las señales de activación de electroválvulas, que actúan sobre los pistones de dosificación de producto, con el sistema de dosificación de la máquina, es decir, los pistones realizan la apertura de líquido siempre y cuando los envases se hallen debajo de las boquillas dosificadoras.
- Actualmente, el llenado del depósito de almacenamiento de líquido a dosificar, se realiza de manera manual y por factores de tiempo y disponibilidad económica por parte de la empresa, esta función no se pudo implementar de manera automática en este proceso.
- Los equipos de paro de emergencia PNOZ son muy importantes en este tipo de aplicaciones industriales, porque garantizan seguridad operativa ante cualquier eventualidad de emergencia.
- Este tipo de máquinas disponen de módulos opcionales para agregar sorbetes a los envases, pero debido a problemas mecánicos de este módulo, no fue posible implementar el sistema de control con esta funcionalidad.
- Un conocimiento general de la mecánica de máquinas industriales puede complementar el vasto conocimiento de sistemas de control adquirido en la facultad de ingeniería en electrónica y control.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que en proyectos futuros, el sistema de control de dosificación sea centralizado en el sistema de control implementado.
- Para conseguir que el abastecimiento de producto en el subproceso de dosificado sea automático, se recomienda implementar un sistema de llenado para el depósito de la máquina, donde contenga un dimensionamiento de tuberías, bomba y válvulas de control.
- Se recomienda revisar el módulo adicional de la máquina que agrega sorbetes en los envases, y añadir al sistema de control implementado, la lógica de control para que esta función de la máquina pueda operar.
- Se recomienda que en la carrera de electrónica y control se agregue una materia al pensum académico o sea opcional, donde se imparta conocimientos generales de mecánica de los procesos industriales.

ANEXOS

Anexo A

Diagrama General de la Máquina Envasadora Horizontal

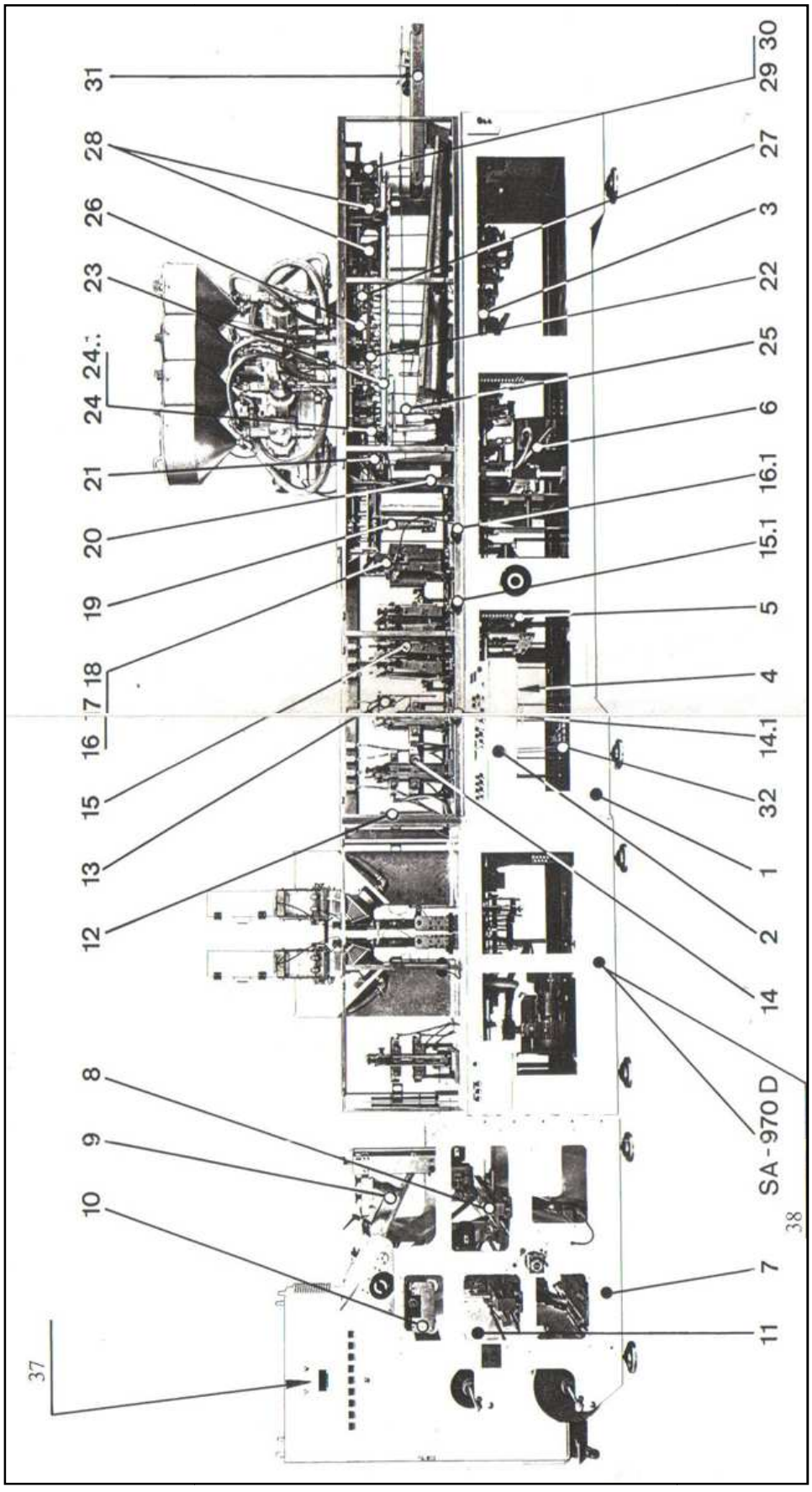


Figura A-1: *Máquina envasadora horizontal Volpak S240-DF.*

Anexo B Artículo 450 de las normas NEC Edición 2002

ARTICLE 450
Transformers and Transformer Vaults (Including Secondary Ties)

450.1 Scope. This article covers the installation of all transformers.

Exception No. 1: Current transformers.

Exception No. 2: Dry-type transformers that constitute a component part of other apparatus and comply with the requirements for such apparatus.

Exception No. 3: Transformers that are an integral part of an X-ray, high-frequency, or electrostatic-coating apparatus.

Exception No. 4: Transformers used with Class 2 and Class 3 circuits that comply with Article 725.

Exception No. 5: Transformers for sign and outline lighting that comply with Article 600.

Exception No. 6: Transformers for electric-discharge lighting that comply with Article 410.

Exception No. 7: Transformers used for power-limited fire alarm circuits that comply with Part III of Article 760.

Exception No. 8: Transformers used for research, development, or testing, where effective arrangements are provided to safeguard persons from contacting energized parts.

This article covers the installation of transformers dedicated to supplying power to a fire pump installation as modified by Article 695.

This article also covers the installation of transformers in hazardous (classified) locations as modified by Articles 501 through 504.

I. General Provisions

450.2 Definition. For the purpose of this article, the following definition shall apply.

Transformer. An individual transformer, single- or polyphase, identified by a single nameplate, unless otherwise indicated in this article.

450.3 Overcurrent Protection. Overcurrent protection of transformers shall comply with 450.3(A), (B), or (C). As used in this section, the word *transformer* shall mean a transformer or polyphase bank of two or more single-phase transformers operating as a unit.

FPN No. 1: See 240.4, 240.21, 240.100, and 240.101 for overcurrent protection of conductors.

FPN No. 2: Nonlinear loads can increase heat in a transformer without operating its overcurrent protective device.

(A) Transformers Over 600 Volts, Nominal. Overcurrent protection shall be provided in accordance with Table 450.3(A).

(B) Transformers 600 Volts, Nominal, or Less. Overcurrent protection shall be provided in accordance with Table 450.3(B).

Exception: Where the transformer is installed as a motor-control circuit transformer in accordance with 430.72(C)(1) through (5).

(C) Voltage Transformers. Voltage transformers installed indoors or enclosed shall be protected with primary fuses.

FPN: For protection of instrument circuits including voltage transformers, see 408.32.

Table 450.3(B) Maximum Rating or Setting of Overcurrent Protection for Transformers 600 Volts and Less (as a Percentage of Transformer-Rated Current)

	Primary Protection			Secondary Protection (See Note 2.)	
Protection Method	Currents of 9 Amperes or More	Currents Less Than 9 Amperes	Currents Less Than 2 Amperes	Currents of 9 Amperes or More	Currents Less Than 9 Amperes
Primary only protection	125% (See Note 1.)	167%	300%	Not required	Not required
Primary and secondary protection	250% (See Note 3.)	250% (See Note 3.)	250% (See Note 3.)	125% (See Note 1.)	167%

Notes:
1. Where 125 percent of this current does not correspond to a standard rating of a fuse or nonadjustable circuit breaker, a higher rating that does not exceed the next higher standard rating shall be permitted.
2. Where secondary overcurrent protection is required, the secondary overcurrent device shall be permitted to consist of not more than six circuit breakers or six sets of fuses grouped in one location. Where multiple overcurrent devices are utilized, the total of all the device ratings shall not exceed the allowed value of a single overcurrent device. If both breakers and fuses are utilized as the overcurrent device, the total of the device ratings shall not exceed that allowed for fuses.
3. A transformer equipped with coordinated thermal overload protection by the manufacturer and arranged to interrupt the primary current shall be permitted to have primary overcurrent protection rated or set at a current value that is not more than six times the rated current of the transformer for transformers having not more than 6 percent impedance and not more than four times the rated current of the transformer for transformers having more than 6 percent but not more than 10 percent impedance.

Anexo C Diagramas del variador MicroMaster 440

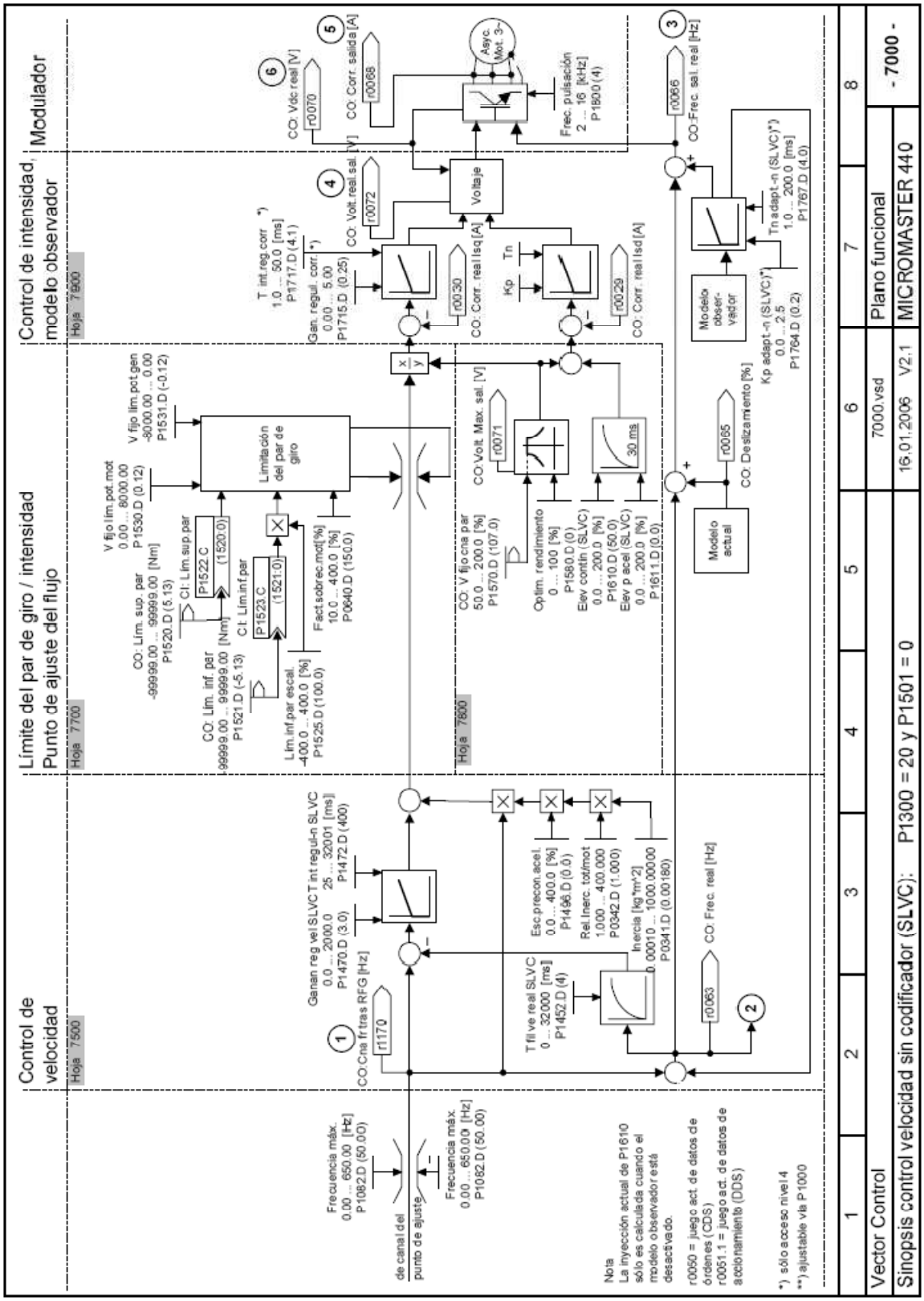


Figura C-1: *Plano funcional del control vectorial sin sensor en MM440.*

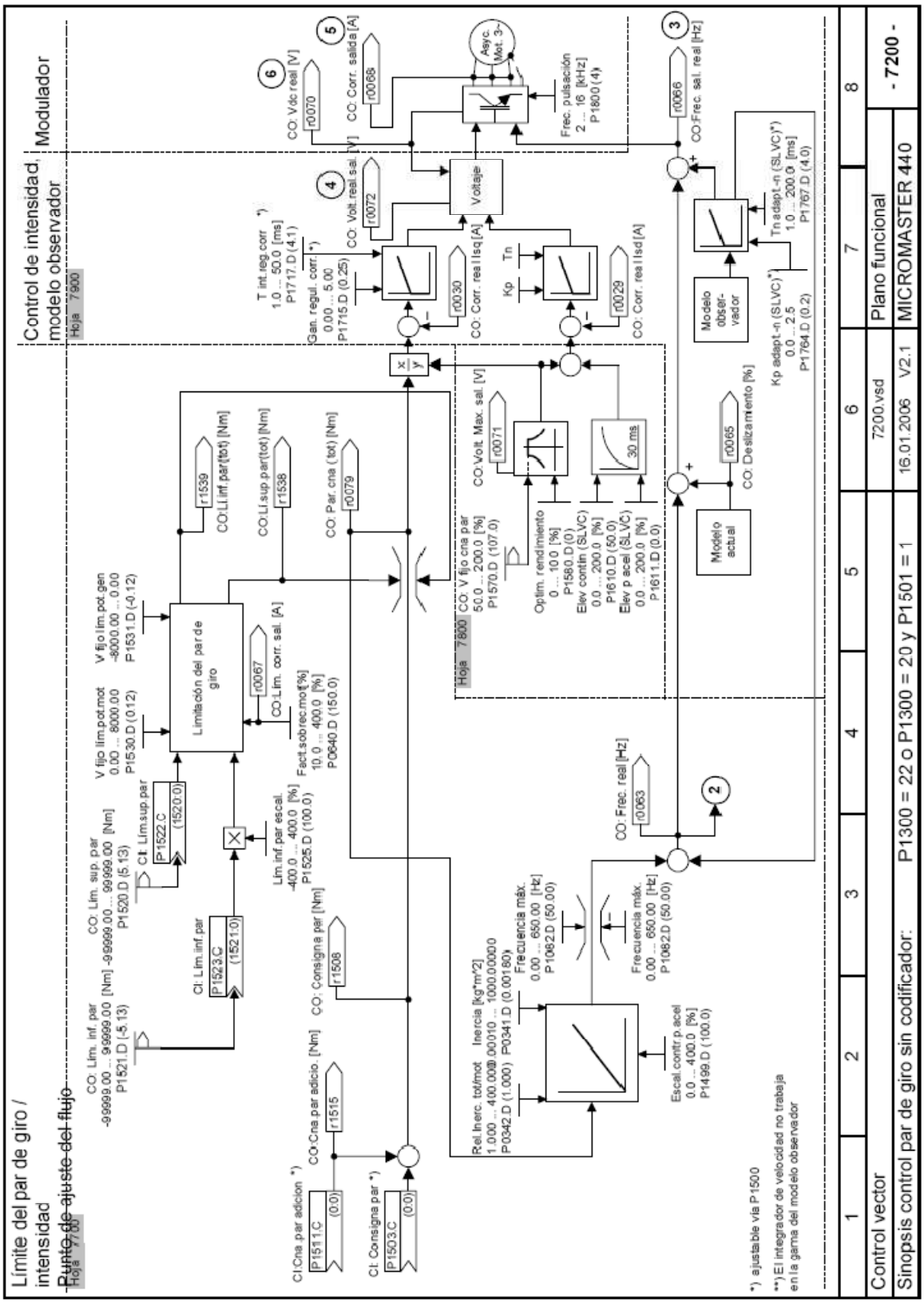


Figura C-2: *Plano funcional del control vectorial sin sensor en MM440.*

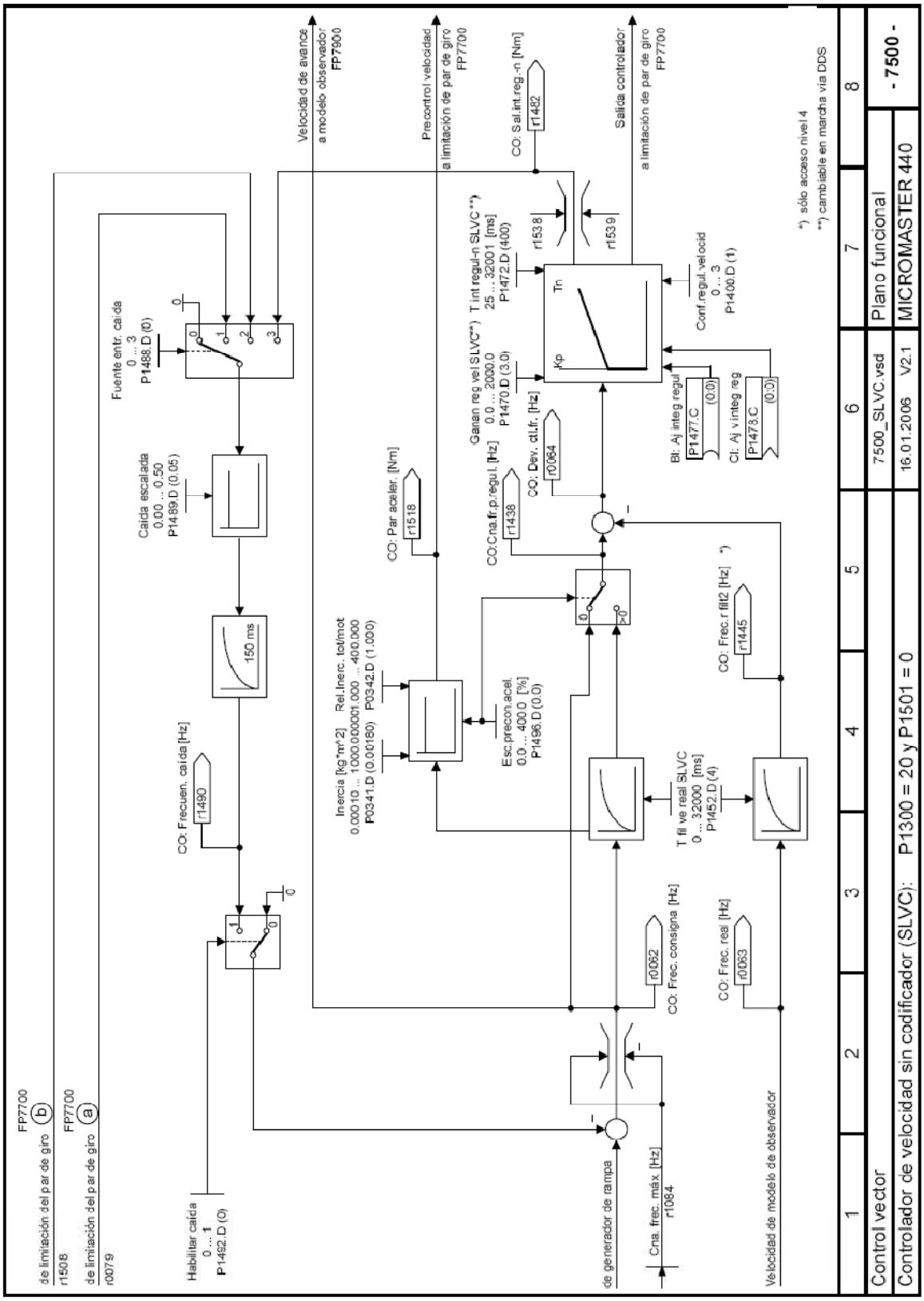


Figura C-3: *Plano funcional del control vectorial sin sensor en MM440.*

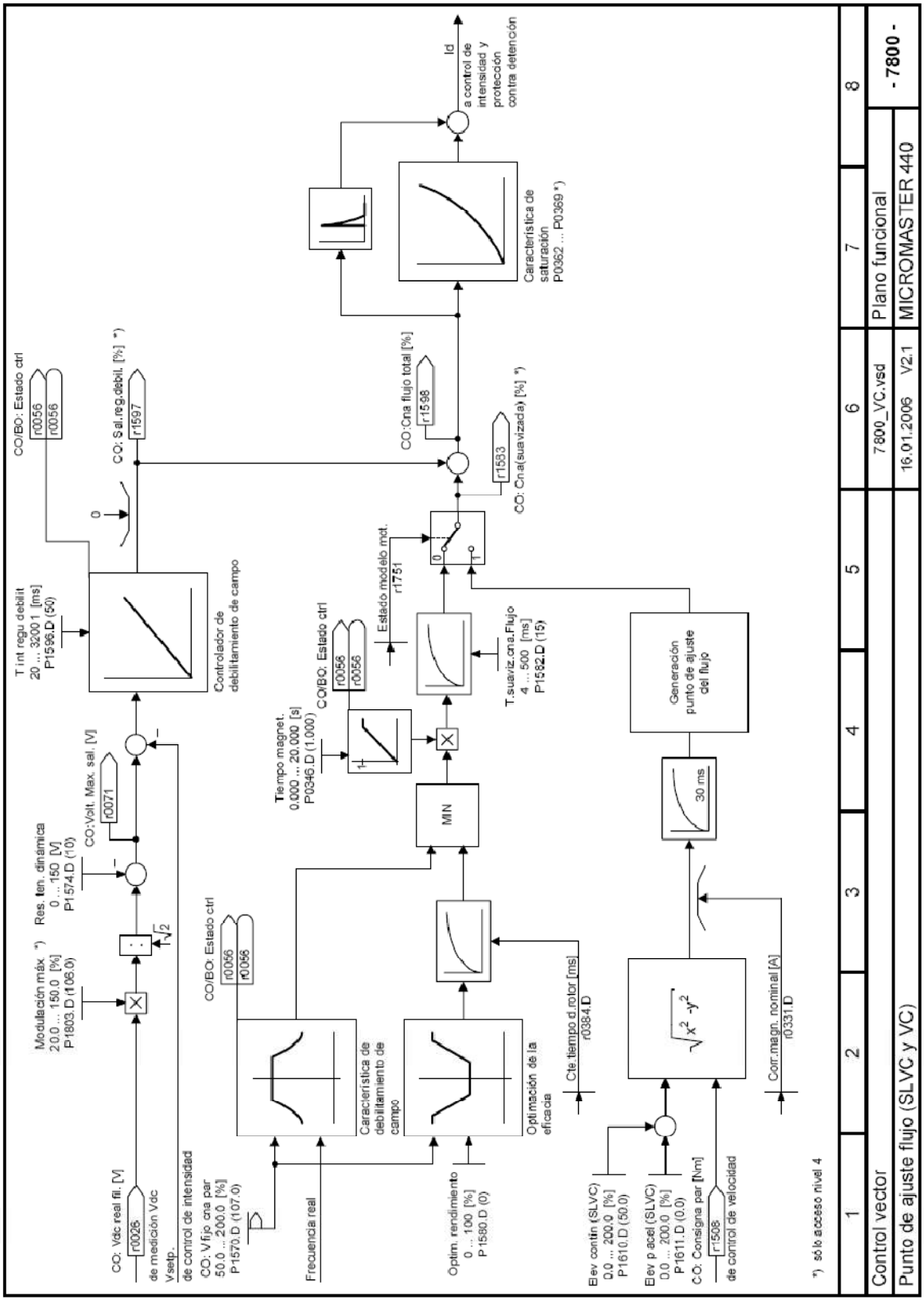


Figura C-4: *Plano funcional del control vectorial sin sensor en MM440.*

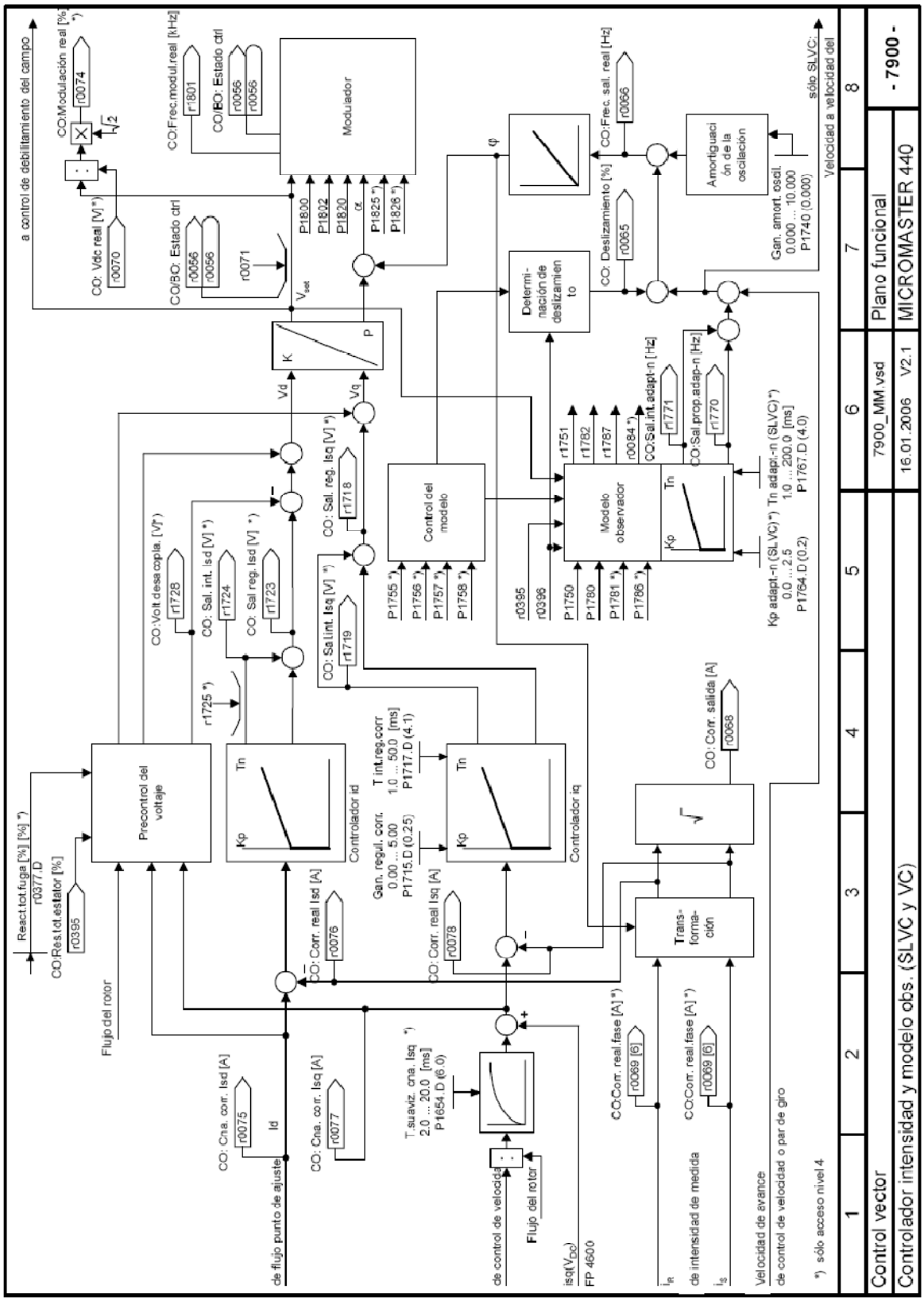


Figura C-5: *Plano funcional del control vectorial sin sensor en MM440.*

Anexo D

Parámetros programados en variadores de velocidad de la máquina envasadora horizontal Volpak S240-DF.

Tabla D-1: *Parámetros programados en el variador de velocidad MM 440.*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR PROGRAMADO
P0100	Europa/Norte América	0
P0205	Aplicación del inversor	0
P0300	Selección del tipo del motor	1
P0304	Voltaje nominal del motor	220
P0305	Corriente nominal del motor	9.8
P0307	Potencia nominal del motor	2.2
P0308	Factor de potencia del motor	0.82
P0309	Eficiencia del motor	85
P0310	Frecuencia nominal del motor	50
P0311	Velocidad nominal del motor	1415
P0320	Corriente de magnetización del motor	0
P0335	Refrigeración del motor	0
P0342	Relación de inercia motor/carga	6
P0640	Factor de sobrecarga del motor	150
P0700	Selección de la fuente de órdenes	2
P1000	Selección de la consigna de frecuencia	2
P1080	Frecuencia mínima	0
P1082	Frecuencia máxima	60
P1120	Tiempo de rampa de aceleración	5
P1121	Tiempo de rampa de desaceleración	5
P1135	Tiempo de apagado OFF3	4
P1300	Modo de control	20

Tabla D-1: *Continuación.*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR PROGRAMADO
P1470	Ganancia del controlador SLVC	3.5
P1472	Tiempo integral del controlador SLVC	250
P1496	Pre control de la aceleración escalada	100
P1500	Selección de la consigna de torque	0
P1511	Torque adicional de torque	2890
P1520	Límite superior de torque	59.4
P1521	Límite inferior de torque	-59.4
P1610	Elevación continua SLVC	50
P1750	Byte de control del modelo del motor	0
P1755	Frecuencia de corte para el control vectorial	5
P1910	Selección de la identificación de datos del motor	1
P2890	Punto de ajuste fijado	40
P3900	Fin de la puesta en servicio rápido	1

Tabla D-2: *Parámetros programados en el variador de velocidad Sinamics G110.*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR PROGRAMADO
P0100	Europa/Norte América	0
P0304	Voltaje nominal del motor	220
P0305	Corriente nominal del motor	9.8
P0307	Potencia nominal del motor	0.24
P0308	Factor de potencia del motor	0.82
P0309	Eficiencia del motor	80
P0310	Frecuencia nominal del motor	50
P0311	Velocidad nominal del motor	1380

Tabla D-2: *Continuación*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR PROGRAMADO
P0320	Corriente de magnetización del motor	0
P0335	Refrigeración del motor	0
P0640	Factor de sobrecarga del motor	150
P0700	Selección de la fuente de órdenes	2
P0757	Valor mínimo de voltaje	0
P0758	Valor mínimo en % de la consigna analógica	0
P0759	Valor máximo de voltaje	10
P0760	Valor máximo en % de la consigna analógica	230
P1000	Selección de la consigna de frecuencia	2
P1080	Frecuencia mínima	0
P1082	Frecuencia máxima	60
P1120	Tiempo de rampa de aceleración	5
P1121	Tiempo de rampa de desaceleración	5
P1135	Tiempo de apagado OFF3	4
P1300	Modo de control	20
P3900	Fin de la puesta en servicio rápido	1

Anexo E

Instrucciones de Operación de la máquina envasadora horizontal Volpak S240-DF.

MANTENIMIENTO

Para un correcto mantenimiento de la máquina es necesario seguir las instrucciones que a continuación se detallan.

LIMPIEZA

La limpieza de la máquina se recomienda efectuarla diariamente sobre todas las partes móviles exteriores a la carcasa y principalmente sobre las que están en contacto con el producto. También se recomienda una limpieza semanal general para toda la máquina, insistiendo igualmente y muy particularmente sobre las partes móviles en contacto con el producto. La limpieza deberá efectuarse con pinceles, trapos o aspirador. Evitar el soplado con aire, y también la limpieza con petróleo o cualquier tipo de detergente líquido, ya que éstos pueden corroer y obstruir partes muy importantes de la máquina.

AVERIAS

A continuación se describen las averías más comunes con sus posibles causas y soluciones a tomar:

Tabla E-1: *Averías más comunes en el funcionamiento de la máquina.*

AVERÍA	*Posibles Causas*	*Posibles Soluciones*
MÁQUINA PARADA	Desconectada la red	Conectar a la red
	Protecciones abiertas	Cerrar protecciones
	Volante manual accionado	Entrar volante
	Bobina acabada	Colocar bobina nueva
	Resistencia fundida	Sustituirla por otra nueva
	Pulsador STOP accionado	Desconectar STOP

Tabla E-1: *Continuación.*

AVERÍA	*Posibles Causas*	*Posibles Soluciones*
MÁQUINA PARADA	Relé térmico accionado	Rearmar relé térmico y activar pulsante de reset.
	Interruptor termo magnético desconectado	Verificar que no exista cortocircuito y conectarlo
TIJERAS NO CORTAN	Desgaste de las tijeras.	Sustituirlas por otras nuevas.
SOBRES SE CAEN DURANTE EL TRANSPORTE	Pinzas no están bien encaradas.	Encarar las pinzas
FALLAN LAS VENTOSAS	Ventosas de goma gastadas	Sustituir las ventosas
	Falla Bomba de vacío	Comprobar filtro y funcionamiento de bomba de vacío
	Falla electroválvula	Comprobar si está en buenas condiciones
SOBRE NO ABRE LO SUFICIENTE Y LA BOQUILLA LO ARRUGA AL ENTRAR	Defecto de presión de aire en el soplado	Aumentar presión
	El soplador no entra lo suficiente	Aumentar la carrera del soplador
LA SOLDADURA SUPERIOR PRESENTA ARRUGAS	El estirado es insuficiente	Aumentar carrera de estirado
EL SOBRE SE ABRE FÁCILMENTE POR LAS SOLDADURAS .	Los soldadores están sucios	Limpiar soldadores
	La temperatura no es correcta	Aumentar o disminuir la temperatura
	Se deposita producto en los bordes superiores del sobre	Aumentar o disminuir el caudal de aspiración.

Anexo F

Esquemas eléctricos del sistema de control de la máquina envasadora Volpak S-240 DF.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] OGATA, Katsuhiko; Ingeniería de control moderna. 4ª Edición. Pearson. 2003.

[2] SMITH, Carlos A; CORRIPIO, Armando B. Control automático de procesos: Teoría y práctica. 2ª Edición. Catedra. 2007.

[3] ENRIQUEZ, Harper; El abc de la instrumentación en el control de procesos. 1ª Edición. Limusa. México. 2000

[4] BLATT, Frank J., Fundamentos de Física. 3ª edición. Prentice Hall. 1991.

[5] http://www.volpak.com

[6] http://www.southeasternpackagingequipmentsales.com/packaging/

[7] Volpak S.A. Manuales de operación de la máquina provistos por EasyPack Cia. Ltda.

[8] http://www.piab.com/upload/ES/Documents/ContactSupport/Literature/ProductOverviews/0107360ES.pdf

[9] http://www.servicelighting.com/library/g15t8_germicidal_fluorescent_light_bulbs_from_service_lighting.cfm

[10] http://www.gea-niro.com.mx/lo-quesuministros/sis_procesamiento_liquidos/CIP.htm

[11] http://www.burmt.de/BURMTWWW/Dokumentation/Esp/MID_PI_456_sp.pdf

[12] http://www.mabeconta.net/pdf/MDS-K.pdf

[13] http://www.festo.com/INetDomino/files_01/FAST_ADVU_Metric.pdf

[14] https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_es/PDF/ES/ADVU_ES.PDF

[15] http://www.seas.es/docs/t3_neumatica.pdf

[16] http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica7.htm

[17] http://www.elproman.se/eng/produkter/kabel/elektronik/liyy_liycy.html

[18] http://www5.gelifesciences.com/aptrix/upp01077.nsf/Content/customized_site~imagined~complete_sol~cip

[19] http://www.avtomatika.org/docs/48/295.pdf

[20] http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo□=en&objid=7494205&caller=view

[21] http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=22078991&objAction=csOpen&nodeid0=30563628&lang=en&siteid=cseus&aktprim=4&extranet=standard&viewreg=WW

[22] http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo□=en&objid=7494205&caller=view