

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MÁQUINA-2 DE TAPAS
PLÁSTICAS DESECHABLES DE LA COMPAÑÍA AMBAR S.A – CARTAGENA.

ORIEL BABILONIA MÉNDEZ
ALEXANDER CERVANTES RUEDA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTEGENA DE INDIAS, D.T. y C.

2002

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MÁQUINA-2 DE TAPAS
PLÁSTICAS DESECHABLES DE LA COMPAÑÍA AMBAR S.A – CARTAGENA.

ORIEL BABILONIA MÉNDEZ

ALEXANDER CERVANTES RUEDA

Trabajo de grado presentado como requisito
para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director
JORGE ELIÉCER DUQUE P.
Ingeniero Electricista

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS, D.T. y C.

2002

Cartagena, Octubre 25 de 2002

Señores

Comité Facultad Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar - CUTB
Ciudad

Nos permitimos informarles que hemos decidido apoyar a los estudiantes Oriel Babilonia Méndez, identificado con la cédula de ciudadanía No. 8.850.681 y Alexander Cervantes Rueda, identificado con la cédula de ciudadanía No. 73.578.860, en la realización del proyecto "DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MÁQUINA-2 DE TAPAS PLÁSTICAS DESECHABLES DE LA COMPAÑÍA AMBAR S.A – CARTAGENA.", mediante el cual podrán optar al título de Ingeniero Electrónico.

Agradecemos su amable atención.

Atentamente,

MYRON ABARCA
Gerente de Operaciones

JOSÉ R. PABÓN
Jefe de Mantto. Eléctrico y Electrónico

Cartagena de Indias D.T. y C., Octubre 10 de 2002

Señores:

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atn. Comité de evaluación de proyectos.

Facultad de Ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica.

Programa de Ingeniería Electrónica.

Ciudad.

Respetados señores:

Muy comedidamente me dirijo a ustedes, con el objeto presentarles para su concepto y aprobación el trabajo de grado titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MÁQUINA-2 DE TAPAS PLÁSTICAS DESECHABLES DE LA COMPAÑÍA AMBAR S.A – CARTAGENA.”**, en el cual actúe como asesor y se encuentra elaborado en su totalidad por los estudiantes ORIEL BABILONIA MÉNDEZ y ALEXANDER CERVANTES RUEDA.

Agradezco a ustedes,

Jorge E. Duque P.

Director

Cartagena de Indias D.T. y C., Octubre 10 de 2002

Señores:

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atn. Comité de evaluación de proyectos.

Facultad de Ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica.

Programa de Ingeniería Electrónica.

Ciudad.

Apreciados señores:

A través de la presente nos permitimos hacer llegar a ustedes para estudio, consideración y aprobación, el proyecto de Trabajo de Grado titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MÁQUINA-2 DE TAPAS PLÁSTICAS DESECHABLES DE LA COMPAÑÍA AMBAR S.A – CARTAGENA.”**.

Agradeciendo la atención prestada a la presente y en espera de una positiva respuesta.

Atentamente,

ORIEL BABILONIA MÉNDEZ.
C.C. No. 8'850.681 de Cartagena.

ALEXANDER CERVANTES RUEDA
C.C. No. 73'578.860 de Cartagena.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T y C., 10 de Octubre de 2002

ARTÍCULO 107 DEL REGLAMENTO ACADÉMICO.

La Corporación Universitaria se reserva el derecho de propiedad de todos los trabajos de grado y no pueden ser explotados sin su autorización.

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Elberto Cervantes y Gladis Rueda, a mis hermanas Melissa y Betsy, demás familiares y amigos por todo el apoyo brindado en el transcurso de mis estudios constituyéndose en una voz de aliento permanente para conmigo, lo que me otorgó la fuerza necesaria para culminar con éxito la meta alcanzada en el día de hoy.

Alexander Cervantes Rueda.

DEDICATORIA

A Jehová, a mis Padres, Antonio Babilonia y Saide Méndez, a mis Hermanos, Antonio y Cindy, a mis amigos, quienes siempre me brindaron su confianza, comprensión y apoyo constituyéndose de esta manera en mi mayor fuente de motivación moral tan necesaria para culminar con éxito la meta hoy alcanzada.

Oriel Babilonia Méndez

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

Dios, guía de todo el universo y los cuerpos dentro de él, que en todo momento nos orientó para seguir el camino correcto para la feliz culminación de este proyecto.

Las directivas de Ambar / Dexton / Ajoover S.A., Por creer en nuestras capacidades para llevar a cabo este proyecto.

Jorge E. Duque P., Profesor de tiempo completo de la facultad de ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica, por sus valiosas orientaciones como nuestro director en el desarrollo del proyecto para llevarlo a cabo en la forma correcta.

José R. Pabón M., Jefe de mantenimiento eléctrico y electrónico Dexton / Ajoover S.A, por sus oportunas colaboraciones que contribuyeron a un mejor desarrollo de nuestro proyecto.

Rubén Patiño, Operador de la máquina de tapas 1. Por sus conocimientos y colaboración en la descripción del proceso y operación general de la máquina 1.

CONTENIDO

	Pág.
0. INTRODUCCIÓN.	27
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.	31
1.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.	31
1.2. EXTRUSORA.	32
1.3. RODILLOS.	34
1.4. RUEDA DE TERMOFOMADO.	35
1.5. TROQUELADORA.	36
2. SELECCIÓN DE EQUIPOS.	39
2.1. SENSORES Y TRANSMISORES.	39
2.1.1. Termocupla de melt.	39
2.1.2. Termocupla de malla cambia filtro.	41
2.1.3. Termocuplas de las Zonas 1, 2, 3 y 4.	42
2.1.4. Termocupla del agua en la unidad de enfriamiento.	44
2.1.5. Transmisores de presión de melt.	46
2.1.6. Sensor óptico para el ancho de cinta.	48
2.1.7. Micro interruptores para la guaya, el aire en la rueda y puertas de la troqueladora.	50
2.1.8. Sensores ópticos para la presencia de cinta y acumulamiento de cinta.	51
2.1.9. Detector de proximidad inductivo.	52
2.1.10. Interruptor de final de carrera para el acumulamiento de cinta.	52

2.1.11. Convertidores de corriente-corriente.	55
2.1.12. Presóstatos.	57
2.2. ACTUADORES.	58
2.2.1. Válvula solenoide.	58
2.2.2. Reles de estado sólido.	59
2.2.3. Resistencias de calentamiento.	65
2.2.4. MOTORES.	71
2.2.4.1. Moto-reductores de la rueda de termoformado y el troquel.	73
2.2.4.2. Motor de la Extrusora.	78
2.2.4.3. Motor de los Rodillos.	80
2.3. FUSIBLES.	82
2.4. MANEJO DE EMERGENCIAS.	84
2.4.1. Paradas de emergencia.	84
2.4.2. Alarmas.	86
2.5. VARIADORES DE VELOCIDAD.	88
2.5.1. Variador de velocidad para motor asíncrono 0.5 HP.	90
2.5.2. Variador de velocidad para motor asíncrono 2 HP y 25 HP.	92
2.6. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).	95
2.6.1. Módulos I/O.	99
2.6.2. Mapeo en memoria de las entradas y salidas.	101
2.7. ELEMENTOS DEL BUS DE CAMPO.	105
2.8. PATALLA INDUSTRIAL (HMI).	108
2.9. FUENTES Y PROTECCIONES.	110

2.9.1. Alimentación a 120 VAC.	110
2.9.2. Alimentación a 220 VAC.	112
2.9.3. Alimentación a 24 VDC.	114
2.9.4. Alimentación a 10 VDC.	115
2.9.5. Disyuntor magnético y contactor principal.	116
2.10. TABLERO DE POTENCIA Y CONTROL.	117
2.11. VENTILACIÓN FORZADA.	129
3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL	134
3.1. CONTROL ANCHO DE CINTA	134
3.2. CONTROL DE TEMPERATURAS EN ZONAS DE CALENTAMIENTO	137
3.3. CONTROL DE TEMPERATURA EN LA MALLA	138
3.4. FUNCIONES INTERNA DE REGULACIÓN PID Y PWM PROGRAMADAS EN EL PLC	139
3.4.1. Método de ajuste de los parámetros PID para las zonas de calentamiento	145
3.5. CONTROLES ADICIONALES	148
3.5.1. Control de velocidad de fabricación y sincronismo entre motores.	148
3.5.2. Control del peso de las tapas.	151
3.5.3. Control estadístico de la producción.	154
3.6. RED DE COMUNICACIÓN	155
4. DISEÑO DE LAYOUT.	158
4.1. UBICACIÓN DE EQUIPOS.	158
5. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y DE INSTRUMENTACIÓN.	160
5.1. PLANOS ELÉCTRICOS.	160

5.2. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y PROCESO (P&ID).	160
6. PROGRAMACIÓN DE PLC Y PANTALLA HMI.	163
6.1. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SALTO DE PÁGINAS.	163
6.2. PROGRAMA DE PLC EN LENGUAJE LADDER Y GRAFCET.	164
6.3. PROGRAMA DE LA PANTALLA HMI.	167
7. MANUALES Y PROCEDIMIENTOS.	221
7.1. MANUAL DE OPERACIÓN.	221
7.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO.	221
8. PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA.	222
8.1. ESTADO DE SENSORES.	222
8.2. ARRANQUE DE LA MÁQUINA.	223
8.3. RECOPIACIÓN DE INCONVENIENTES.	225
8.4. INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO.	227
9. CONCLUSIONES.	229
BIBLIOGRAFÍA	233
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Barril de la extrusora.	34
Figura 2. Diagrama de proceso.	37
Figura 3. Utilidad de aire.	38
Figura 4. Termocupla estilo Melt Bolt P011-41303-120-1-05.	40
Figura 5. Termocupla tubo rígido P012-31303-120-0.	42
Figura 6. Termocupla estilo Varidepth P011-33300-120-6-00.	44
Figura 7. Transmisor de presión de Melt TD10-00511-000-0-03.	48
Figura 8. Sensor óptico SP300D.	49
Figura 9. Patrón de radiación sensor.	50
Figura 10. Micro interruptor XCK J10511.	51
Figura 11. Detector fotoeléctrico XU8 M18MA230.	52
Figura 12. Detector de proximidad inductivo XS1 M18MA250.	53
Figura 13. Interruptor de final de carrera XCK M106.	54
Figura 14. Convertidor de corriente – corriente MCR.	56
Figura 15. Presóstato KPI 35 060-3164.	58
Figura 16. Válvula solenoide 225B111CAAA.	59
Figura 17. Circuito de calentamiento de zona 1.	60
Figura 18. Circuito de calentamiento de zona 2.	61
Figura 19. Circuito de calentamiento de zona 3.	62
Figura 20. Circuito de calentamiento de zona 4.	62

Figura 21. Circuito de calentamiento de la malla filtro.	64
Figura 22. Rele de estado sólido G3PA-420B-VD-2.	65
Figura 23. Resistencias de calentamiento.	68
Figura 24. Barril de la extrusora con las resistencias de calentamiento.	69
Figura 25. Circuito que permite activar y desactivar las resistencias de calentamiento.	70
Figura 26. Curva de par para motores asíncronos.	72
Figura 27. Vista superior máquina de tapas VM001.	74
Figura 28. Vista superior máquina de tapas VM002.	75
Figura 29. Motor reductor de la rueda y el troquel.	77
Figura 30. Fusible tipo casquillo.	84
Figura 31. Circuito de conexión para paradas de emergencia.	86
Figura 32. Alarma visual y sonora tipo Beacons.	88
Figura 33. Variador de velocidad Altivar ATV-28HU18M2.	91
Figura 34. Variador de velocidad Altivar ATV-58HD28N4.	95
Figura 35. Autómata TSX micro 3722 001.	97
Figura 36. Configuración del hardware en el PLC TSX Micro 3722 001.	101
Figura 37. Caja de derivación TSX PACC 01.	106
Figura 38. Primera división del tablero de potencia.	118
Figura 39. Segunda división del tablero de potencia.	119
Figura 40. Tercera división del tablero de potencia.	120
Figura 41. Cuarta división del tablero de potencia.	121
Figura 42. Quinta división del tablero de potencia.	123
Figura 43. Sexta división del tablero de potencia.	123

Figura 44. Primera división del tablero de control.	124
Figura 45. Segunda división del tablero de control.	125
Figura 46. Tercera división del tablero de control.	126
Figura 47. Cuarta división del tablero de control.	127
Figura 48. Quinta división del tablero de control.	128
Figura 49. Tablero de potencia y control.	129
Figura 50. Control para el ancho de la cinta.	134
Figura 51. Patrón de radiación para el sensor del ancho de la cinta.	135
Figura 52. Respuesta del sistema con el controlador ON/OFF y diagrama de bloques del lazo de control.	136
Figura 53. Diagrama de bloques del lazo de control de temperatura en las zonas de calentamiento.	137
Figura 54. Lazo de control de temperatura para la malla filtro.	139
Figura 55. Función PID.	140
Figura 56. Función PWM.	144
Figura 57. Ajuste del PID en lazo abierto.	146
Figura 58. Diagrama de bloques – velocidad de fabricación.	150
Figura 59. Diagrama de bloques del controlador automático de peso.	154
Figura 60. Diagrama de bloques del sistema de control estadístico para la producción de tapas.	155
Figura 61. Topología de red.	157
Figura 62. Layout máquina de tapas VM002.	159
Figura 63. Algoritmo automático – manual.	163
Figura 64. Sintaxis de programación grafacet.	164

Figura 65. Lenguaje de contactos.

166

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Referencia de tapas.	36
Tabla 2. Descripción de fusibles UL y CSA.	83
Tabla 3. Base PLC (2 canales de comunicación – slot 0).	101
Tabla 4. Base PLC (8 entradas análogas – slot 0).	102
Tabla 5. Base PLC (1 salida análoga – slot 0).	102
Tabla 6. Base PLC (2 canales de contaje – slot 0).	102
Tabla 7. Módulo TSX DMZ 28AR (16 entradas - 120VAC – slot 1).	102
Tabla 8. Módulo TSX DMZ 28AR (12 salidas - 120VAC – slot 2).	103
Tabla 9. Módulo TSX DEZ 08A4 (8 entradas - 120VAC – slot 3).	103
Tabla 10. Módulo TSX DSZ 08T2 (8 salidas - 24VDC – slot 4).	104
Tabla 11. Módulo TSX AEZ 414 (4 entradas temperatura - slot 5).	104
Tabla 12. Módulo TSX AEZ 414 (4 entradas temperatura - slot 6).	104
Tabla 13. Módulo TSX DEZ 08A4 (8 entradas - 120VAC – slot 7).	104
Tabla 14. Consumo de energía por equipo para alimentar a 120 VAC.	110
Tabla 15. Consumo de energía por equipo para alimentar a 220 VAC.	112
Tabla 16. Consumo de energía por equipo para alimentar a 24 VDC.	114
Tabla 17. Consumo de energía por equipo para alimentar a 10 VDC.	115
Tabla 18. Consumo de energía por equipo para selección de breaker.	116
Tabla 19. Consumo de energía por equipo para selección del disyuntor.	117
Tabla 20. Conversión de temperatura.	131

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Nomenclatura para la termocupla de Melt.	40
Cuadro 2. Nomenclatura para la termocupla de malla cambia filtro.	42
Cuadro 3. Nomenclatura para termocuplas de las zonas 1, 2, 3 y 4.	44
Cuadro 4. Nomenclatura para termocupla del agua en la unidad de enfriamiento.	45
Cuadro 5. Nomenclatura para transmisor de presión de melt.	47
Cuadro 6. Resistencias totales.	68
Cuadro 7. Placa motoreductor troqueladora.	76
Cuadro 8. Placa motoreductor rueda de termoformado.	77
Cuadro 9. Descripción de objetos de lenguaje.	98
Cuadro 10. Tablas de palabras para programación.	99
Cuadro 11. Parámetros de la función PID.	141
Cuadro 12. Parámetros de la función PWM.	144
Cuadro 13. Coeficientes según Ziegler Nichols.	147
Cuadro 14. Análisis experimental en la máquina.	149
Cuadro 15. Convenciones P&ID.	162
Cuadro 16. Elementos del graficet.	165
Cuadro 17. Elementos del lenguaje de contactos.	166
Cuadro 18. Check list sensores.	222
Cuadro 19. Check list seguridades.	223
Cuadro 20. Inversión del proyecto.	227

GLOSARIO

1. Chiller (Unidad Enfriadora de Agua). La UEA opera mediante el ciclo de refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado. Para ello cuenta con cuatro (4) componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.
2. Extrusora. Máquina de transformación de materiales plásticos, en la que el material fluidificado circula por una hilera y a la salida se fuerza a través de un molde abierto para dar a este una sección transversal deseada.
3. HMI. La tarea de un HMI (Human Machine Interface – Interface Hombre Máquina) es hacer la función de una tecnología evidente en sí. Como un martillo bien diseñado cabe en la mano del usuario y hace una tarea física fácil, un HMI bien diseñado debe caber en la correspondencia mental del usuario para cumplir con la tarea que el desea realizar.
4. Melt. Estado fundido del poliestireno cuando sale de la extrusora.
5. Pellet. Pelotilla de Poliestireno.

6. Poliestireno. Materia termoplástica obtenida por polimerización del estireno.
7. Polímero. Compuesto químico de elevado peso molecular formado por una reacción que, a partir de moléculas de escasa masa molecular, forma, por enlaces de éstas, compuestos de masa molecular elevada.
8. Refilo. Material excedente en el proceso de troquelado (rebaba - scrap).
9. Termoformado. Es el proceso de calentar una lámina termoplástica al punto de ablandamiento y presionarla a través de un medio neumático contra un molde contorneado. Este medio neumático puede consistir en un vacío entre el plástico y el molde, el uso de aire comprimido para presionar el material contra el moldeo o una combinación de los dos. La facilidad del formado depende de las características del material, espesor máximo y mínimo y la posibilidad del material de mantener los gradientes de calor en su superficie. Los temas claves en el termoformado son el poder de control de la presión empleada, la forma del molde, la deformación unieje o bieje y la minimización de la variación del espesor.
10. Troquel. Molde para la estampación de tapas plásticas provisto de perímetro cortante para separar el material excedente.
11. Disco de Ruptura. Es un dispositivo de alivio de presión para sistemas cerrados que provee apertura instantánea a una presión predeterminada. Su función es proteger

frente a sobrepresiones a un sistema que pueda estar sujeto a presiones excesivas causadas por el mal funcionamiento del equipo mecánico, reacciones fuera de control, y fuegos internos o externos.

RESUMEN

TÍTULO.

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA MÁQUINA-2 DE TAPAS PLÁSTICAS DESECHABLES DE LA COMPAÑÍA AMBAR S.A – CARTAGENA.

AUTORES.

BABILONIA MÉNDEZ Oriel y CERVANTES RUEDA Alexander.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.

Diseñar el sistema de automatización para el proceso de fabricación de tapas plásticas desechables en la máquina-2 de la empresa Ambar S.A. mediante la implementación de estrategias de control continuo y secuencial e interfaces hombre máquina.

METODOLOGÍA.

Investigación aplicada y de desarrollo tecnológico a fin de integrar nuevas tecnologías que mejoren el proceso de producción de tapas plásticas mediante el uso de la mejor estrategia de control que permita además obtener un sistema con amplia flexibilidad.

RESULTADOS.

Al llevar a cabo este proyecto, se logró la automatización de una máquina de la compañía Ambar S.A. en la ciudad de Cartagena, capaz de fabricar hasta 200.000 tapas plásticas desechables por día, donde los resultados mínimos esperados eran de 150.000 tapas / día.

Esto fue posible mediante la implementación de un sistema que integra:

- Sensores de temperatura.

- Transmisores de presión.
- Sensores de punto fijo.
- Sensores fotoeléctricos e inductivos.
- Micro interruptores de posición.
- PLC
- Pantalla industrial (HMI)
- Variadores de velocidad.
- Motores.
- Bus de campo.

La utilización del bus de campo entre PLC, pantalla industrial y variadores permite obtener mayor información del sistema con lo que se facilita un mejor diagnóstico de todas las variables (temperatura, presión y velocidad) y equipos involucrados en el proceso. Este diagnóstico se traduce en mejores y mayores mensajes de alarma generados por el PLC e indicados en la interfaz hombre máquina conformada por la pantalla industrial y una baliza luminosa / sonora.

Implementar un PLC en el sistema facilita la gestión de las seguridades del sistema, controles secuenciales y lógicos, además del tradicional control realimentado utilizando funciones de PID.

DIRECTOR Y/O ASESOR.

Director. Ing. Jorge E. Duque. P.

Asesor. Ing. José R. Pabón M.

ANEXOS

Anexo A. Melt Bolt T/C, Fixed

Anexo B. Adjustable T/C, Bayonet or Compression.

Anexo C. Varidepth T/C, Armor.

Anexo D. Pressure Transducer.

Anexo E. Sensors SP300D for use with CM Series Modulated amplifiers.

Anexo F. Complete Switches XCK J10511.

Anexo G. Photoelectric sensors – Proximity sensors.

Anexo H. MCR Current transducer.

Anexo I. Presostatos tipo KPI.

Anexo J. Direct solenoid and solenoid pilot operated valves.

Anexo K. Solid State Relays (SSRs).

Anexo L. ALTIVAR 28 Adjustable Speed Drive Controllers.

Anexo M. ALTIVAR 58 Adjustable Speed Drive Controllers.

Anexo N. Bases de los autómatas TSX 37-21 y TSX 37-22.

Anexo O. Planos eléctricos.

Anexo P. Layout máquina de tapas VM002.

Anexo Q. Diagrama de instrumentación y proceso (P&ID).

Anexo R. Programa de PLC.

Anexo S. Manuales de operación y mantenimiento.

Anexo T. Requerimientos de los lazos de control de la planta de tapas rígidas.

0. INTRODUCCIÓN

La compañía Ambar S.A. ubicada en el sector industrial de Mamonal – Cartagena se caracteriza por el empleo del Poliestireno como materia prima para la elaboración de sus productos plásticos.

Dentro de su planta de vasos cuenta con dos máquinas para fabricar tapas plásticas:

- La máquina 1, se encuentra actualmente en operación y ha estado trabajando durante siete (7) años en forma continua con una capacidad de producción de ciento cincuenta mil (150.000) tapas por día.
- La máquina 2, fue almacenada a la intemperie en el momento de su adquisición, de tal forma que el paso de los años y el ambiente de la zona industrial de Mamonal provocó el desgaste corrosivo de las piezas y daños en los mecanismos.

Debido al aumento en la producción de vasos y ampliaciones en la planta, una sola máquina no es suficiente para cumplir con la demanda de tapas plásticas requeridas para dichos vasos. Es por ello que se hace necesario reacondicionar la máquina No. 2 con el fin de aumentar la producción de tapas en un 100%.

El proceso de reacondicionamiento de la máquina 2 comprende las siguientes etapas:

1. Modificaciones y ensamble de la estructura mecánica: por parte del Departamento de Mantenimiento mecánico de Ambar S.A., consistente en el levante, elaboración y reconstrucción de piezas que se encuentran en mal estado para asegurar que el funcionamiento de la máquina sea el adecuado.
2. Automatización: mediante la aplicación de la mejor estrategia de control involucrando sensores, actuadores y equipos de control que permitan registrar las tendencias de las variables ya sea por medio impreso o por históricos.

Esta etapa del proyecto se pudo realizar en forma paralela a la primera, para que esto se hiciera posible se tuvo permanente comunicación con el departamento de ingeniería mecánica encargado, además de un exhaustivo análisis del proceso. Fue indispensable estar al tanto de los cambios que la estructura mecánica sufriría y que de una u otra forma afectarían el diseño eléctrico o electrónico, de igual modo se informó oportunamente al departamento mecánico de los cambios eléctricos que afectarían los mecanismos, tal como la eliminación de un eje mecánico el cual transmitía movimiento a la rueda de termoformado y la troqueladora mediante un solo motor, en su lugar se colocaron dos moto reductores con las velocidades enclavadas.

Una vez hecho el análisis exhaustivo del proceso, se realizó una realimentación por parte del ingeniero y operadores del área de proceso, con base en los años de experiencia en el manejo de este tipo de máquinas, con el propósito de definir las

seguridades, alarmas y características de operación con las que debía trabajar la máquina de tapas. (Ver Anexo T.)

Teniendo toda esta información recopilada se procedió al diseño de la estrategia de control y selección de equipos, tarea en la que se requirió mucho análisis é investigación, para poder seleccionar los equipos más viables desde el punto de vista económico y operacional. La amplia gama de equipos seleccionados comprendió: sensores, transmisores, actuadores, cables, canaletas, reles de estado sólido, PLC, pantalla industrial, fusibles, breakers, transformadores, fuentes, bornas, módulos de adaptación de señales y variadores de frecuencia.

Al tener seleccionada la amplia gama de instrumentos y equipos a utilizar se diseño el tablero donde ubicar tanto los elementos de potencia como de control, con base en las dimensiones y espaciamientos mínimos recomendados por cada uno de los fabricantes, con las dimensiones del diseño se escogieron tableros en el mercado con dimensiones aproximadas a las requeridas, al realizar este paso se procedió con el ajuste del diseño a las medidas del tablero seleccionado.

3. Puesta en marcha: implica la realización de las diferentes pruebas que permiten evaluar los resultados a obtener como son: verificación de la comunicación entre dispositivos conectados a la red; encontrando PANTALLA INDUSTRIAL – PLC – VARIADORES, además comprobar que la lógica aplicada en el programa del PLC

funcione correctamente pudiendo observar esto en las seguridades de la máquina, las alarmas, sensores, controladores, etc...

La máquina 1 actualmente en funcionamiento realiza tapas de diferentes referencias las cuales terminadas se almacenan en bodega para poder cumplir con los pedidos hechos hasta el momento y los posteriores.

Se realizan nueve (9) referencias de tapas de las cuales se produce una sola referencia por vez y la rueda de termoformado cuenta con 12 moldes para ello. Al realizar el cambio de estos moldes y producir una nueva referencia de tapa, el operador emplea 3 horas aproximadamente, en este tiempo se detiene la máquina para realizar además limpieza del troquel y aseo antes de continuar con el proceso. El éxito de planta de vasos está en el aumento de la productividad de cada una de las líneas; evitando al máximo pérdidas por paradas de estas y generación de scrap.

El mantenimiento de la máquina 1 de tapas actualmente en funcionamiento se hace una vez por mes, fuera del general cuando hay cambio de moldes, este incluye engrase, cambio del agua de chiller y ajustes.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La fabricación de tapas plásticas desechables es una de las funciones de la planta de vasos, esta sección utiliza como materia prima el Poliestireno y Scrap (Refilo), los cuales entran en forma de pellets y molido respectivamente, a través del siguiente proceso llegan a ser convertidos en tapas plásticas para los vasos desechables.

La máquina utilizada para este propósito contiene cinco (5) partes fundamentales donde se realizan los respectivos tratamientos al Poliestireno.

1.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

Se hace necesario un sistema de alimentación que envíe la materia prima (producto prime y scrap) a una rata de 30Kg/Hora y con una relación prime:scrap definida por las condiciones de proceso, se cuenta con un equipo de la marca AUTOLOAD modelo 1555 ubicado sobre la tolva de la extrusora, este sistema utiliza aire comprimido para crear un vacío positivo mediante un eyector que succiona el producto prime de un carro y otro eyector succiona scrap del molino los cuales son enviados hacia la tolva de alimentación ubicada sobre la extrusora mediante un sistema de mangueras, cuenta con señales de alarma para alto y bajo nivel.

La relación prime:scrap es regulada en lazo abierto por medio de una unidad de control que dosifica las cantidades de aire aplicada a cada eyector.

1.2. EXTRUSORA.

Tiene un barril con 4 Zonas y sus respectivas resistencias de calentamiento, las cuales según especificaciones del manual del fabricante se ajustan 10°C por encima del punto de operación al momento del arranque, sin embargo, la práctica nos entrega valores entre 30 y 36°C por encima de este punto, quedando así: Zona 1 240°C , Zona 2 248°C , Zona 3 245°C y Zona 4 260°C . Las temperaturas necesarias en cada zona de calentamiento son definidas por el proceso teniendo presente características como: tipo de material a extruir, color y consistencia.

Las temperaturas son bajas en el extremo de la alimentación y aumentan gradualmente hacía la boquilla. El factor importante es la temperatura del poliestireno, la cual rara vez incrementa las temperaturas indicadas por los registradores cuando los ciclos son rápidos. A la inversa, ciclos largos requieren que las resinas se prevengan de un sobrecalentamiento bajando todas las temperaturas de las zonas, por lo tanto, la misma resina puede ser moldeada sobre un rango de temperatura de 176°C a 260°C dependiendo del ciclo total y de la temperatura admisible en el molde.

Alcanzados estos valores de temperatura el Poliestireno puede fluir libremente por el barril, el tornillo sin fin en el interior de la extrusora gira a 10 RPM. , velocidad con la que comienza a aumentar la presión en el barril de la extrusora hasta lograr entre 2200 psi y

2500 psi, si por algún motivo la presión alcanza valores de 5000 psi la extrusora está equipada con un disco de ruptura que se rompe con el fin de evacuar el producto y evitar daños a personas o la máquina.

Cuando el producto alcanza el final de la zona 3 pasa por una malla filtro con el propósito de filtrar material extraño y agregados de plásticos sin fundir. Si este filtro está sucio se procede con el cambio en forma manual, para poder realizar esta labor la máquina debe estar detenida.

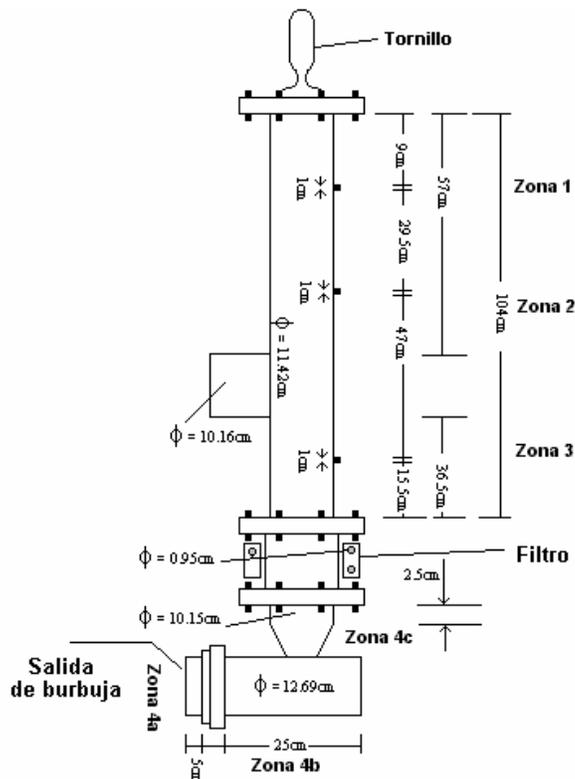
Las resistencias de calentamiento de la malla deben estar activas para facilitar el corrimiento de esta, debido a que en los puntos del cabezal de la extrusora por donde entra y sale la malla, se acumula producto. El valor de temperatura en el que ajustan las resistencias de calentamiento para el cambio de filtro es de 200° C.

En estos puntos de entrada y salida en el cabezal de la extrusora se encuentran las tuberías por donde circula el agua de enfriamiento que actúa como sello cuando la máquina esta en funcionamiento para evitar el derrame del producto, por lo tanto la válvula de la entrada de agua debe estar cerrada en el momento del cambio de filtro.

En el momento que se alcanza la presión de 2200 psi o 2500 psi se ajustan las temperaturas de operación en las zonas de calentamiento: Zona 1 208° C, Zona 2 213° C, Zona 3 210° C y Zona 4 224° C. (Ver Figura 1.)

Cuando el Poliestireno ha alcanzado la zona 4 con una temperatura alrededor de 200° C obtiene un estado fundido comúnmente llamado melt, y a través de la boquilla que se encuentra a la salida de la zona 4 este sale en forma de tubo con el extremo cerrado por los rodillos descritos a continuación. A esta forma de tubo se le denomina burbuja.

Figura 1. Barril de la extrusora.



1.3. RODILLOS.

Luego de que el Poliestireno es sometido a altas temperaturas, a la salida de la extrusora se obtiene una burbuja en forma cilíndrica y por medio de un sistema de rodillos que giran a 16 mts/min. es convertida en cinta, el ancho de la cinta debe ser ajustado mediante un sistema automático de inyección de aire en el cabezal de la

extrusora (zona 4), este sistema deberá soportar altas temperaturas ya que la cinta sale de la extrusora aproximadamente a 200° C.

1.4. RUEDA DE TERMOFORMADO.

Seguidamente la cinta es colocada en la rueda de termoformado que previamente ha tenido un ajuste de 110 r.p.m, en este punto la cinta adquiere la forma del molde de acuerdo a referencias preestablecidas (Ver Tabla 1.). Esto es posible gracias al sistema de compresión y vacío en los moldes, el molde superior expulsa aire en el momento del cierre y el inferior succiona, obligando así que la cinta tome la forma del molde.

Las razones por las que se prefiere el uso de termoformado de tapas plásticas desechables son las siguientes:

- El proceso por compresión permite utilizar materias primas con un bajo índice de fusión, confiriendo a los productos mejores características físicas y mecánicas.
- Al ser la temperatura más baja que en el sistema por inyección el material experimenta un choque térmico menos acentuado.
- El proceso por compresión presenta menos incógnitas y proporciona resultados más constantes: las desviaciones con respecto a los niveles de calidad esperados son muy reducidas, garantizando la mejor consistencia del producto.
- Los productos no tienen punto de inyección, por eso mejoran su estética.

- El control del proceso es sencillo y fácil de automatizar.

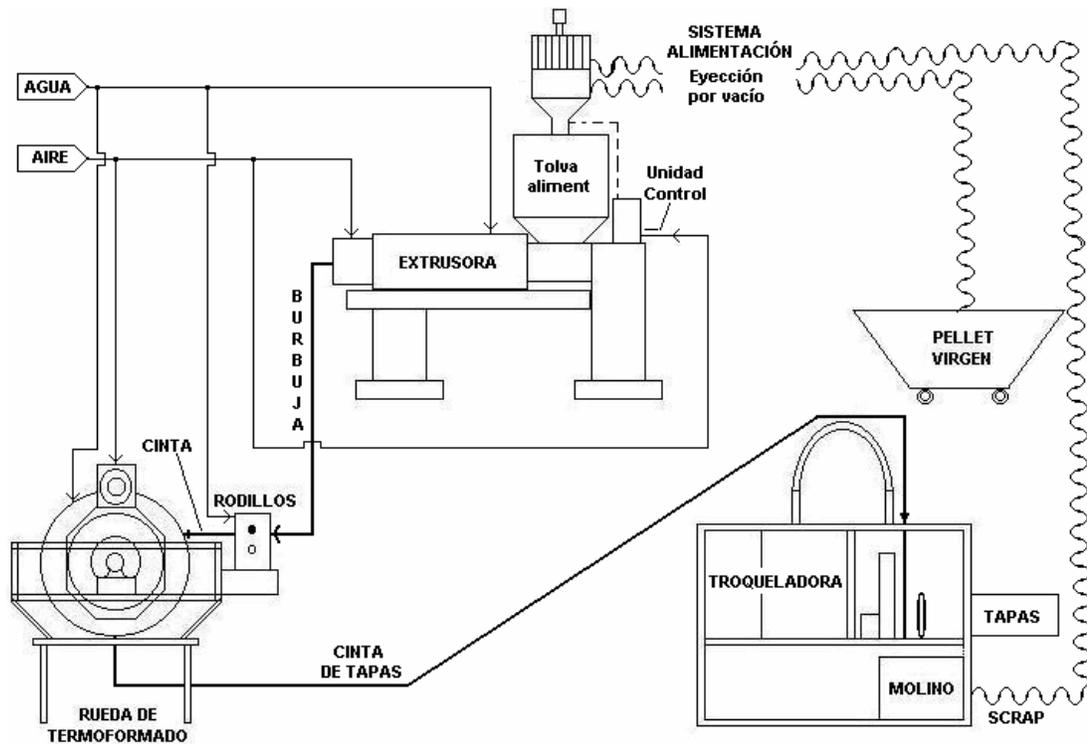
Tabla 1. Referencias de tapas

REFERENCIA	PESO	AGUJERO	COMPATIBILIDAD
D690402TN	1.4		Vaso 4 Oz
D690602TN	1.6		Vaso 6 Oz y Contenedor 4 Oz
D690802TN	1.8		Vaso 8 Oz
D691002TN	2.2		Vaso 10 Oz
D691201TG	2.3		Vaso 12 Oz y Contenedor 6 Oz
D691402TN	2.5	X	Vaso 14 Oz / 16 Oz y Contenedor 8 Oz
D691601TG	2.8	X	Vaso 16 Oz y Contenedor 12 Oz
D692002TN	2.6		Vaso 20 Oz
D693202TN	4.2	X	Contenedor 16 Oz /24 Oz /32 Oz

1.5. TROQUELADORA.

La cinta de tapas termoformada pasa a un sistema de troquelado donde se obtiene la tapa completamente terminada. En el proceso de troquelado la cinta pasará por un sistema de conteo para control estadístico. El scrap (refilo) es realimentado al proceso a través de uno de los eyectores del sistema de alimentación después de haber pasado por el molino. (Ver Figura 2.)

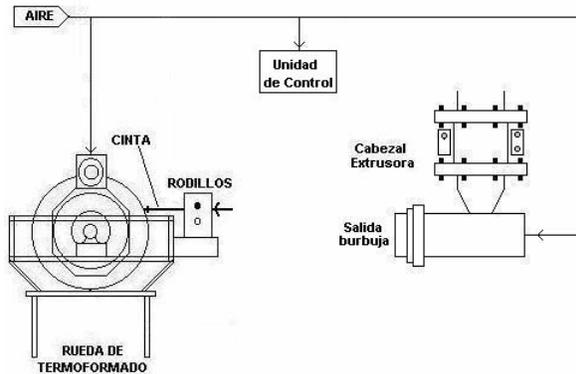
Figura 2. Diagrama de proceso.



También es importante considerar las utilidades de la máquina, como son:

1. Aire comprimido: Este es utilizado a 70 Psi; es aplicado a la rueda de termoformado para causar el efecto de compresión y vacío en los moldes, en el cabezal de la extrusora para mantener la burbuja con un tamaño constante y cilíndrico. Además el aire también es aplicado a la unidad de control del sistema de alimentación de materia prima, la cual dosifica cantidades de aire para producto virgen y scrap mediante dos eyectores. (Ver Figura 3.)

Figura 3. Utilidad de aire.



2. Agua de chiller (Unidad enfriadora de agua): Es utilizada a 30 Psi y 35° C para: crear sellos que impidan el derrame del Poliestireno fundido (melt) en la extrusora y en la malla filtro a la salida de la extrusora, enfriar los moldes en la rueda de termoformado y evitar calentamiento de los rodillos.

Se debe asegurar que se manejan todas las alarmas, registros e indicadores necesarios para garantizar que el proceso este controlado en su totalidad. De esta forma la máquina operará en condiciones normales. Bajo estas condiciones el operador toma muestras de tapas plásticas terminadas desde ese momento cada hora, para verificar que se cumpla con los parámetros de peso establecido y estándares de calidad de acuerdo a las referencias.

2. SELECCIÓN DE EQUIPOS.

2.1. SENSORES Y TRANSMISORES.

Al automatizar un proceso es indispensable el uso de elementos que nos brinden información acerca del estado de las variables involucradas en el proceso, teniendo conocimiento de esta información es posible compararla con una referencia y responder al sistema con una acción correctiva. Los sensores y transmisores realizan esta función en conjunto con los actuadores y controladores permitiendo mantener las variables que se requieran en condiciones superiores a las que un operario podría efectuar.

2.1.1. Termocupla de melt.

- Requerimientos: Esta termocupla debe medir la temperatura del producto dentro del barril de la extrusora directamente, como se encuentra en contacto directo con el producto, soportará altas presiones en este caso 3000 psi, además de trabajar en el rango de los 200° C.

- Selección: Comercialmente la termocupla que nos ofrece este tipo de características es la termocupla de tipo Melt Bolt (Ver Figura 4) y se usa en extrusoras o en máquinas de moldeo por inyección. La punta inmersa en el melt habilita directamente la indicación de temperatura, a diferencia de las termocuplas del barril que no se encuentran en contacto directo con el producto, las de tipo Melt Bolt soportan presiones que se encuentran en el orden de los

15000 psi, y solo son fabricadas tipo J, ya que las tipo J son las más adecuadas para rangos de temperatura en la industria del plástico, trabajan de -260 a 760° C, poseen buen rendimiento a bajas temperaturas y son económicas.

Por estos motivos se seleccionó una termocupla Melt Bolt tipo J de la marca BARBER COLMAN (Ver Anexo A.) referencia **P 01 1 - 41 3 03 - 120 - 1 - 05** cuya nomenclatura se describe a continuación. (Ver Cuadro 1.)

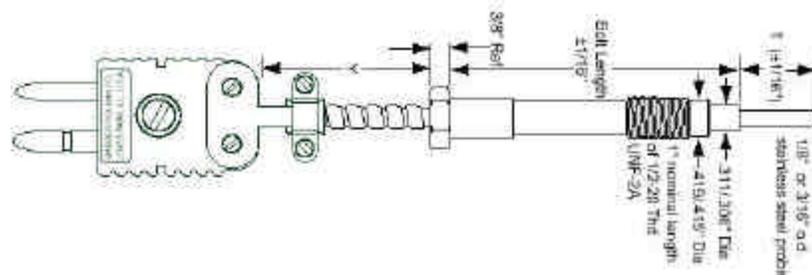
Cuadro 1. Nomenclatura para la termocupla de Melt.

Model No. P - - - **1** -

Field No. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Material	P	Plástico
Tipo de Termocupla	01	Tipo J, aislamiento en fibra de vidrio, cable No. 20.
Número de elementos	1	Sencillo.
? tubo de protección, Estilo de juntura	41	1/8" ? , Extremo cerrado, aterrizado.
Código bloque de conexión isotérmico	3	Punta sólida plug desconexión rápida.
Longitud L	03	3"
Dimensión Y	120	120"
Estilo de termocupla	1	Melt Bolt
Dimensión T	05	1/2"

Figura 4. Termocupla estilo Melt Bolt P011-41303-120-1-05



2.1.2. Termocupla de malla cambia filtro.

- Requerimientos: Esta termocupla debe medir la temperatura de los sellos en la malla filtro directamente en el momento que se active el controlador, como se encuentra en el cabezal de la extrusora debe trabajar en el rango de los 200° C que es la temperatura a la que se funde el Poliestireno para permitir el corrimiento manual de la malla, el orificio donde esta termocupla debe sensar la temperatura posee un diámetro de $\phi = 0.5\text{cm}$, y es de forma tubular.

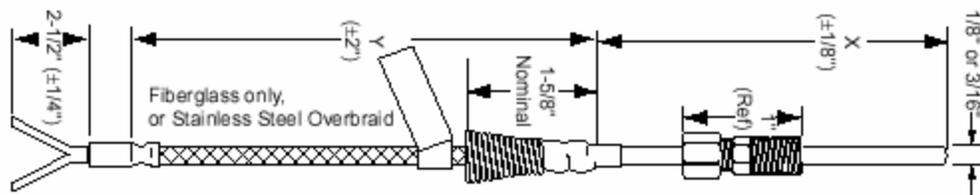
- Selección: Se pueden reunir todos los requerimientos anteriores en las termocuplas estilo tubo rígido (Ver Figura 5.) que son ocasionalmente usadas cuando no se requiere cierto grado de flexibilidad. Los procesos de montaje son iguales, entran a presión, el cable de termocupla es duplex aislado, índices de temperatura de 483° C. Las termocuplas para este fin de tipo J son las más adecuadas para rangos de temperatura en la industria del plástico, además se tiene en cuenta el valor de temperatura a medir (200° C).

Por lo anterior se seleccionó una termocupla Tubo rígido tipo J de la marca BARBER COLMAN (Ver Anexo B.) referencia P 01 2 – 31 3 03 – 120 – 0 cuya nomenclatura se describe a continuación. (Ver Cuadro 2.)

Cuadro 2. Nomenclatura para la termocupla de malla cambia filtro.

Material	P	Plástico
Tipo de Termocupla	01	Tipo J, aislamiento en fibra de vidrio, cable No. 20.
Número de elementos	2	Sencillo con tubo a 90° de curvatura.
? tubo de protección, Estilo de juntura	31	3/16" ? , Extremo cerrado, aterrizado.
Código bloque de conexión isotérmico	3	Punta sólida plug desconexión rápida.
Longitud X	03	3"
Dimensión Y	120	120"
Estilo de termocupla	0	Tubo rígido sin conector

Figura 5. Termocupla tubo rígido P012-31303-120-0



2.1.3. Termocuplas de las Zonas 1, 2, 3 y 4.

- Requerimientos: Estas termocuplas deben medir las temperaturas en el barril de la extrusora trabajando en el rango de los 200° C a 250° C, no poseen contacto directo con el producto. Debido al diseño mecánico del termo pozo estas termocuplas se ajustan con profundidad variable en el barril de la extrusora.

□ Selección: Para este propósito se seleccionan termocuplas tipo Varidepth (Ver Figura 6.) o de profundidad variable, este término es utilizado para las termocuplas ajustables a la profundidad de inmersión; de acuerdo al diámetro del barril de la extrusora el pozo varia en profundidad. El cable de la termocupla se encuentra protegido por un tubo metálico en forma de espiral, el cual cumple dos funciones:

1. Proteger el cable de la termocupla.
2. Servir de tornillo al tope de cierre que se ajusta al adaptador de pozo.

Este sistema mecánico permite que la termocupla se adapte a la profundidad del pozo. La punta de prueba de la termocupla queda inmersa en el pozo, que hace parte de la pared exterior del barril, asegurando rápida transferencia de calor a la termocupla. Este tipo de termocupla esta disponible en tipo J y K, la máxima temperatura es de 400° C. Se selecciona tipo J ya que son las más adecuadas para rangos de temperatura en la industria del plástico.

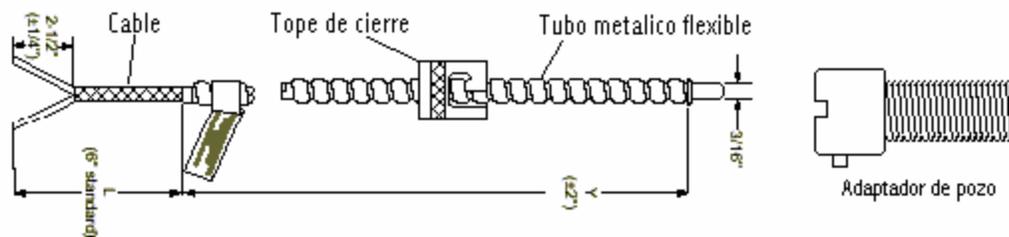
Por lo anterior se seleccionó una termocupla estilo Varidepth tipo J de la marca BARBER COLMAN (Ver Anexo C.) referencia P 01 1 - 33 3 00 - 120 - 6 - 00 cuya nomenclatura se describe a continuación. (Ver Cuadro 3.)

Cuadro 3. Nomenclatura para termocuplas de las zonas 1, 2, 3 y 4.

Model No. P □ □ □ - □ □ □ 0 0 - □ □ □ - 6 - 0 0
 Field No. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Material	P	Plástico
Tipo de Termocupla	01	Tipo J, aislamiento en fibra de vidrio, cable No. 20.
Número de elementos	1	Un elemento.
Tipo de juntura	33	Extremo cerrado, aterrizado.
Código bloque de conexión isotérmico	3	Punta sólida plug desconexión rápida.
Reservado	00	***
Dimensión Y	120	120"
Estilo de termocupla	6	Varidepth
Reservado	00	***

Figura 6. Termocupla estilo Varidepth P011-33300-120-6-00.



2.1.4. Termocupla del agua en la unidad de enfriamiento.

- Requerimientos: Esta termocupla debe medir la temperatura en el agua del chiller (unidad de enfriamiento) en el rango de los 30° C a 35° C, esta en contacto directo con el agua. La temperatura debe ser visualizada en dos puntos:
 1. En un controlador que se encuentra en la misma unidad de enfriamiento.
 2. En la pantalla industrial HMI.

La termocupla quedará instalada en una bandeja que contiene el agua, y se encuentra en el interior del chiller.

- Selección: Para esta aplicación se seleccionó una termocupla tipo Varidepth (Ver Figura 6.) o de profundidad variable, este término es utilizado para las termocuplas ajustables a la profundidad de inmersión. Esta termocupla es de doble juntura a fin de poder enviar el valor de temperatura al PLC y al controlador del chiller. Se selecciona tipo J ya que posee buen rendimiento a bajas temperaturas.

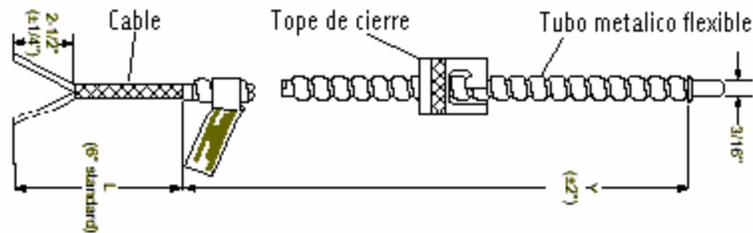
Por lo anterior se seleccionó una termocupla Varidepth tipo J de la marca BARBER COLMAN referencia P 02 4 - 35 0 00 - 079 - 6 - 00 cuya nomenclatura se describe a continuación. (Ver Cuadro 4.)

Cuadro 4. Nomenclatura para termocupla del agua en la unidad de enfriamiento.

Model No. P □ □ □ - □ □ □ 0 0 - □ □ □ - 6 - 0 0
 Field No. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Material	P	Plástico
Tipo de Termocupla	02	Tipo J, aislamiento en fibra de vidrio, cable No. 24.
Número de elementos	4	Dos elementos.
Tipo de juntura	35	Extremo cerrado, No aterrizado.
Código bloque de conexión isotérmico	0	Punta sólida plug desconexión rápida.
Reservado	00	***
Dimensión Y	079	79"
Estilo de termocupla	6	Varidepth
Reservado	00	***

Figura 6. Termocupla estilo Varidepth P024-35000-079-6-00



2.1.5. Transmisores de presión de melt.

- Requerimientos: Estos transmisores deben medir presiones en el rango de 0 psi a 3000 psi; al igual que la Termocupla de temperatura de melt, se encuentran en contacto directo con el producto a temperaturas en el rango de 250° C, se tiene en cuenta el espacio físico donde serán instalados, limitado por las bridas cuyo espesor es de 1 1/2" y un diámetro de 9". Entre los requerimientos de proceso se tiene en cuenta el referente a la indicación de sucio en la malla filtro cuando la máquina esta en operación, para la selección de los dos transmisores.

- Selección: Se seleccionan dos transmisores (Ver Figura 7.) capaces de medir presiones hasta de 10000 psi, su principio de funcionamiento es de diafragma piezorresistivo de acero inoxidable, este diafragma es una de la 4 resistencias del puente de wheatstone el cual puede ser excitado con una señal de 10 V, al ser ejercida la presión en el elemento sensor se produce una deformación mecánica en el diafragma, el cual cambia su coeficiente de resistividad lo que provoca a su

vez un cambio en el voltaje de salida del puente, como resultado final se obtiene una señal de 4 a 20mA.

El diámetro máximo del transmisor es de 5/8” y una longitud de 9”, lo que permite su instalación en la brida; la máxima temperatura admisible por el transmisor es de 370° C y la del producto 200° C.

La detección de sucio en la malla filtro, es posible mediante la colocación de un sensor de presión antes del filtro y otro después. Cuando el filtro esta sucio, la diferencia de presión aumenta, posibilitando la detección en forma indirecta del sucio en la malla.

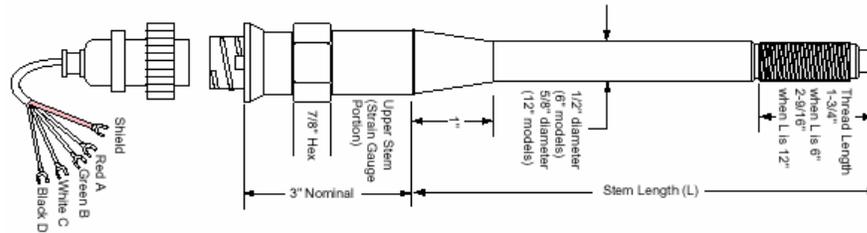
El transmisor seleccionado es de marca *Barber Colman* (Ver Anexo D.) cuya referencia es: *TD10-00511-000-0-03* y se describe a continuación (Ver cuadro 5.)

Cuadro 5. Nomenclatura para transmisor de presión de melt.

Model No. TD □ 0 - 0 □ □ 1 □ - 0 0 0 - 0 - □ □
 Field No. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Modelo base	TD10	Transductor de presión
Reservado	0	***
Rango de presión	05	0-10000 psi
Reservado	1	***
Dimensión L	1	6”
Reservado	000	***
Reservado	0	***
Especial	03	Longitud de cable especial

Figura 7. Transmisor de presión de Melt TD10-00511-000-0-03



2.1.6. Sensor óptico para el ancho de cinta.

- **Requerimientos:** Se necesita para este propósito un sensor que detecte un objeto de color blanco en movimiento, en este caso la cinta de termoformado, a una distancia de actuación entre 100mm y 200mm. Debe soportar temperaturas alrededor de 50° C, debido a su cercanía a la burbuja que tiene una temperatura de 200° C aproximadamente, aunque esta temperatura baja 15° C al pasar la cinta por los rodillos, debido al agua de enfriamiento que circula dentro de estos. Además debe soportar altas vibraciones ya que los rodillos se encuentran localizados en la misma estructura de la rueda de termoformado. El campo de sensibilidad debe ser entre 0.2” y 1” para mejor detección.
- **Selección:** De acuerdo a los requerimientos mencionadas se selecciona un sensor óptico (Ver Figura 8.) por la distancia a la que se necesita detectar el objeto, el sensor seleccionado posee las siguientes características:

 - Totalmente encapsulado en su construcción, esto le brinda mayor grado de protección y resistencia a altas vibraciones.

- Lente de vidrio herméticamente sellado, con esto se elimina toda posibilidad de condensación interior, permitiendo así, que no se afecte la detección con los vapores que salen de distintos puntos de la máquina.
- *Modo de sensar y rango:* Difuso, con emisor y receptor alojados en la misma estructura, especialmente diseñado para detección a proximidad de materiales por medio de emisión infrarroja de 880nm. (Poder de reflexión de 90% sobre objetos blancos), 300mm de alcance ajustable. La duración del pulso depende del tiempo de permanencia del blanco frente al haz infrarrojo. (Ver Figura 9.)
- *Presentación:* Sensor en aluminio anodizado, más el modulo de adecuación de la señal en salida a rele.
- *Rango de temperatura de operación:* -40 a +80° C
- Referencia de acuerdo al catálogo de sensores BANNER (Ver Anexo E.):
SP300D

Figura 8. Sensor óptico SP300D

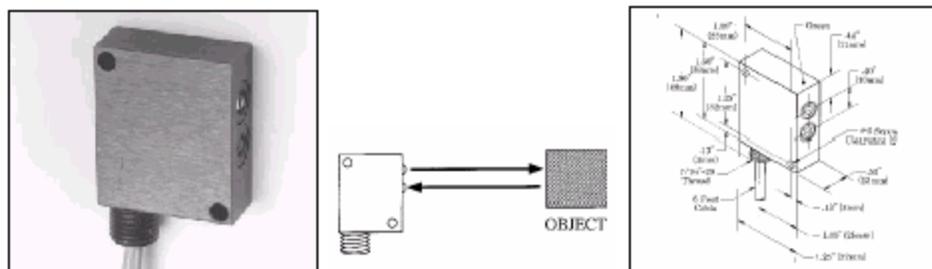
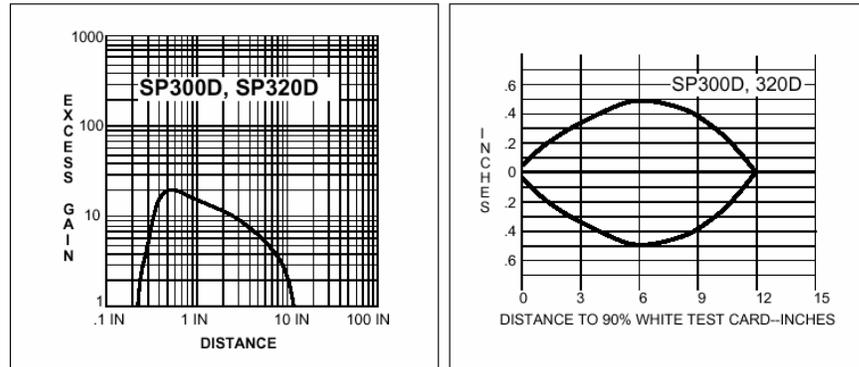


Figura 9. Patrón de radiación sensor



2.1.7. Micro interruptores para la guaya, el aire en la rueda y puertas de la troqueladora.

- Requerimientos: Debido a que se hace necesario el mando o enclavamiento de maniobras en ciertas operaciones en la máquina, se recurre a unos aparatos auxiliares denominados en general, contactos de mando mecánico o, también, detectores de posición; también se los conoce como interruptores de fin de carrera que se utilizan de la siguiente manera:
 - Micro interruptor guaya. En la rueda de termoformado el operador cuenta con una guaya que le permite realizar parada de emergencia y detección de rompimiento de molde.
 - Micro interruptor aire. Además del anterior, en la rueda de termoformado se detecta por medio de un pistón la entrada o falla de aire.
 - Micro interruptor puertas troqueladora. Asegura que al abrir las puertas de la troqueladora se produzca parada de la máquina para seguridad del operador.

- Selección: Con base en estas características, se recurre en el diseño a la selección de estos aparatos de la marca Telemecanique (Ver Anexo F.) con referencia según catálogo XCK J10511 (Ver Figura 10.), este interruptor de posición con cuerpo metálico fijo y con palanca / roldana termoplástica se usa fin de brindar una protección adicional en la operación de la máquina, además de las paradas de emergencia.

Figura 10. Micro interruptor XCK J10511.



2.1.8. Sensores ópticos para la presencia de cinta y acumulamiento de cinta.

- Requerimientos: De acuerdo a las necesidades del proceso, se utilizarán dos sensores:
 1. Detección de cinta presente en la troqueladora: Este sensor debe trabajar en conjunto con un detector de proximidad inductivo, para asegurar que el contador de tapas se incremente solo cuando sea detectada la cinta. Se debe tener en cuenta que la cinta a detectar es de color blanco, y que el sensor permita un ajuste de sensibilidad entre 100 mm y 300mm por la distancia a la cual detectará la cinta.

2. Acumulamiento de cinta: Este sensor que trabaja en serie con el limit switch para el acumulamiento de cinta, se utilizará para asegurar que la cinta al salirse de la guía en la troqueladora no se acumule, detenga la producción, y por lo tanto se reduzca la producción de scrap.

Conserva los mismos requerimientos que el primer sensor en cuanto a distancia y color del objeto a detectar.

- Selección: Se seleccionaron detectores fotoeléctricos de tipo Autoreflex (Ver Figura 11.), debido a las distancias en las que se detecta la cinta. Además, los sensores Autoreflex no requieren barrera para su funcionamiento.

En su presentación poseen rosca M18 (18 mm x 1.5mm), cuerpo metálico, alimentación en corriente alterna o continua (20...264 VAC/VDC) y salida estática. Marca Telemecanique con referencia según catálogo XU8 M18MA230. (Ver Anexo G.).

Figura 11. Detector fotoeléctrico XU8 M18MA230



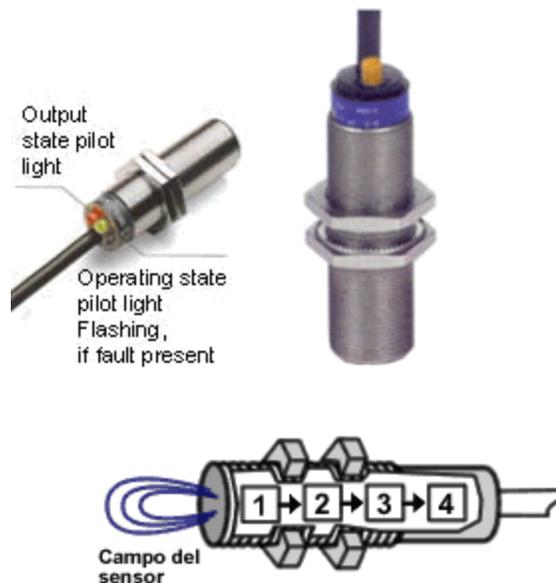
2.1.9. Detector de proximidad inductivo.

- Requerimientos: Este sensor será utilizado en el sistema de control estadístico para contar los ciclos de máquina (2Hz) en la troqueladora y registrarlos en el

contador (PLC), trabaja en conjunto con el sensor óptico de presencia de cinta. Debe ser inductivo porque el material del troquel es acero, con una distancia de detección entre 1 mm y 5 mm.

- Selección: Se selecciona un sensor con alimentación de 24...240VAC / 24...210VDC, 2 Hilos – los dos cables constituyen el elemento de conmutación mismo (Ver Figura 12.). La distancia de detección es de 5mm, suficiente por su cercanía a la pieza de acero en la troqueladora; salida estática normalmente abierta. Marca Telemecanique, referencia según catálogo XS1 M18MA250. (Ver Anexo G.).

Figura 12. Detector de proximidad inductivo XS1 M18MA250



Parte interna de un detector de proximidad inductivo.

1. Carrete: Emite frecuencia de radio generada por el oscilador.
2. Oscilador: Necesita energía para mantener las corrientes en la lámina de metal.
3. Circuito disparador: Capta cuando el oscilador se detiene y entonces cambia el estado del switch.
4. Switch: Para controlar la carga.

2.1.10. Interruptor de final de carrera para el acumulamiento de cinta.

- **Requerimientos:** Utilizado en serie con el sensor óptico de acumulamiento de cinta para asegurar que cuando la cinta se salga de la guía haga contacto con una extensión de metal y se active para detener la máquina, además debe soportar altas vibraciones ya que se encuentra localizado en la troqueladora. La extensión donde se produce el contacto debe ser capaz de accionar el dispositivo en todos los sentidos (arriba, abajo, izquierda, derecha, atrás y adelante).

- **Selección:** Según los requerimientos, teniendo en cuenta los 30 millones de ciclos que posee el dispositivo y la característica de poder trabajar en ambientes adversos sometidos a vibraciones, en conjunto con el sensor óptico de acumulamiento de cinta, brinda a la máquina mayor eficiencia y confiabilidad para la reducción de scrap. Se seleccionó de la marca Telemecanique con referencia según catálogo XCK M106. (Ver Figura 13.).

Figura 13. Interruptor de final de carrera XCK M106.



2.1.11. Convertidores de corriente-corriente.

- **Requerimientos:** Se requiere sensar las corrientes de carga de las resistencias de calentamiento en el rango de 1.31 - 4.9 A, generar alarmas de mal funcionamiento en las zonas de calentamiento, en este caso haciendo uso de un PLC, para ello se necesitan módulos para adaptar y convertir las señales de potencia en señales de control normalizadas 0 – 10 V, 0 – 20 mA o 0 – 4 mA.. Además, en casos donde encontramos termocuplas como elemento sensor, se deben utilizar dispositivos para brindar mayor inmunidad al ruido a las señales provenientes de estas, las cuales se encuentran en el orden de milivoltios.

- **Selección:** Teniendo en cuenta que se requieren sensar señales de corrientes de los circuitos de calentamiento en el rango de 1.31 - 4.9 A, además la señal de temperatura en el agua del Chiller, se seleccionó el Módulo Convertidor para la técnica de Regulación de la marca Phoenix Contact (Ver Anexo H.) de referencia MCR-S10/U/I-4 para corriente (Ver figura 14.) y el de referencia MCR-TC-J|-1000|+1000|C|0|-|E para temperatura.

Principio

Con un sensor Hall se mide la corriente y al mismo tiempo se aísla galvánicamente de la señal de salida. La energía auxiliar se aporta al módulo directamente, o bien, separada galvánicamente a través de un convertidor DC/DC integrado. En los convertidores de corriente de 5A y 10A las conexiones de los conductores activos se efectúan mediante conexión por tornillo enchufable.

MCR Módulos acopladores térmicos para termopares J y K

El circuito de entrada amplifica las señales mV del termopar conectado. La señal de tensión que se obtiene se enlaza con una señal de punto frío generada electrónicamente. El circuito de salida convierte la señal de tensión que se genera y la pone a disposición como señal analógica normalizada.

MCR Módulos acopladores de corriente.

Mediante la conexión en los bornes de entrada (MCR-S-1/5-...-DCI), o mediante la inserción en bucle del conductor portador de corriente en el convertidor de corriente (MCR-S-10/50-...-DCI), se origina un campo magnético en un núcleo anular. La densidad de flujo magnético se capta mediante la ayuda de un sensor de reverberación y se convierte proporcionalmente a la corriente de entrada en una tensión (tensión Hall). Un convertidor de valor efectivo real post-conectado facilita la medición de corrientes continuas, alternas y distorsionadas. Para preparación posterior, la señal se amplifica y se entrega proporcionalmente a la salida como señal analógica.

Figura 14. Convertidor de corriente – corriente MCR



2.1.12. Presóstatos.

- **Requerimientos:** Se requieren dispositivos para generar las señales de alarma por baja presión de agua y baja presión de aire, 15 psi y 40 psi respectivamente, además se debe tener en cuenta que los diámetros son: de 1” para aire y de 1” para agua en las tuberías.

- **Selección:** Teniendo en cuenta que el tipo de fluido es agua y aire en este caso, se seleccionaron Presóstatos de la marca Danfoss (Ver Anexo I.) con referencia KPI 35 060-3164 (Ver figura 15.), cuyas principales características son:
 - Ideales para trabajar con gases y líquidos.
 - Gama de regulación entre -0.2 bar → 8 bar.
 - Material de contactos en oro.
 - Tipo cilindro para ajuste a diferentes diámetros de tuberías.

Principio.

Sensores de presión de punto fijo que poseen diversas configuraciones mecánicas y eléctricas, algunos poseen ciclo de histéresis; los más utilizados a nivel industrial están formados por una cápsula, cilindro o placa de naturaleza elástica con cuerpos ondulados en comunicación con el espacio de medida y que se deforman bajo la acción de una sobre presión o depresión causando el cierre o apertura de un contacto.

Figura 15. Presóstato KPI 35 060-3164.



2.2. ACTUADORES.

Los actuadores son los elementos finales de control que reciben la señal del controlador y hacen modificaciones sobre la variable manipulada. Encontramos entre otros: válvulas, motores, relés, etc...

2.2.1. Válvula solenoide.

Una Válvula Solenoide, es una válvula controlada por señales eléctricas que se abre para permitir la circulación o cierre de un fluido.

Consta de dos partes:

- 1- El cuerpo de la válvula por la cual circula el fluido.
- 2- El actuador (bobina) que activa el cierre y apertura de la válvula

Las válvulas solenoides normales están equipadas con un control de neutralización manual. Opcionalmente, es posible equiparlas con limitadores de control de velocidad, que se instalan en las compuertas de escape.

- Requerimientos: Para propósitos del control ancho de cinta ON / OFF, es necesario el uso de una válvula solenoide, que permite o impide la inyección de aire a la burbuja. Se debe tener en cuenta el tipo de fluido (aire) y condiciones de operación tales como: Temperatura (50° C), vibraciones y tiempo de conmutación de la válvula (4 seg. aprox.).

- Selección: Se selecciona la válvula 225B111CAAA (Ver Figura 16.) de la marca MAC para este fin, de tipo universal, con tiempos de apertura y cierre entre 3 - 13 ms, temperatura de operación de -18 a 60 ° C, operable sobre aire, vacío o gases inertes, con diámetros de tubería de ¼” para la entrada y salida de aire. (Ver Anexo J.).

Figura 16. Válvula solenoide 225B111CAAA.



2.2.2. Relés de estado sólido.

- Requerimientos: Para realizar el control de temperatura en las zonas de calentamiento y la malla filtro se hace necesario el uso de un elemento de conmutación que sirva de actuador.

Los criterios para definir las especificaciones se basan en el cálculo de las corrientes de los circuitos de calentamiento que se encuentran a continuación, y el voltaje de control enviado desde el PLC, el cual es de 24VDC.

Nota: Los valores a lado de cada resistencia corresponden a las especificaciones del fabricante sin embargo, en los circuitos de calentamiento (Ver Figuras 17 y 18.) están operando a 230 VAC.

Cálculo de las corrientes en la Zona 1

Teniendo en cuenta que:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

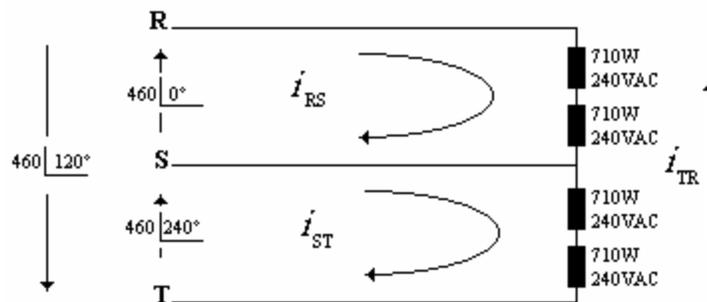
$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{240^2}{710} = 81.12\Omega$$

Este cálculo resistencia se utiliza para la zona 1, zona 2 y zona 3

Figura 17. Circuito de calentamiento de zona 1.



$$i_{RS} = \frac{460\angle 0^\circ}{2(81.12)} = 2.83\angle 0^\circ \text{ A}$$

$$i_{TR} = \frac{460\angle 120^\circ}{4(81.12)} = 1.42\angle 120^\circ \text{ A}$$

$$i_{ST} = \frac{460\angle 240^\circ}{2(81.12)} = 2.83\angle 240^\circ \text{ A}$$

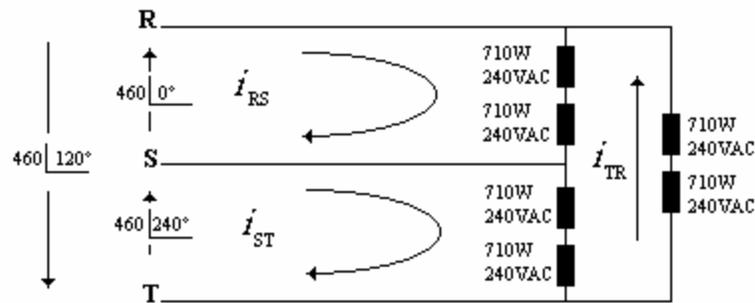
$$i_R = i_{RS} - i_{TR} = 2.83\angle 0^\circ - 1.42\angle 120^\circ = 3.7\angle -19.15^\circ \text{ A}$$

$$i_S = i_{ST} - i_{RS} = 2.83\angle 240^\circ - 2.83\angle 0^\circ = 4.9\angle -150^\circ \text{ A}$$

$$i_T = i_{TR} - i_{ST} = 1.42\angle 120^\circ - 2.83\angle 240^\circ = 3.7\angle 79.15^\circ \text{ A}$$

Cálculo de las corrientes en la Zona 2.

Figura 18. Circuito de calentamiento de zona 2.



$$i_{RS} = \frac{460\angle 0^\circ}{2(81.12)} = 2.83\angle 0^\circ \text{ A}$$

$$i_{TR} = \frac{460\angle 120^\circ}{2(81.12)} = 2.83\angle 120^\circ \text{ A}$$

$$i_{ST} = \frac{460\angle 240^\circ}{2(81.12)} = 2.83\angle 240^\circ \text{ A}$$

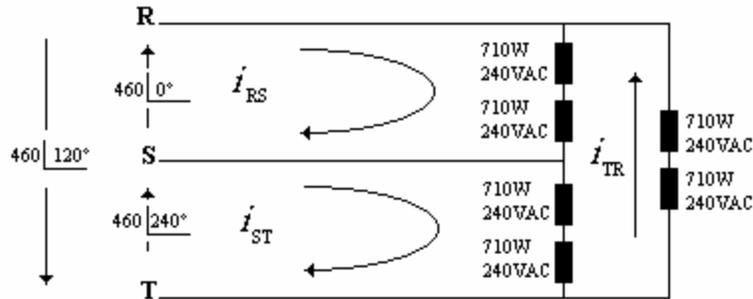
$$i_R = i_{RS} - i_{TR} = 2.83\angle 0^\circ - 2.83\angle 120^\circ = 4.9\angle -30^\circ \text{ A}$$

$$i_S = i_{ST} - i_{RS} = 2.83\angle 240^\circ - 2.83\angle 0^\circ = 4.9\angle -150^\circ \text{ A}$$

$$i_T = i_{TR} - i_{ST} = 2.83\angle 120^\circ - 2.83\angle 240^\circ = 4.9\angle 90^\circ \text{ A}$$

Cálculo de las corrientes en la Zona 3

Figura 19. Circuito de calentamiento de zona 3.



$$i_{RS} = \frac{460 \angle 0^\circ}{2(81.12)} = 2.83 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$i_{TR} = \frac{460 \angle 120^\circ}{2(81.12)} = 2.83 \angle 120^\circ \text{ A}$$

$$i_{ST} = \frac{460 \angle 240^\circ}{2(81.12)} = 2.83 \angle 240^\circ \text{ A}$$

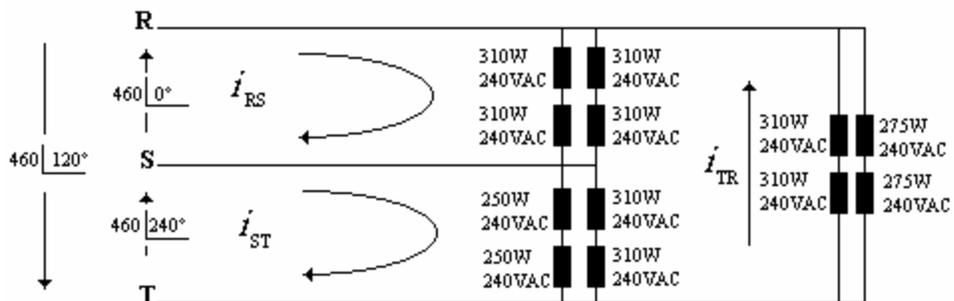
$$i_R = i_{RS} - i_{TR} = 2.83 \angle 0^\circ - 2.83 \angle 120^\circ = 4.9 \angle -30^\circ \text{ A}$$

$$i_S = i_{ST} - i_{RS} = 2.83 \angle 240^\circ - 2.83 \angle 0^\circ = 4.9 \angle -150^\circ \text{ A}$$

$$i_T = i_{TR} - i_{ST} = 2.83 \angle 120^\circ - 2.83 \angle 240^\circ = 4.9 \angle 90^\circ \text{ A}$$

Cálculo de las corrientes en la Zona 4

Figura 20. Circuito de calentamiento de zona 4.



Para este arreglo de resistencias se calculan las resistencias equivalentes a las diferentes potencias así:

$$R_{(310W)} = \frac{V^2}{P} = \frac{(240)^2}{310} = 185.80\Omega$$

$$R_{(250W)} = \frac{V^2}{P} = \frac{(240)^2}{250} = 230.41\Omega$$

$$R_{(275W)} = \frac{V^2}{P} = \frac{(240)^2}{275} = 209.45\Omega$$

Teniendo estas resistencias se procede a calcular las resistencias equivalentes en la malla:

$$R_{RS} = \frac{(185.80 + 185.8)(185.80 + 185.8)}{185.80 + 185.8 + 185.80 + 185.8} = 185.80\Omega$$

$$R_{ST} = \frac{(185.80 + 185.8)(230.41 + 230.41)}{185.80 + 185.8 + 230.41 + 230.41} = 205.71\Omega$$

$$R_{RS} = \frac{(185.80 + 185.8)(209.45 + 209.45)}{185.80 + 185.8 + 209.45 + 209.45} = 196.91\Omega$$

$$I_{RS} = \frac{460\angle 0^\circ}{185.80} = 2.47\angle 0^\circ A$$

$$I_{RS} = \frac{460\angle 120^\circ}{196.91} = 2.33\angle 120^\circ A$$

$$I_{RS} = \frac{460\angle 240^\circ}{205.71} = 2.23\angle 240^\circ A$$

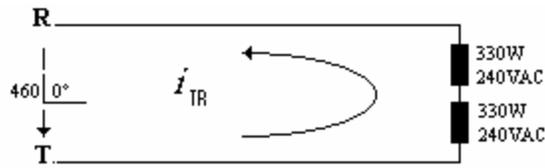
$$i_R = i_{RS} - i_{TR} = 2.47\angle 0^\circ - 2.33\angle 120^\circ = 4.15\angle -29^\circ$$

$$i_S = i_{ST} - i_{RS} = 2.23\angle 240^\circ - 2.47\angle 0^\circ = 4.07\angle -151^\circ$$

$$i_T = i_{TR} - i_{ST} = 2.33\angle 120^\circ - 2.23\angle 240^\circ = 3.94\angle 90.7^\circ$$

Cálculo de las corrientes en la Malla Cambia Filtro

Figura 21. Circuito de calentamiento de la malla filtro.



$$i_T = 1.31 \angle 120^\circ \text{ A}$$

$$i_R = -1.31 \angle 120^\circ \text{ A}$$

- Selección: En el caso de las resistencias de calentamiento es casi imperativo el uso de reles de estado sólido, por las siguientes razones: Alta velocidad de conmutación, ausencia de rebotes mecánicos ó arqueo de contactos, capacidad de conmutación a altas potencias, ausencia de ruido mecánico y eléctrico, menor tamaño, alta sensibilidad, soportan cientos de millones de ciclos de conmutación, además, poseen menores vibraciones mecánicas que los reles mecánicos y electromagnéticos, como también ausencia de golpes.

Como se puede notar en los requerimientos la corriente más alta en las diferentes zonas es de 4.9 A y la menor 1.31 A. Teniendo en cuenta lo siguiente:

- Factor de seguridad de 30 %
- Los voltajes de control y de carga son 24 VDC y 460VAC respectivamente.
- La temperatura ambiente a la que estarán sometidos bajo condiciones normales de operación es de 40-45° C

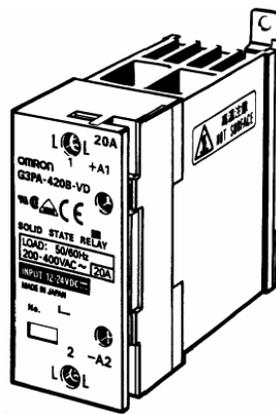
- La potencia en las zonas de calentamiento es de 4.26 kW. máx.
- La capacidad de cada relé disminuye hasta un 20% al operar en arreglos trifásicos según los datos suministrados por el fabricante.

Se seleccionan con las siguientes características:

- Voltaje de control: 9.6-30VDC.
- Voltaje de carga: 180-528VAC (50/60Hz).
- Corriente de carga: 0.5-20 A
- Potencia de la carga, clase-1: 9.6 kW. a 480 VAC con carga resistiva.

El rele de estado sólido seleccionado es de referencia G3PA-420B-VD-2 (Ver Figura 22.) de marca OMRON (Ver Anexo K).

Figura 22. Rele de estado sólido G3PA-420B-VD-2



2.2.3. Resistencias de calentamiento. Con los valores de temperatura mencionados en la descripción del proceso y la potencia total que debe ser aplicada a cada zona del barril según el manual de la extrusora, Zona 1 2430W, Zona 2 4050W, Zona 3 4050W, Zona 4

3370W, Cambia filtro 660W. Esta última es la que permite realizar el corrimiento de la malla filtro en forma manual.

El procedimiento utilizado para la selección de resistencias de calentamiento está basado en los catálogos del fabricante y los requerimientos de proceso; es el siguiente:

□ Requerimientos:

Voltaje: Resistencias a 240VAC, debido a que el ruido térmico a este voltaje nos es tan apreciable.

Dimensiones: Zona 1, 2 y 3 $\phi_{\text{interno}} = 114\text{mm}$ - ancho = 40mm

Zona 4A $\phi_{\text{interno}} = 127\text{mm}$ - ancho = 40mm

Zona 4B $\phi_{\text{interno}} = 127\text{mm}$ - ancho = 40mm

Zona 4C $\phi_{\text{interno}} = 102\text{mm}$ - ancho = 25mm

De acuerdo a las dimensiones de la extrusora expuestas en la descripción de proceso.

Tipo: Zona 1, 2 y 3 - Abrazadera (Banda)

Zona 4 - Media luna

□ Selección: Con estas dimensiones es posible colocar hasta 16 resistencias en el área del barril (Zona 1, 2 y 3) y 12 en el cabezal (Zona 4), lo que nos permite una transferencia de calor distribuida a lo largo de la extrusora y una distribución equilibrada de la carga (ver sección “Reles de estado sólido” y “Planos

eléctricos”); estas características sumadas a las potencias de cada zona nos entregan el siguiente listado de resistencias (Ver Figura 23, 24 y Cuadro 6.), cuya categoría de servicio es AC-1:

Zona 1. 4 resistencias
710W / 240VAC
Abrazadera
 $\phi_{\text{interno}} = 114\text{mm}$
Ancho = 40mm
Terminales con tornillo

Zona 2. 6 resistencias
710W / 240VAC
Abrazadera
 $\phi_{\text{interno}} = 114\text{mm}$
Ancho = 40mm
Terminales con tornillo

Zona 3. 6 resistencias
710W / 240VAC
Abrazadera
 $\phi_{\text{interno}} = 114\text{mm}$
Ancho = 40mm
Terminales con tornillo

Zona 4A. 2 resistencias
275W / 240VAC
Media luna
 $\phi_{\text{interno}} = 127\text{mm}$
Ancho = 40mm
Terminales con tornillo

Zona 4B. 8 resistencias
310W / 240VAC
Media luna
 $\phi_{\text{interno}} = 127\text{mm}$
Ancho = 40mm

Terminales con tornillo

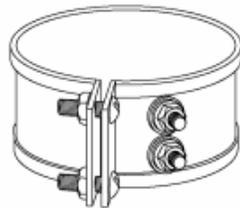
Zona 4C. 2 resistencias
 250W / 240VAC
 Media luna
 $\phi_{\text{interno}} = 102\text{mm}$
 Ancho = 25mm
 Terminales con tornillo

Cambia filtro. 2 resistencias
 330W / 240VAC
 Tubular
 Longitud = 115mm
 $\phi = 9.4\text{mm}$
 Terminales con cable especial.

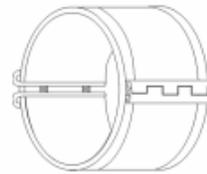
Cuadro 6. Resistencias totales.

Resistencias de 710W/240V: Diam int.= 114 mm / Ancho = 4cm, Anillo completo	16
Resistencias de 250W/240V: Diam int.=102 mm / Ancho = 2.5cm, Anillo medio	2
Resistencias de 275W/240V: Diam int.=127 mm / Ancho = 4cm, Anillo medio	2
Resistencias de 310W/240V: Diam int.=127 mm / Ancho = 4cm, Anillo medio	8
Resistencias tubulares de 330W/240V: Diam =9.4mm / Longitud = 115.5mm	2

Figura 23. Resistencias de calentamiento.



Resistencia tipo Abrazadera

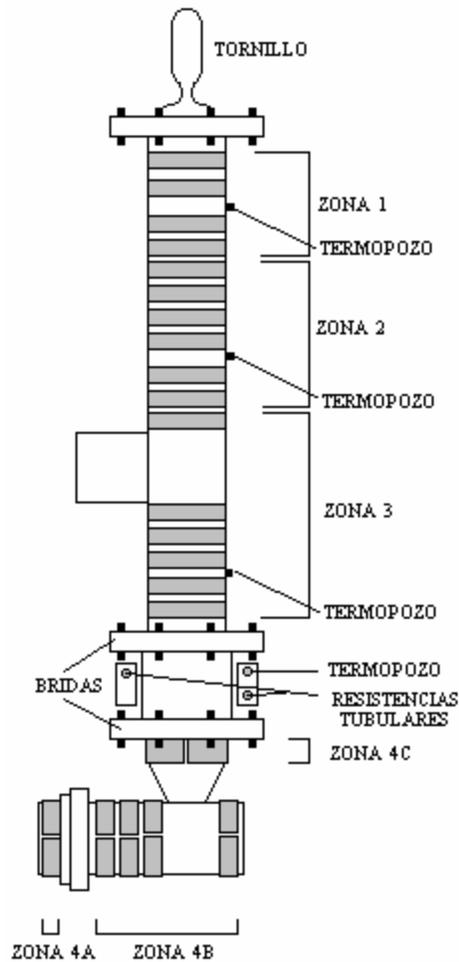


Dos resistencias tipo Media luna



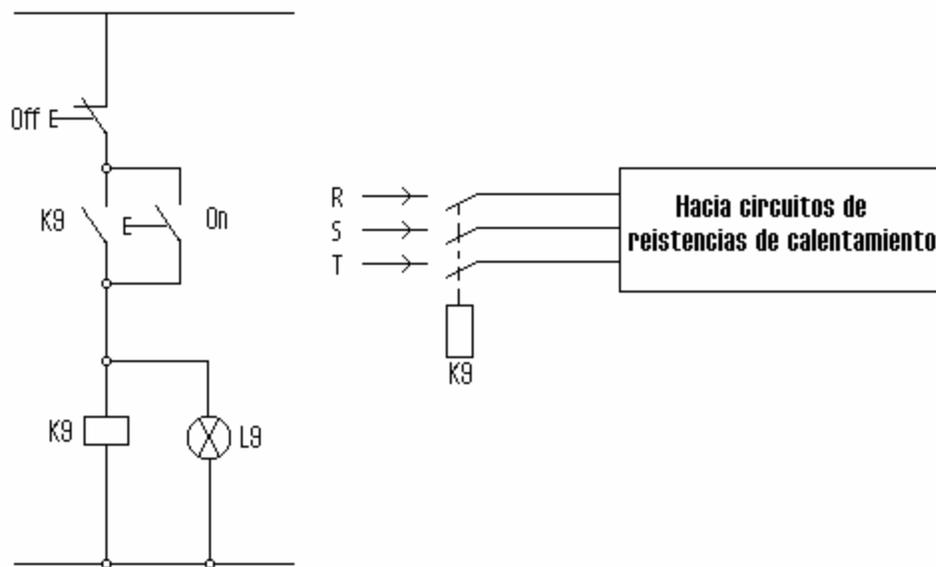
Resistencia tipo Tubular

Figura 24. Barril de la extrusora con las resistencias de calentamiento.



De acuerdo a los requerimientos especificados por el ingeniero de proceso, se hace necesario un sistema de mando (Ver Figura 25.) para los circuitos de las resistencias de calentamiento a fin de poder realizar mantenimiento a estos con mayor seguridad, este sistema debe tener en su diseño un contactor y dos pulsadores, uno para activar el circuito y otro para desactivarlo.

Figura 25. Circuito que permite activar y desactivar las resistencias de calentamiento.



Para cumplir con lo anterior se procedió a calcular las corrientes de línea totales en los circuitos de calentamiento, basados en los cálculos de las corrientes de línea de cada zona (ver sección Relés de estado sólido y planos eléctricos).

Corrientes Totales De Línea.

$$i_{Rtotal} = 3.7 \angle -19.15^\circ + 4.9 \angle -30^\circ + 4.9 \angle -30^\circ + 4.15 \angle -29^\circ - 1.31 \angle 120^\circ = 18.77 \angle -29.63^\circ A$$

$$i_{Stotal} = 4.9 \angle -150^\circ + 4.9 \angle -150^\circ + 4.9 \angle -150^\circ + 4.07 \angle -151^\circ = 18.77 \angle 209.78^\circ A$$

$$i_{Ttotal} = 3.7 \angle 79.15^\circ + 4.9 \angle 90^\circ + 4.9 \angle 90^\circ + 3.94 \angle 90.7^\circ + 1.31 \angle 120^\circ = 18.56 \angle 90^\circ A$$

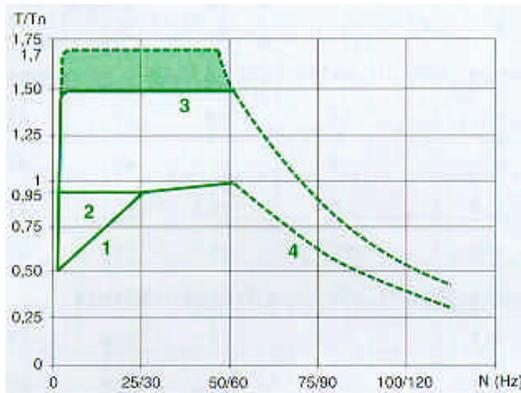
Como se puede notar la corriente mas alta es 18.77 A, utilizando un factor de seguridad del 30%, obtenemos 24A, con esta valor de corriente y las tablas de las fabricantes se selecciona el contactor LC1-D25F7. Telemecanique.

2.2.4. Motores. En todas las instalaciones eléctricas industriales en donde aparecen motores eléctricos, la instalación de los mismos, no sólo es llevar la energía hasta ellos, también requiere de medios de conexión y desconexión así como el control de los mismos, dependiendo de la aplicación específica para la cual fueron seleccionados. El concepto de control de motores eléctricos comprende todos los métodos usados para el control del comportamiento de un sistema eléctrico.

Por otra parte el control de motores eléctricos se ha asociado tradicionalmente con el estudio de los dispositivos eléctricos que intervienen para cumplir con las funciones de arranque, aceleración, reversa, desaceleración y frenado de un motor y su carga.

En cuanto a las especificaciones de funcionamiento es importante tener presente el comportamiento de los motores autoventilados a baja velocidad, ya que las curvas de par contra velocidad para motores asíncronos nos muestran que es recomendable variar la velocidad del motor desde 50% del valor nominal hasta el valor nominal para obtener un torque constante, además el motor autoventilado a baja velocidad tiende a recalentarse, para que el motor soporte estas condiciones los fabricantes recomiendan sobredimensionar la potencia del motor hasta en un 40%, esto se realizó en el proyecto con base en la potencia del los motores especificados en los catálogos de la máquina.

Figura 26. Curva de par para motores asíncronos.



1. Motor autoventilado: par útil permanente.
2. Motor motoventilado: par útil permanente.
3. Sobrepar transitorio.
4. Par en sobrevelocidad a potencia constante.

Fuente. Telemecanique. Curvas características de par para motores asíncronos.

Al igual que las especificaciones de funcionamiento definen que equipo se utilizará, el grado de protección también lo realiza, teniendo éste, mayor importancia entre todos los requerimientos. A nivel mundial ya son ampliamente conocidos estándares para las categorías de servicio y niveles de servicio ó protección.

Las categorías de servicio fijan los valores de corriente que el aparato de control debe establecer o cortar, dependen de:

- ❑ La naturaleza del receptor controlado; motor de jaula o de anillo, resistencias.
- ❑ Las condiciones en que efectúan los cierres y aperturas: motor en movimiento, calado o en curso de arranque, inversión del sentido de marcha.

Los niveles de servicio garantizan el buen funcionamiento de los equipos y protección de los usuarios sean cuales sean los niveles de exceso de corriente encontrados, se clasifican en coordinación y selectividad-filiación.

Coordinación tipo 1

“En condiciones de cortocircuito, el contactor ó arrancador no causarán ningún peligro a personas ni a la instalación y quizás no puedan volverse a usar sin que antes hayan sido reparados o se hayan reemplazados sus partes”.

Coordinación tipo 2

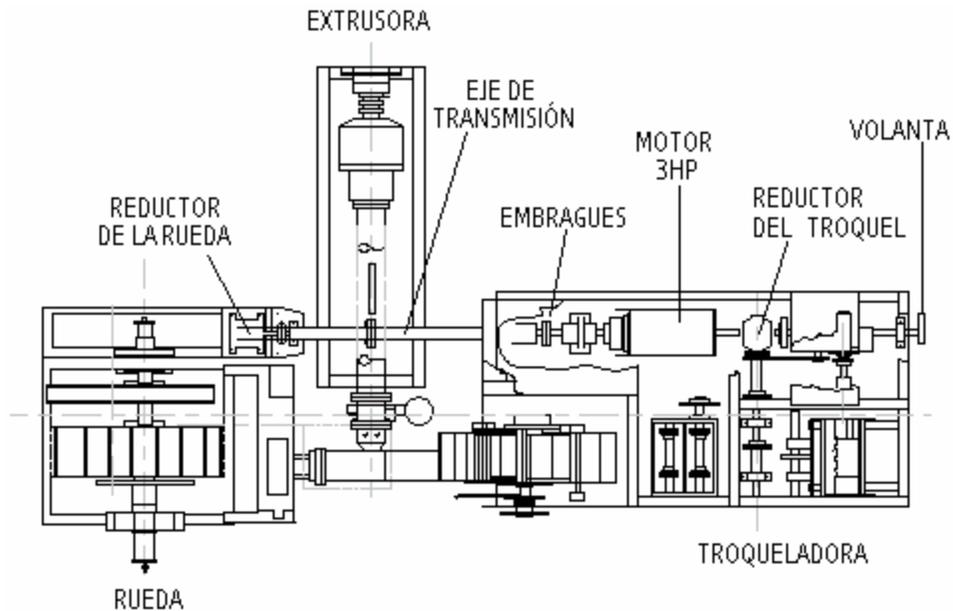
“En condiciones de cortocircuito, el contactor ó arrancador no causarán ningún peligro a personas ni a la instalación y pueden volverse a usar. Se reconoce el riesgo de soldadura de contactos, en cuyo caso el fabricante indicará las medidas a tomarse en relación al mantenimiento del equipo”.

2.2.4.1. Moto-reductores de la rueda de termoformado y el troquel. En la máquina, originalmente el movimiento de la rueda termoformadora y el troquel, era accionado por un motor (Ver Figura 27.), dos reductores de velocidad, un eje de transmisión y dos embragues. Su funcionamiento era de la siguiente manera:

El motor transmite movimiento a través de una polea al eje con una relación 1:1, este eje posee dos embragues para controlar la transmisión de movimiento a la rueda de termoformado y al troquel. En cada extremo del eje se encuentra un reductor de velocidad, el de la rueda posee una salida y el de la troqueladora dos, ya que este reductor además de

transmitir movimiento al troquel, utiliza la otra salida con una volanta para ajustar en forma manual la cinta ya termoformada en el troquel.

Figura 27. Vista superior máquina de tapas VM001.

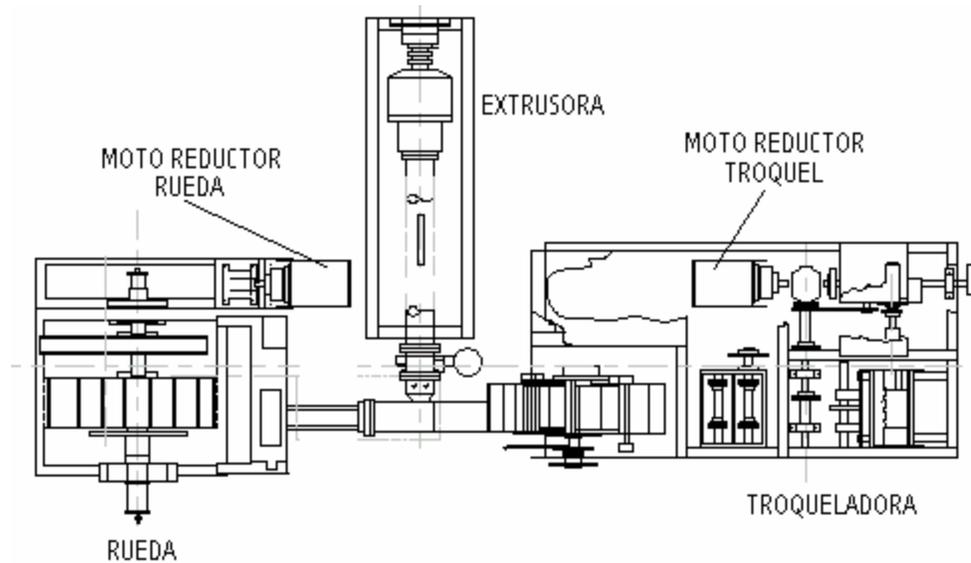


Las características del motor y reductores de velocidad en el sistema original eran las siguientes:

- Motor: 3 HP, 230/460 VAC, 7.4/3.7 A a plena carga, 1750 RPM.
- Reductor troqueladora: Relación 10:1; potencia de salida 2.89 HP; 1750 RPM; 25 RW
- Reductor troqueladora: Relación 60:1; potencia de entrada 1.84 HP; 1750 RPM; torque de salida: 2496 Lb-in.

Después de realizar un profundo análisis del funcionamiento de esta parte de la máquina, en conjunto con los ingenieros mecánicos y de proceso de la compañía, se optó por reemplazar el sistema original por uno que consiste de: Un motoreductor para la rueda y otro para la troqueladora de forma que se pueda maniobrar tanto la rueda como la troqueladora de forma independiente si se hace necesario. (Ver Figura 28.).

Figura 28. Vista superior máquina de tapas VM002.



Entre los motivos por los que se tomó tal decisión se encuentran los siguientes:

- El sistema de embragues necesita mayor mantenimiento mecánico que el de dos motoreductores y en periodos mas frecuentes.
- La máquina sin eje de transmisión simplifica su instalación y traslado.
- La máquina con motoreductores separados ofrece mayor seguridad, en las maniobras del troquel y la rueda termoformadora.

- Se reducen los costos del proyecto, debido a que el sistema original de troqueladora y rueda involucra más equipos.
- **Requerimientos:** Para llevar a cabo el cambio de este sistema de transmisión, se requieren dos motoreductores, teniendo como punto de inicio, la potencia (3 HP) y velocidad del motor (1750 RPM) y las relaciones de velocidad (60:1 y 10:1) de los reductores en el sistema original.
- **Selección:** Se seleccionan dos moto-reductores (Ver Figura 29.) que cumplan estas especificaciones de potencia y velocidad en la forma más aproximada posible.
 - Moto-reductor de la troqueladora, de marca Flender-ATB, con las siguientes características: 2.5HP, 1680 RPM y relación 10:1. (Ver Cuadro 7.).

Cuadro 7. Placa motor reductor troqueladora.

ATB	3 ~ Mot 90
SNF90/4E-11	7987827 H 046
Y? 400/230V	/V 12 376252
IEC Cos f 0.75	4.0/6.9A 1.50kW
	1385/min. 50Hz
FLENDER – AGP	
Th, Cl, F IP55 EN 60034	
Y? 380-420/220-240V	3.9-4.1/6.7-7.1A 1.50kW
VDE Cosf 0.75	1385/min. 50Hz
Y? 440-480/254-280V	3.9-4.0/6.7-6.9A 1.80kW
Cosf 0.76	1680/min. 60Hz
Art. 2079720 W04	
SC 63 i = 10 T _{2N} = 150Nm	
MOTOX SC BA SC 298	

- Moto-reductor de la rueda, de marca Flender-ATB, con las siguientes características: 2.5HP, 1680 RPM y relación 60:1. (Ver Cuadro 8.).

Cuadro 8. Placa motor reductor rueda termoformado.

ATB	3 ~ Mot 90 7987827 H 046 /V 12 376252 4.0/6.9A 1.50kW 1385/min. 50Hz
SNF90/4E-11 Y? 400/230V IEC Cos f 0.75	
FLENDER – AGP	
Th, Cl, F IP55 EN 60034	
Y? 380-420/220-240V	3.9-4.1/6.7-7.1A 1.50kW
VDE Cosf 0.75	1385/min. 50Hz
Y? 440-480/254-280V	3.9-4.0/6.7-6.9A 1.80kW
Cosf 0.76	1680/min. 60Hz
Art. 2092238 W10	
SC 63 i = 60 T _{2N} = 166Nm	
MOTOX SC BA SC 298	

Figura 29. Motor reductor de la rueda y el troquel.



Como se puede notar la velocidad de 1680 RPM es aproximada a 1750 RPM, la relación de velocidades es igual a la del sistema original y la suma de las potencias es de 5 HP, la cual es mayor a la del sistema original que era de 3HP.

De acuerdo al tipo de motor la categoría de servicio es AC-3, el nivel de protección seleccionado es coordinación tipo 2, en este nivel de protección se utiliza un disyuntor magnético junto con el contactor, el rele térmico en este caso no es necesario porque el variador lo tiene incluido. Las referencias recomendadas por el fabricante para un motor de 2.5 HP son:

- Disyuntor magnético GV2L10 de la marca Telemecanique:
 - Ie AC3 (380 / 400 V): 6A
 - Pe AC3 (380 / 400 V): 3HP
 - Iq: 50 kA
- Contactor LC1D09F7 de la marca Telemecanique:
 - Ie AC3 (380 / 400 V): 9A
 - Pe AC3 (380 / 400 V): 5.5HP

2.2.4.2. Motor de la Extrusora.

- Requerimientos: Este motor es el encargado de hacer girar el tornillo que se encuentra en el interior del barril de la extrusora. La potencia y velocidad de este motor, según el fabricante de la extrusora, deben ser de 25HP y 1750 RPM respectivamente. Para su selección se debe tener en cuenta el frame del reductor de velocidad en la extrusora el cual es según norma NEMA 284 T, el voltaje de alimentación debe ser 460VAC 3?, con protección TEFC (totalmente cerrado enfriado por ventilador) y que permita la operación con variador de velocidad.

- Selección: Con base en los requerimientos se selecciona un motor de marca BALDOR con las siguientes características:

CAT. N°	M4103T-12 - BALDOR
POTENCIA:	25HP
VELOCIDAD:	1770 RPM @ 60Hz
NEMA FRAME:	284T
VOLTAJE:	230/460 VAC @ 60Hz, 3 FASES
CORRIENTE:	62/31 AMPS @ PLENA CARGA
EFICIENCIA:	92.4% @ PLENA CARGA PREMIUM
FACTOR DE SERVICIO:	1.15
AISLAMIENTO:	CLASE F
FACTOR DE POTENCIA:	82% @ PLENA CARGA
PROTECCIÓN:	TEFC (TOTALMENTE CERRADO, ENFRIADO POR VENTILADOR)
TEMPERATURA AMBIENTE:	40° C
DISEÑO NEMA:	CLASE B
CODE:	F
ARMAZÓN:	LÁMINA ROLADA EN HIERRO
ALAMBRE ISR (INVERTER SPIKE RESISTANT),	SOPORTA
TRANSCIENTES DE VOLTAJE DE 2000 VOLTIOS, FRECUENCIAS DE	
20KHz, Y TEMPERATURAS HASTA 200°C.	
TIPO DE ARRANQUE:	ESTRELLA – DELTA O DIRECTO

De acuerdo al tipo de motor la categoría de servicio es AC-3, el nivel de protección seleccionado es coordinación tipo 2, en este nivel de protección se utiliza disyuntor magnético más contactor, el rele térmico en este caso no es necesario porque el variador lo tiene incluido. Las referencias recomendadas por el fabricante para un motor de 25HP son:

- Disyuntor magnético NS80HMA de la marca Merlin Gerin:
 - Ie AC3 (380 / 400 V): 80A
 - Pe AC3 (380 / 400 V): 50HP
 - Iq: 70 kA
- Contactor LC1-D8011F7 de la marca Telemecanique:
 - Ie AC3 (380 / 400 V): 80A
 - Pe AC3 (380 / 400 V): 50HP

2.2.4.3. Motor de los Rodillos.

- Requerimientos: Este motor se controla con variador de velocidad y es el encargado de hacer girar los rodillos que convierten la burbuja en cinta, según la especificaciones del fabricante de la máquina debe ser de 0.5 HP para poder mantener la velocidad tangencial de los rodillos en 25 mts/min, de alimentación 3 ϕ preferiblemente a 460VAC, protección TEFC y frame NEMA 56.
- Selección: Se selecciona un motor de marca Baldor con las siguientes especificaciones:

CAT. N°	M3538 - BALDOR
POTENCIA:	0.5HP
VELOCIDAD:	1725 RPM @ 60Hz
NEMA FRAME:	56
VOLTAJE:	230/460 VAC @ 60Hz, 3 FASES
CORRIENTE:	2/1 AMPS @ PLENA CARGA
EFICIENCIA:	74% @ PLENA CARGA
FACTOR DE SERVICIO:	1.25
AISLAMIENTO:	CLASE F
FACTOR DE POTENCIA:	63% @ PLENA CARGA
PROTECCIÓN:	TEFC (TOTALMENTE CERRADO, ENFRIADO POR VENTILADOR)
TEMPERATURA AMBIENTE:	40° C
DISEÑO NEMA:	CLASE B
CODE:	L
ARMAZÓN:	LÁMINA ROLADA EN HIERRO

De acuerdo al tipo de motor la categoría de servicio es AC-3, el nivel de protección seleccionado es coordinación tipo 2, en este nivel de protección se utiliza disyuntor magnético más contactor, el rele térmico en este caso no es necesario porque el variador lo tiene incluido. Las referencias recomendadas por el fabricante para un motor de 0.5HP son:

- o Disyuntor magnético GV2L06 de la marca Telemecanique:

- Ie AC3 (380 / 400 V): 6A

- Pe AC3 (380 / 400 V): 0.75HP

- Iq: 50 kA

- o Contactor LC1-D09F7 de la marca Telemecanique :

- Ie AC3 (380 / 400 V): 9A

- Pe AC3 (380 / 400 V): 5.5HP

2.3. FUSIBLES.

Los fusibles a considerar en este diseño son los utilizados para la protección de los reles de estado sólido debido a que poseen características que los hacen especiales en comparación con los fusibles comunes, estas son:

- Acción rápida.

- Con limitación de corriente, lo que quiere decir que se abren muy rápidamente con corrientes de magnitud de falla y suprimen corrientes de cortocircuito en menos de ½ ciclo a 50 o 60Hz.

Existen diversos estándares internacionales para la fabricación y características de estos fusibles, en Norte y Suramérica los más usados son los UL y CSA, en Europa DIN (alemanes), BS88 (británicos), VDE e IEC, sin embargo sus características son bastante similares como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Descripción de fusibles UL y CSA.

Requisitos de rendimiento de fusibles UL según UL 198, 600 Volts, 100 kA¹			
Capacidad nominal de Amperaje (A)	Clase de fusible UL	Máx $I^2t \times 10^3$ (A ² -Seg.)	Máx. $I_p \times 10^3$ (A)
30	K5, RK5	50	11
	K1, RK1	10	10
	J	7.0	7.5
	T	7.0	7.5
	CC	7.0	7.5
60	K5, RK5	200	21
	K1, RK1	40	12
	J	30	10
	T	30	10
Requisitos de rendimiento de fusibles CSA según CSA C22.2 No. 106¹			
Capacidad nominal de Amperaje (A)	Clase de fusible CSA	Máx $I^2t \times 10^3$ (A ² -Seg.)	Máx. $I_p \times 10^3$ (A)
30	HRCII-C	50	14
	HRCI-R	50	14
	HRCI-J	7	12
	HRCI-T	7	12
60	HRCII-C	200	26
	HRCI-R	200	26
	HRCI-J	30	16
	HRCI-T	30	16

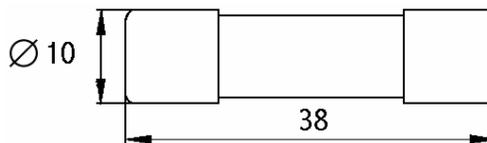
¹Los fusibles han sido probados en circuitos con corrientes de fallo disponibles entre la corriente de umbral del fusible y 100.000 A simétricos RMS.

Debido a que existe una gran cantidad de fabricantes, es conveniente especificar el tipo de fusible de acuerdo al estándar en el momento de la compra.

Los cálculos realizados para la selección de los reles de estado sólido donde se obtuvieron valores de corriente entre 1.31 a 4.9 A, también son útiles en esta parte, debido a que cada fusible se encuentra en serie con el rele. Teniendo en cuenta además que el I^2t del rele especificado por el fabricante es 260 A²s, se seleccionan los fusibles con las siguientes especificaciones:

- Acción rápida.
- 500 V / 6 A
- Dimensiones 10mm x 38mm tipo casquillo (Ver Figura 30.)
- Norma VDE 636-23 o IEC 269.4 clase URB
- $I^2 t = 1.3 \text{ A}^2\text{s}$ a 1ms
- $I_p = 14\text{kA}$ a 100kA simétricos.

Figura 30. Fusible tipo casquillo.



2.4. MANEJO DE EMERGENCIAS.

Los estándares internacionales para el manejo de las emergencias, implican desde una cultura en el personal de mantenimiento y proceso, hasta las consideraciones a tener en cuenta para la selección de los equipos e instrumentos, mas adecuados para el manejo de una falla entre estos equipos e instrumentos se encuentran:

2.4.1. Paradas De Emergencia.

- Requerimientos: Existen estándares europeos aceptados para el manejo de las paradas de emergencia en una máquina como lo son el EN 418 para paradas de emergencia y el EN 60204 parte 1 (DIN VDE 0113 parte 1) para circuitos de

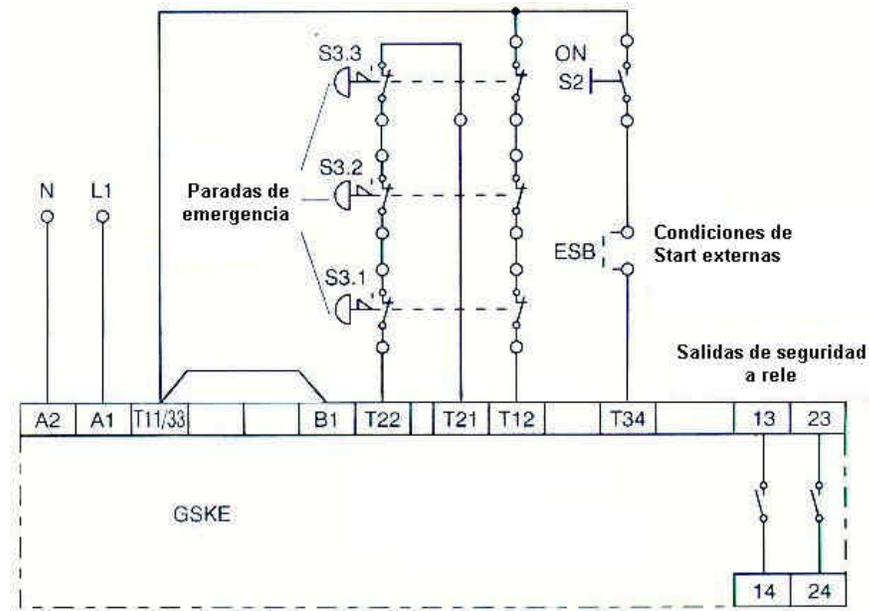
seguridad incluyendo aplicaciones especiales que requieren algunos circuitos que deben ser desconectados por un comando de parada de emergencia independientemente de las paradas de emergencia del proceso. Estos estándares mencionan que “si el fallo eléctrico causa condiciones peligrosas, los pasos a realizar deben ser tomados como si el peligro mismo ocurriera”.

- Selección: Se selecciona el módulo GSK-E 5100, este módulo está equipado con dos canales de salida a rele normalmente abierto totalmente iguales (Circuitos de seguridad), una ventaja especial del dispositivo es que permite monitorear botones de parada y botón de arranque. (Ver Figura 31.)

Un comando parada de emergencia puede fallar, por ejemplo, porque un cable este en malas condiciones o porque se dañe un empalme adyacente al terminal. Esto no es crítico en el caso del módulo GSKE ya que detecta una amplia gama de fallos creando mayores condiciones de seguridad para la máquina, inclusive bajo cortocircuitos. Por esta razón esta provisto con un fusible de 0.5 A en su interior, sin embargo requiere el uso de uno o varios botones pulsadores para las paradas de emergencia, con dos contactos normalmente cerrado.

El dispositivo GSKE permite la operación con circuitos de seguridad tipo guarda o cubiertas con micro interruptores o finales de carrera, los cuales únicamente pueden ser utilizados en la mayoría de los casos junto con pulsador de arranque el cual es monitoreado por el mismo circuito interno.

Figura 31. Circuito de conexión para paradas de emergencia.



2.4.2. Alarmas. Las alarmas son parte esencial dentro del proceso de elaboración de tapas plásticas, ya que con ellas se asegura el correcto funcionamiento de la máquina, la producción y brindan protección al operador.

- Requerimientos: Deben existir dentro del diseño de las seguridades de la máquina alarmas de tipo sonoro y visual. Según los requerimientos del Ingeniero de proceso las alarmas deben ser:
 - Alta Temperatura Zona 1.
 - Alta Temperatura Zona 2.
 - Alta Temperatura Zona 3.
 - Alta Temperatura Zona 4.
 - Baja Temperatura Zona 1.

- Baja Temperatura Zona 2.
- Baja Temperatura Zona 3.
- Baja Temperatura Zona 4.
- Alta presión extrusora.
- Baja presión extrusora.
- Puerta frontal troquel abierta.
- Puerta lateral troquel abierta.
- Alta temperatura de melt.
- Baja temperatura de melt.
- Fallo de resistencia zona 1.
- Fallo de resistencia zona 2.
- Fallo de resistencia zona 3.
- Fallo de resistencia zona 4.
- Fallo de resistencia de malla.
- Alta temperatura del agua de enfriamiento.
- Baja presión del agua de enfriamiento.
- Baja presión de aire.
- No hay cinta presente.
- Acumulamiento de cinta.
- Térmico del molino.
- No hay aire presente.
- Alta presión diferencial.
- Fallo de comunicación.

- Selección: Se selecciona un elemento sonoro tipo beacons de referencia XVA – C94, además un elemento visual tipo beacons de referencia XVA – L44, estos elementos son de la marca Telemecanique. (Ver Figura 32.).

Figura 32. Alarma visual y sonora tipo Beacons.



2.5. VARIADORES DE VELOCIDAD.

Los variadores de velocidad utilizados para los motores de la extrusora, rueda de termoformado, troqueladora y rodillos son convertidores de frecuencia para motores asíncronos trifásicos de jaula. La marca que se seleccionó es altivar de Telemecanique por las siguientes razones: Incorpora los últimos desarrollos tecnológicos, el Altivar es robusto, compacto y responde a los estándares internacionales. Sus funciones reúnen los requerimientos para la mayoría de las aplicaciones, entre ellas: ventilación / aire acondicionado, bombas y compresores. Algoritmos de control óptimos aumentan la robustez, seguridad y facilidad de instalación.

Inductancias de línea.

Estas inductancias garantizan una mejor protección contra sobre tensiones de la red y una reducción del índice de armónicos de corriente que genera el variador. Las inductancias recomendadas permiten limitar la corriente de línea.

Los valores de las inductancias están diseñados para una caída de tensión de 3 a 5% de la tensión nominal de línea. Es recomendable usar particularmente las inductancias de línea en los siguientes casos:

- Redes con muchas perturbaciones generadas por otros receptores (parásitos, sobre tensiones).
- Redes con un desequilibrio de tensión entre fases $> 1.8\%$ de la tensión nominal.
- Variadores alimentados por una línea de escasa impedancia (situados cerca de transformadores de potencia 10 veces superior al calibre del variador).
- La corriente de corto circuito teórica en el punto de conexión no debería exceder el valor máximo dado en la tabla de referencia. El uso de inductancias posibilita la conexión de las siguientes líneas de alimentación:

Icc max. 22kA para 200/240 V; Icc max. 65kA para 380/500 V.

- Instalación de un gran número de variadores sobre la misma línea.
- Reducción de la sobrecarga en los condensadores de corrección del factor de potencia, si la instalación tiene corrección del factor de potencia instalado.

2.5.1. Variador de velocidad para motor asíncrono 0.5 HP.

- **Requerimientos:** En el motor de los rodillos es indispensable tener un control de la velocidad a la que este gira para poder mantener la velocidad tangencial de los rodillos en 25 mts/min. El control de velocidad permite además controlar la velocidad de fabricación de las tapas plásticas. También se tienen en cuenta las características del motor de 0.5HP /220 -460VAC trifásico para el sistema de rodillos.

- **Selección:** Seleccionó el ATV-28HU18M2 Altivar (Ver Figura 33.), el cual además de soportar el protocolo modbus sin necesidad de una tarjeta de red posee las siguientes características (Ver Anexo L.):
 - Potencia: 0.5 HP.
 - Voltaje: 220 VAC / 60Hz.
 - Alimentación: trifásica o monofásica.
 - Salida: trifásica.

Sus principales funciones son: Arranque y control de velocidad, frenado dinámico, ahorro de energía, regulador PI (control de caudal, presión, etc.), protección del motor y velocidades preseleccionadas, función jog que permite mover el motor por impulsos, comando 2/3 hilos, conmutación de rampas y referencia de velocidad, re arranque automático de la carga con búsqueda de velocidad, limite automático del tiempo de operación a baja velocidad, visualización de la velocidad en unidades cliente, etc.

Principales protecciones y seguridades del variador:

- * Aislamiento eléctrico entre los circuitos de potencia y control (entradas, salidas, fuentes de alimentación)
- * Protección contra corto – circuitos:
 - de las fuentes internas
 - entre fases de salida
 - entre fases de salida y tierra
- * Protección térmica contra sobre temperatura y sobre corrientes excesivas.
- * Seguridades de sobre tensión y subtensión de red.
- * Seguridad contra sobre tensiones durante el frenado.

Protección del motor.

- * Protección térmica integrada en el variador por cálculo de la imagen térmica.
- * Protección contra pérdida de fase.

Como el voltaje de alimentación del variador puede ser 220 VAC trifásico o monofásico y el voltaje de la red es de 460 VAC, se decide alimentar el variador por medio de un transformador monofásico de 460 VAC a 220 VAC.

Figura 33. Variador de velocidad Altivar ATV-28HU18M2.



2.5.2. Variadores de velocidad para motores asíncronos de 2 HP y 25 HP.

- Requerimientos: En la troqueladora, rueda de termoformado y extrusora es necesario controlar la velocidad, ya que de esta también depende la velocidad de fabricación de la máquina, en el troquel la velocidad del corte de una tapa es de 2 Hz y en la extrusora la velocidad del tornillo es de 150 RPM.

Es necesario coordinar las velocidades de estos motores entre si junto con el motor de los rodillos, para mantener la sincronía de la extrusora, rodillos, termoformadora y troquel de tal manera que la cinta no se rompa. Por estas razones se hace necesario el uso de los variadores de velocidad teniendo en cuenta lo siguiente:

- Motor de la extrusora: 25 HP, 460 VAC 3F.
 - Moto reductor de la troqueladora: 2.5 HP, 460 VAC 3F.
 - Moto reductor rueda de termoformado: 2.5 HP, 460 VAC 3F.
-
- Selección: De acuerdo a las características de los motores se seleccionaron los siguientes variadores (Ver Anexo M):
 - Variador para el motor de la extrusora: ATV-58HD28N4 Altivar
 - Variador para el motor de la rueda termoformadora: ATV-58HD29N4 Altivar.
 - Variador para el motor de la troqueladora: ATV-58HD29N4 Altivar.

Estos variadores además de soportar el protocolo modbus sin necesidad de una tarjeta de red poseen las siguientes características, necesarias para trabajar con los motores mencionados:

- ATV-58HD28N4: 25HP, 460VAC 3F/ 60 Hz. Alimentación y salida trifásica, inductancia de línea integrada. (Ver Figura 34.).
- ATV-58HD29N4: 2.5HP, 460 VAC 3F/ 60 Hz. Alimentación y salida trifásica.

Además:

- Control vectorial de flujo para ofrecer alto desempeño y excelente respuesta dinámica sin representar un proceso complejo en la puesta en marcha.
- Filtros integrados para abatir los fenómenos de distorsión armónica y compatibilidad electromagnética.
- Lazo de control “PI” integrado para regular de modo simple caudales o presiones aceptando la retroalimentación de un transductor.
- Modularidad para adaptarse a las aplicaciones más demandantes gracias a la amplia gama de tarjetas para diversos protocolos de comunicación (Fipio, Unitelway /Modbus RTU/Jbus, Interbus-S, Modbus Plus, AS-i).
- Extensión de entradas/salidas y personalizadas para aplicaciones específicas de los usuarios.
- Función de ahorro de energía, la cual optimiza constantemente la tensión y corriente magnetizante aplicadas al motor para lograr reducir la potencia activa consumida y calentamiento del motor.
- Funciones de aplicación de las entradas lógicas. Marcha paso a paso “JOG”, pulso de marcha a mínima velocidad que permite cerrar un contacto y accionar

otro para el sentido de marcha. Aumento y disminución de velocidad mediante un contacto NC y otro NO.

Protecciones y seguridades del variador ATV 58:

- Protección contra cortocircuitos:
 - Entre las fases de salida
 - Entre las fases de salida y la tierra
 - En las salidas de las fuentes internas
- Protección térmica contra sobrecalentamientos excesivos y sobre intensidades
- Seguridad de conexión y desconexión de la red
- Seguridad en caso de corte de la red (evita la marcha monofásica en variadores trifásicos)
- Protección térmica integrada en el variador por cálculo permanente del I^2t con consideración de la velocidad
- Memorización del estado térmico del motor al desconectar el variador
- Función modificable (desde el terminal de explotación, el de programación o desde el software de PC), según tipo de ventilación del motor.
- Protección contra cortes de fase del motor
- Protección mediante RTD PTC con tarjeta opcional

Figura 34. Variador de velocidad Altivar ATV-58HD28N4.



2.6. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).

El autómata programable (PLC) es el componente que en este sistema eléctrico permitirá elaborar y modificar las funciones que se realizaban en la máquina con reles, contactores, temporizadores, etc.

Comercialmente se encuentran autómatas que se adaptan a casi todas las necesidades, con entradas/salidas digitales y/o analógicas, sencillos y robustos. La programación suele ser sencilla, dependiendo básicamente de lo que se pretenda conseguir. El inconveniente radica en que cada fabricante tiene su propio lenguaje de programación, lo importante es conocer las posibilidades de un autómata y saber como llevarlas a la práctica con cualquiera de los autómatas que existen en el mercado.

- ❑ **Requerimientos:** De acuerdo a los requerimientos solicitados por el Ingeniero de proceso y teniendo en cuenta las entradas y salidas tanto digitales como analógicas que se asignan a los diferentes sensores y transmisores en la máquina se hace necesario un PLC que posea las siguientes características:

- Entradas digitales a 110 VAC
 - Salidas digitales a 110 VAC
 - Salidas digitales a 24 VDC
 - Entradas análogas.
 - Entradas de termocupla.
 - Salidas análogas.
 - Comunicación modbus.
- Selección: Se selecciona un PLC TSX Micro 3722 Telemecanique (Ver Anexo N.) junto con el software de programación PL7 Micro V4.1. (Ver Figura 35.).

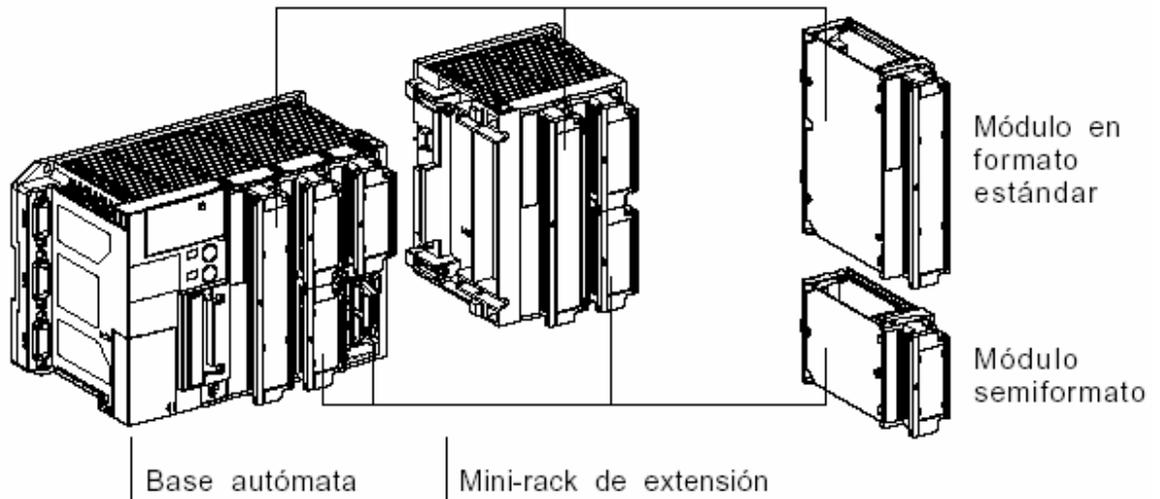
El PLC base posee las siguientes características:

- Alimentación en corriente alterna (110 VAC)
- Permite manejar cuatro lenguajes de programación:
 - El comúnmente conocido LD (Ladder Language) o Ladder similar a circuitos reales de contactores y relés.
 - SFC (Secuencial Function Chart) o más conocido como Grafset ideal para control de procesos secuenciales.
 - IL (Instruction List) equivalente a Ladder en forma de texto.
 - ST (Structured Text) el cual es un tipo de algoritmo sofisticado conformado por una suite de funciones aritméticas complejas, tablas de operaciones y mensajes.

Debido a que el proceso lo permite y al estudio previo de estos lenguajes, se selecciona Ladder y Grafcet para la programación.

- Cada base de PLC dispone de un reloj – calendario: admite además una ampliación de memoria así como un canal de comunicación, esta base puede extenderse mediante una cajita de extensión o rack de referencia TSX RKZ 02
- Dispone de funciones de contaje 10KHz, 500Hz y de 8 entradas, 1 salida análoga.
- Cada base puede dotarse de módulos en formato estándar (I/O TON, todo o nada) o semiformato (I/O TON, vigilancia de parada de emergencia, analógico o contaje).

Figura 35. Autómata TSX micro 3722 001.



Algunas reglas básicas para tener en cuenta la programación son las referentes a las variables a utilizar cuyo direccionamiento se define a continuación:

Cuadro 9. Descripción de objetos de lenguaje.

%	I, Q, M, K	X, W, D, F	Y	i	r
Símbolo	Tipo de objeto	Formato	Posición	N° de vía	Rango

Familia	Elemento	Valores	Descripción
Símbolo	%	-	-
Tipo de objeto	I	-	Imagen de la entrada física del módulo,
	Q	-	Imagen de la salida física del módulo, Esta información se intercambia de manera automática en cada ciclo de la tarea que le corresponde.
	M	-	Variable interna. Esta información de lectura o de escritura se intercambia cuando lo requiere la aplicación.
	K	-	Constante interna. Sólo se puede acceder en modo de lectura a esta información de configuración.
Formato (tamaño)	X	-	Booleano. Para los objetos de tipo booleano, se puede omitir este elemento.
	W	16 bits	Longitud simple.
	D	32 bits	Longitud doble.
	F	32 bits	Flotante. El formato flotante utilizado es el de la norma IEEE Std 754-1985 (equivalente IEC 559).

Posición del módulo	y	0 a 4 0 a 6 0 a 8 0 a 10	Número de posición en el rack. TSX 37-05 TSX 37-08 TSX 37-10 TSX 37-21/22
N° de vía	i	0 a 31 o MOD	MOD: vía reservada a la gestión del módulo y de los parámetros comunes a todas las vías.
Posición	r	0 a 15 o ERR	Posición del bit en la palabra. ERR: indica un fallo en el módulo o en la vía.

Este cuadro define los objetos palabras que pueden convertirse en tabla de palabras:

Cuadro 10. Tablas de palabras para programación.

Tipo	Formato	Dirección	Ejemplo	Acceso con escritura
Palabras internas	Longitud estándar	%MWi:L	%MW50:20	Si
	Longitud doble	%MDi:L	%MD30:10	Si
	Flotante	%MFi:L	%MF100:20	Si
Palabras constantes	Longitud estándar	%KWi:L	%KW50:20	No
	Longitud doble	%KDi:L	%KD30:10	No
	Flotante	%KFi:L	%KF100:20	No
Palabras Grafcet	Palabras Grafcet	%Xi.T:L, %Xj.i.T:L	%X12.T:8	No
Palabras del sistema	Palabras del sistema	%SWi:L	%SW50:4	Si

2.6.1. Módulos I/O.

- ❑ **Requerimientos:** Para la selección de estos módulos del PLC se tuvo en cuenta la naturaleza de las señales eléctricas de los sensores, transmisores e instrumentos conectados al PLC. En la siguiente sección titulada mapeo de memoria se muestran los instrumentos conectados a cada entrada y su correspondiente variable de intercambio implícito, es decir variable asignada a esa entrada por defecto.
- ❑ **Selección:** Para cumplir con los anteriores requerimientos se seleccionan los siguientes módulos (Ver Figura 36.):

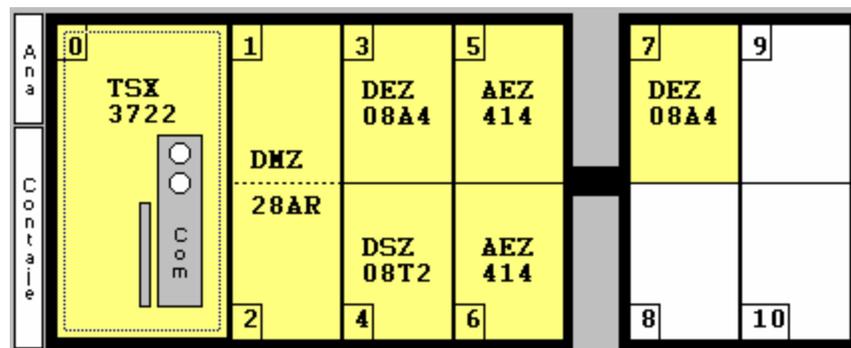
MÓDULO TSX DMZ 28AR. Ubicado en los slots 1 y 2, este módulo contiene 16 entradas digitales de 120VAC, 2 que pueden operar como entradas de conteo y 14 como TON compatibles con sensores de proximidad a dos hilos y 12 salidas a rele de 120VAC / 3A. La conexión física se realiza a través de terminales con tornillos y tiene una alimentación de 120VAC. Las salidas soportan cargas tanto inductivas como resistivas. Protegido con un disyuntor magnético de 0.5 A recomendado por el fabricante.

MÓDULO TSX DEZ 08A4. Para suplir la cantidad de entradas digitales mencionadas anteriormente son necesarios dos módulos de este tipo ubicados en los slots 3 y 7 los cuales poseen 8 entradas digitales de 120VAC con iguales características a las del módulo *TSX DMZ 28AR*. Alimentación de 120VAC. Protegido con un disyuntor magnético de 0.5 A recomendado por el fabricante.

MÓDULO TSX DSZ 08T2. Este módulo es utilizado para el control de los reles de estado sólido, para ello cuenta con 8 salidas digitales de 24VDC capaces de suministrar una corriente de 0.5A como máximo, lo cual es suficiente para la compuerta del rele de estado sólido, se encuentra protegido contra sobrevoltaje, polaridad inversa y corto circuito. Soporta hasta dos salidas en paralelo máximo y se encuentra en el slot 4 del PLC. Alimentación de 24VDC. Protegido con un disyuntor magnético de 10 A recomendado por el fabricante.

MÓDULO TSX AEZ 414. Estos dos módulos ubicados en los slots 5 y 6, en sus cuatro canales pueden soportar entradas tipo termocupla, RTD, de corriente o de voltaje. Poseen una precisión de 16 bits, período de muestreo de 520ms, filtrado a las entradas y no requieren alimentación externa.

Figura 36. Configuración del hardware en el PLC TSX Micro 3722 001.



2.6.2. Mapeo en memoria de las entradas y salidas. Basados en la configuración del PLC y los módulos seleccionados se procede con la asignación de las entradas y salidas tanto digitales como análogas a los canales del respectivo módulo (Ver tablas 3 a 13):

Tabla 3. Base PLC (2 canales de comunicación - Slot 0).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	N/A	Cx modbus slave
1	N/A	Cx modbus master

Tabla 4. Base PLC (8 entradas análogas - Slot 0).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
2	%IW0.2	MCR corriente de zona 1
3	%IW0.3	MCR corriente de zona 2
4	%IW0.4	MCR corriente de zona 3
5	%IW0.5	MCR corriente de zona 4
6	%IW0.6	MCR corriente de malla filtro
7	%IW0.7	MCR temperatura agua de enfriamiento
8	%IW0.8	Reserva
9	%IW0.9	Reserva

Tabla 5. Base PLC (1 salida análoga - Slot 0).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
10	%OW0.10	Reserva

Tabla 6. Base PLC (2 canales de contaje - Slot 0).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
11	N/A	Reserva
12	N/A	Reserva

Tabla 7. Módulo TSX DMZ 28AR (16 entradas – 120VAC – Slot 1).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%I1.0	Detector de proximidad inductivo (Conteo de tapas)
1	%I1.1	Reserva
2	%I1.2	Presóstato de baja presión de aire
3	%I1.3	Presóstato de baja presión de agua
4	%I1.4	Sensor óptico para la presencia de la cinta en el troquel
5	%I1.5	Sensor óptico para el acumulamiento de la cinta en el troquel
6	%I1.6	Micro interruptor para el acumulamiento de cinta en el troquel
7	%I1.7	Pulsador de aumento de fabricación
8	%I1.8	Rele térmico del motor del molino
9	%I1.9	Pulsador de disminución de fabricación
10	%I1.10	Micro interruptor para la presencia de aire en la rueda
11	%I1.11	Micro interruptor de la puerta lateral en el troquel
12	%I1.12	Micro interruptor de la puerta frontal en el troquel

13	%I1.13	Reserva
14	%I1.14	Reserva
15	%I1.15	Reserva

Tabla 8. Módulo TSX DMZ 28AR (12 salidas – 120VAC – Slot 2).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%Q2.0	Interlock
1	%Q2.1	Alarma luminosa
2	%Q2.2	Alarma sonora
3	%Q2.3	Reserva
4	%Q2.4	Reserva
5	%Q2.5	Reserva
6	%Q2.6	Reserva
7	%Q2.7	Reserva
8	%Q2.8	Reserva
9	%Q2.9	Reserva
10	%Q2.10	Reserva
11	%Q2.11	Reserva

Tabla 9. Módulo TAX DEZ 08A4 (8 entradas – 120VAC – Slot 3).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%I3.0	Reserva
1	%I3.1	Reserva
2	%I3.2	Pulsador de aumento de velocidad en los rodillos
3	%I3.3	Pulsador de disminución de velocidad en los rodillos
4	%I3.4	Pulsador de aumento de velocidad en la rueda
5	%I3.5	Pulsador de disminución de velocidad en la rueda
6	%I3.6	Pulsador de aumento de velocidad en el troquel
7	%I3.7	Pulsador de disminución de velocidad en el troquel

Tabla 10. Módulo TSX DSZ 08T2 (8 salidas – 24VDC – Slot 4).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%Q4.0	Rele de estado sólido de la zona1
1	%Q4.1	Rele de estado sólido de la zona2
2	%Q4.2	Rele de estado sólido de la zona3
3	%Q4.3	Rele de estado sólido de la zona4
4	%Q4.4	Rele de estado sólido de la malla filtro
5	%Q4.5	Reserva
6	%Q4.6	Reserva
7	%Q4.7	Reserva

Tabla 11. Módulo TSX AEZ 414 (4 entradas temperatura – Slot 5).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%IW5.0	Termocupla de la zona 1
1	%IW5.1	Termocupla de la zona 2
2	%IW5.2	Termocupla de la zona 3
3	%IW5.3	Termocupla de la zona 4

Tabla 12. Módulo TSX AEZ 414 (4 entradas análogas – Slot 6).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%IW6.0	Termocupla de melt
1	%IW6.1	Termocupla de la malla filtro
2	%IW6.2	Transmisor de presión 1 (4-20mA)
3	%IW6.3	Transmisor de presión 2 (4-20mA)

Tabla 13. Módulo TSX DEZ 08A4 (8 entradas – 120VAC – Slot 7).

CANAL	VARIABLE PLC	DESCRIPCIÓN
0	%I7.0	Reserva
1	%I7.1	Reserva
2	%I7.2	Reserva
3	%I7.3	Reserva
4	%I7.4	Reserva
5	%I7.5	Reserva
6	%I7.6	Reserva
7	%I7.7	Reserva

2.7. ELEMENTOS DEL BUS DE CAMPO.

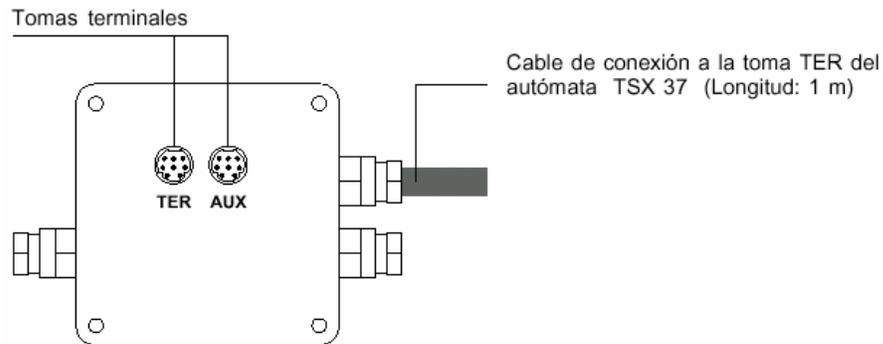
Estos elementos nos permiten establecer las comunicaciones entre los dispositivos industriales conectados al bus, además aseguran el correcto funcionamiento del sistema en general.

- Caja de derivación TSX PACC 01.
 - Requerimientos: Se requiere una caja de derivación que permita la comunicación entre la PANTALLA HMI (Maestro) y el PLC (Esclavo), mediante el protocolo Modbus.
 - Selección: Se selecciona una caja TSX PACC 01 que se conecta a la toma TER del PLC por medio de su cable, las dos tomas TER y AUX de la caja no están aisladas entre sí, tampoco de la toma TER del autómatas que suministra la alimentación.

La caja TSX PACC 01 (Ver Figura 37.) se alimenta de la toma TER del autómatas al que se encuentra conectada. Por esta razón, la toma TER de la caja permite conectar a equipos autoalimentados o no. En caso de que se quiera conectar la toma terminal de un segundo autómatas a una de las tomas de la caja TSX PACC 01, se deberá obligatoriamente usar la toma AUX para que no entren en conflicto las alimentaciones de los dos autómatas. Además la caja posee el acople de impedancia para la terminación de la línea

y es la única en los productos del fabricante que permite la colocación del PLC como esclavo.

Figura 37. Caja de derivación TSX PACC 01.



- Caja de derivación TSX SCA 50.
 - Requerimientos: Se requiere una caja de derivación que permita la comunicación entre los variadores (Esclavos) y el PLC (Maestro), mediante el protocolo Modbus.
 - Selección: Se selecciona una caja TSX SCA 50, esta caja permite la comunicación entre el PLC (Maestro) y los variadores (Esclavo), mediante el protocolo MODBUS. Además posee el acople de impedancia para la terminación de la línea, el cable que la une con la tarjeta de red Modbus-master del PLC es el TSX SCP CU 4030.

La caja de conexión TSX SCA 50 es de tipo pasivo e incluye un circuito impreso equipado con 3 juegos de bornes con tornillo. Se utiliza para conectar una estación por derivación (variadores en este caso) al tramo principal de un bus.

Al realizar un diseño de topología de red con un bus de campo, es ideal no utilizar tarjetas de red en cualquiera de las estaciones sean maestro o esclavo ya que estas incrementan los costos del proyecto. Por lo tanto es preferible que todas las estaciones manejen el mismo protocolo como estándar. En muchos casos esto se obtiene con un sistema en el que todas o la mayoría de las partes sean del mismo fabricante. Sin embargo esto a veces no es posible, por tal razón se recurre al uso de la tarjeta de red.

- Requerimientos: Se requiere una tarjeta que permita la comunicación entre el PLC y los variadores de velocidad a través del protocolo MODBUS.
- Selección: Se selecciona la tarjeta TSX SCP 114 para permitir la comunicación entre el PLC y los variadores de velocidad a través del protocolo MODBUS. Esta tarjeta tiene las siguientes características:
 - Tarjeta multiprotocolo RS 485 compatible RS422 aislada.
 - Se conecta a la red por medio del cable TSX SCP CU 4030 a través de la caja de conexión.

2.8. PANTALLA INDUSTRIAL (HMI).

- **Requerimientos:** Se requiere una pantalla industrial para visualizar datos procedentes del PLC, señalar y registrar los fallos del automatismo con fecha y hora, modificar parámetros del PLC y los variadores, dirigir el procedimiento mediante mandos todo o nada e imprimir el histórico de los fallos y los datos de producción. Con todas estas funciones se pueden realizar aplicaciones donde se tiene control de la producción, mantenimiento preventivo, correctivo y mando del procedimiento.
- **Selección:** Para cumplir con todos los requerimientos se selecciona una pantalla industrial Magelis XBT – F023110 más software de programación XBT – L1000 V3.5 de la marca Telemecanique, cuyas características son:

<i>Tipos de visualizador</i>	LCD 9.5”; 640*480 pixeles, STN monocroma 16 niveles de gris.
<i>Alimentación</i>	24 Vcc. Limite de tensión: 8 a 30 Vcc. Tasa de ondulación: 5% máximo. Consumo: 35W

Relé de alarma	1mA/5V mín. AC/DC
	0.5A/24V máx. AC/DC

2.9. FUENTES Y PROTECCIONES.

Debido a que la acometida principal de alimentación a la máquina es de 460 VAC y se tienen dispositivos que trabajan a tensiones de: 120 VAC, 220 VAC, 24 VDC y 10 VDC se hace necesario el uso de fuentes y transformadores que nos permitan alimentar e integrar los diferentes equipos.

Además es necesario el uso de elementos de mando general, para lograr esto se selecciona un disyuntor magnético principal o totalizador y un contactor principal que permita suspender la alimentación de los tableros de fuerza y control de la máquina

2.9.1. Alimentación a 120 VAC.

- Requerimientos: Se requiere alimentación de 120 VAC a partir de los 460VAC de alimentación principal para los siguientes equipos (Ver Tabla 14.):

Tabla 14. Consumo de energía por equipos para alimentar a 120VAC.

EQUIPO	CONSUMO
PLC	0.7 A
Módulo TSX DMZ 28AR: entradas	13 mA
2 Módulos TSX DEZ 0A4 (13 mA c/u)	26 mA
Accionamientos – 9 contactores (75 mA c/u)	0.7 A
Amplificador del sensor óptico que detecta el ancho de la cinta.	40 mA
Sistema de alimentación de materia prima de la marca AUTOLOAD.	150 mA
Fuente de 24 VDC	1.53 A

Fuente de 10 VDC	0.5 A
Alarma luminosa	63 mA
Alarma sonora	100 mA
Rele	75 mA
Sensores: ópticos (2) e inductivo (1)	0.3 A máx
TOTAL CONSUMO DE CORRIENTE	4.2 A

- Selección: Para poder obtener una tensión de 120 VAC a partir de los 460 VAC de la acometida principal, se selecciona un transformador de 460 VAC / 120 VAC de 1.5 KVA de potencia la cual esta por encima de la requerida (0.5 KVA), asegurando que se cuenta con un transformador de más potencia que permite cambios o adiciones de equipos futuros en la máquina.

$$P = VI$$

$$P = 120VAC \times 4.2A$$

$$P = 0.5KVA$$

Con este transformador se tiene una corriente de salida de 4.2 A y una corriente de entrada aproximadamente de:

$$I_e = \frac{P}{V_e}$$

$$I_e = \frac{504VA}{460VAC}$$

$$I_e = 1.09A$$

Con estas corrientes de operación se seleccionan los elementos de protección a la entrada y salida del transformador:

Disyuntor magnético de entrada 4A / 2 polos

Disyuntor magnético de salida 6A / 2 polos

2.9.2. Alimentación a 220 VAC.

- ❑ Requerimientos: Se requiere alimentación de 220 VAC a partir de los 460VAC de alimentación principal para los siguientes equipos (Ver Tabla 15.):

Tabla 15. Consumo de energía por equipos para alimentar a 220VAC.

EQUIPO	CONSUMO
Variador de velocidad Altivar ATV28 más el motor	3.3 A
Lámpara para iluminación interna del tablero	0.3 A
Aire acondicionado del tablero	4.4 A
TOTAL CONSUMO DE CORRIENTE	8 A

- ❑ Selección: Para poder obtener una tensión de 220 VAC a partir de los 460 VAC de la acometida principal, se selecciona dos transformadores:

1. 460 VAC / 220 VAC de 1.5 KVA. Para alimentación del variador y la lámpara cuya potencia consumida es:

$$P_{\text{trafol}} = VI$$

$$P = 220VAC \times 3.6A$$

$$P = 0.8KVA$$

2. 460 VAC / 220 VAC de 1.5 KVA. Para alimentación del aire acondicionado cuya potencia consumida es:

$$P_{trafol} = VI$$
$$P = 220VAC \times 4.4A$$
$$P = 0.9KVA$$

Con estos transformadores se tienen corrientes de salida de 2.8 A para el primero y de 4.4 A para el segundo, además se calculan las corrientes de entrada para las protecciones a sobre corriente así:

$$I_{trafol} = \frac{P}{V_e}$$
$$I_{trafol} = \frac{800VA}{460VAC}$$
$$I_{trafol} = 1.73A$$

$$I_{trafo2} = \frac{P}{V_e}$$
$$I_{trafo2} = \frac{900VA}{460VAC}$$
$$I_{trafo2} = 1.9A$$

Con estas corrientes de operación se seleccionan los elementos de protección a la entrada y salida del transformador:

Transformador 1.

Disyuntor magnético de entrada 4A / 2 polos

Disyuntor magnético de salida 6A / 2 polos

Transformador 2.

Disyuntor magnético de entrada 4A / 2 polos

Disyuntor magnético de salida 6A / 2 polos

2.9.3. Alimentación a 24 VDC.

- ❑ Requerimientos: Se requiere alimentación de 24 VDC a partir de los 120VAC de alimentación del transformador para los siguientes equipos (Ver Tabla 16):

Tabla 16. Consumo de energía por equipos para alimentar a 24VDC.

EQUIPO	CONSUMO
Pantalla industrial Magelis	1.5 A
Módulo TSX DSZ 08T2	35 mA
Convertidores de corriente-corriente / MCR (50mA c/u)	250 mA
TOTAL CONSUMO DE CORRIENTE	1.8 A

- ❑ Selección: Para poder obtener una tensión de 24 VDC a partir de los 120 VAC del transformador de 120 VAC se selecciona una fuente comercialmente de 24 VDC / 5 A de la marca Phoenix Contact.

Teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante en cuanto a corrientes de entrada y de salida máxima como son:

Corriente de entrada máxima = 1.53 A

Corriente de salida máxima = 5 A

Se seleccionan las siguientes protecciones:

Disyuntor magnético de entrada 2A / 1 polo

Disyuntor magnético de salida 4A / 1 polo

2.9.4. Alimentación a 10 VDC.

- Requerimientos: Se requiere alimentación de 10 VDC a partir de los 120VAC de alimentación del transformador para los siguientes equipos (Ver Tabla 17.):

Tabla 17. Consumo de energía por equipos para alimentar a 10VDC.

EQUIPO	CONSUMO
Transmisores de presión de Melt (2)	50 mA
TOTAL CONSUMO DE CORRIENTE	50 mA

- Selección: Para poder obtener una tensión de 10 VDC a partir de los 120 VAC del transformador de 120 VAC se selecciona una fuente comercialmente de 10 VDC / 3 A.

Teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante en cuanto a corrientes de entrada y de salida máxima como son:

Corriente de entrada máxima = 0.5 A

Corriente de salida máxima = 3 A

Se seleccionan las siguientes protecciones:

Disyuntor magnético de entrada 1A / 1 polo

Disyuntor magnético de salida 1A / 1 polo

2.9.5. Disyuntor magnético y contactor principal.

- Requerimientos: Se requieren estos equipos para asegurar la desconexión total de la acometida principal hacia los tablero de control y fuerza, para ello se tiene el siguiente análisis de las corrientes (Ver Tablas 18 y 19.) :

Tabla 18. Consumo de energía por equipo para selección de breaker.

CONTACTOR PRINCIPAL EQUIPO	CONSUMO
Transformador 1φ de 460 VAC / 220 VAC Variador ATV 28 - Lámpara	1.63 A
Transformador 1φ de 460 VAC / 220 VAC Aire acondicionado	1.9 A
Motor del molino	6.7 A
Motor / variador de los rodillos	3.3 A
Motor / variador de la rueda	4.1 A
Motor / variador del troquel	4.1 A
Motor / variador de la extrusora	41 A
Resistencias de calentamiento	19 A
TOTAL CONSUMO DE CORRIENTE	82 A

Tabla 19. Consumo de energía por equipo para selección de disyuntor.

DISYUNTOR MAGNÉTICO PARINCIPAL	
EQUIPO	CONSUMO
Carga del contactor principal	82 A
Transformador 1φ 460 VAC / 120 VAC	1 A
TOTAL CONSUMO DE CORRIENTE	83 A

- Selección: De acuerdo a los requerimientos se selecciona un contactor principal de la marca Telemecanique con referencia según catálogo de LC1 – D150F7 con capacidad de 150A y 75 kW. El disyuntor magnético seleccionado es de la marca Cuttler Hammer con una capacidad 125A.

2.10. TABLERO DE POTENCIA Y CONTROL.

- Requerimientos: Teniendo en cuenta las dimensiones de cada equipo y la ubicación que se le asigna en el tablero, se procede a organizarlos con base en la especificación técnica de cada uno. Se distribuyen las divisiones de cada tablero, tanto en el de potencia como en el de control, de arriba hacia abajo dejando los respectivos espacios para las canaletas por donde circulan los cables así:

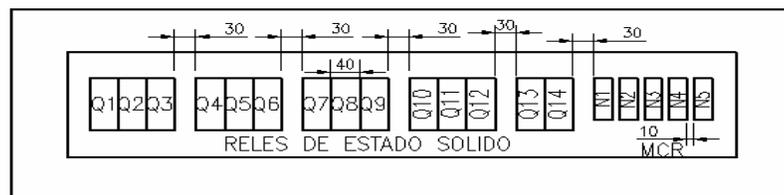
Primera división del tablero de potencia.

Reles de estado sólido: Según los datos del fabricante por su disipación de calor deben tener espaciamiento de: 30mm a los lados, 50mm por encima y 50 mm por debajo. Se ubican los catorce (14) en el punto más alto del tablero.

Dimensiones: Alto = 100mm – Ancho = 40mm.

Convertidores de corriente – corriente: Los cinco (5) convertidores solo tienen la especificación de estar separados 10mm y su ubicación obedece a que se encuentran en una de las fases de los grupos de relés de estado sólido por lo que se hace menor recorrido del cableado. Dimensiones: Alto = 80mm – Ancho = 30mm. (Ver Figura 38.)

Figura 38. Primera división del tablero de potencia.



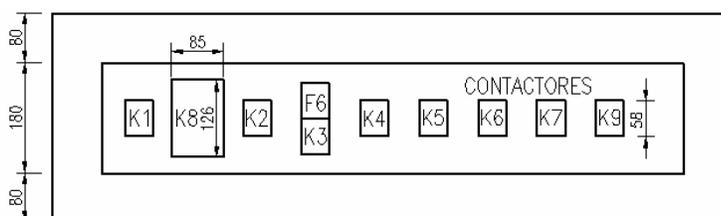
Segunda división del tablero de potencia.

Contactores: Debido a que se tienen nueve (9) contactores y uno de ellos es de tamaño considerable se ubican todos en la misma división teniendo en cuenta las dimensiones y que queden en línea hacia abajo con el equipo respectivo conectado con cada uno de estos contactores. No poseen especificaciones en cuanto al montaje, sin embargo, se colocan con separaciones de 30mm entre cada uno (Ver Figura 39.). Dimensiones:

- | | |
|--|-------------------------------|
| Contactador inserción de comandos (K1) | → Ancho = 45mm - Alto = 58mm. |
| Contactador activación PLC/Módulos (K2) | → Ancho = 45mm - Alto = 58mm. |
| Contactador Motor molino (K3) | → Ancho = 45mm - Alto = 58mm. |
| Contactador Sistema de alimentación (K4) | → Ancho = 45mm - Alto = 58mm. |
| Contactador Motor 1HP (K5) | → Ancho = 45mm - Alto = 58mm. |

- Contactor Motor troqueladora (K6) → Ancho = 45mm - Alto = 58mm.
- Contactor Motor rueda (K7) → Ancho = 45mm - Alto = 58mm.
- Contactor Motor extrusora (K8) → Ancho = 85mm - Alto = 126mm.
- Contactor circuitos de calentamiento (K9) → Ancho = 45mm - Alto = 58mm.

Figura 39. Segunda división del tablero de potencia.



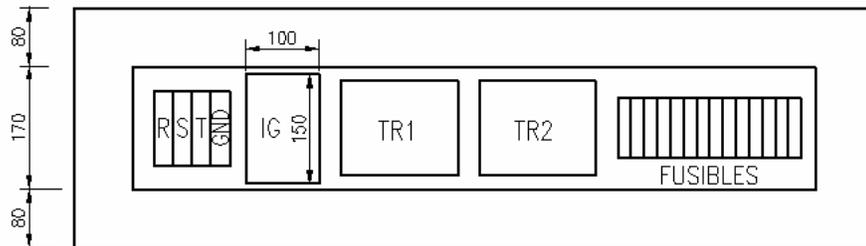
Tercera división del tablero de potencia.

Breaker principal: Se ubica en esta división para poder tener acceso desde la parte externa del tablero por medio de la manija rotativa ya que queda a una altura de 1.2mts para poder maniobrar con facilidad cuando se necesite. No posee especificación en cuanto a su montaje. Dimensiones: Alto = 150mm – Ancho = 100mm.

Transformadores: Se incluyen los dos transformadores: uno de 460VAC/120VAC y el otro de 460VAC/220VAC teniendo en cuenta el recorrido del cableado que va directamente desde el totalizador a las respectivas bobinas del primario. Dimensiones Alto = 130mm – Ancho = 180mm.

Fusibles: Posicionados en esta división dentro de sus portafusibles para facilitar el cableado de las fases R, S y T que llegan a ellos (Ver Figura 40.). Dimensiones: Alto = 120mm – Ancho = 25mm.

Figura 40. Tercera división del tablero de potencia.



Cuarta división del tablero de potencia.

Disyuntores magnéticos: Estos dispositivos se distribuyen en una misma división a fin de tener una referencia exacta de ellos al momento de activar o desactivar el equipo al cual comandan. Dimensiones:

* Disyuntor magnético, primario transformador 460/120 VAC (F1) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

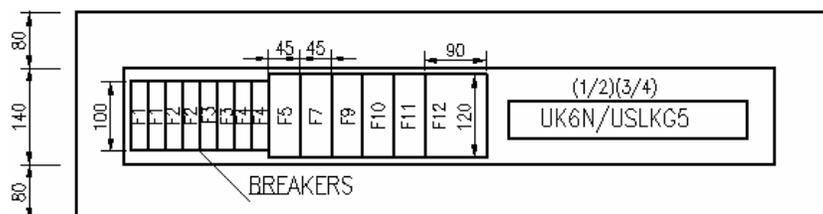
* Disyuntor magnético, secundario transformador 460/120 VAC (F2) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

* Disyuntor magnético, primario transformador 460/220 VAC (F3) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

- * Disyuntor magnético, secundario transformador 460/220 VAC (F4)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Motor molino (F5)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Sistema de alimentación AUTOLOAD (F7)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Motor rodillos (F9)→ Ancho = 45mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Motor troqueladora (F10)→ Ancho = 45mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Motor rueda (F11)→ Ancho = 45mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Motor extrusora (F12)→ Ancho = 90mm - Alto = 120mm.

Bornas comunes: Se colocan las bornas comunes Phoenix Contact de referencia UK6N y las bornas de tierra USLKG5 en esta división porque es aproximadamente la mitad del tablero, punto desde el cual se puede cablear más fácilmente hacia los diferentes instrumentos ubicados en el interior del gabinete (Ver Figura 41.).
Dimensiones: Ancho = 400mm – Alto = 50mm

Figura 41. Cuarta división del tablero de potencia.



Quinta división del tablero de potencia.

Variadores de velocidad e inductancias de líneas: Una de las divisiones más importantes donde se localizan los variadores de velocidad con sus inductancias de línea. Debido a que los variadores poseen sistema de ventilación interno, el fabricante recomienda realizar su montaje de tal forma que puedan tomar aire por su parte inferior y expulsar el aire caliente por la parte superior. Se debe tener en cuenta la profundidad de estos variadores para asegurar un cerrado correcto de la puerta (Ver Figura 42.). Dimensiones:

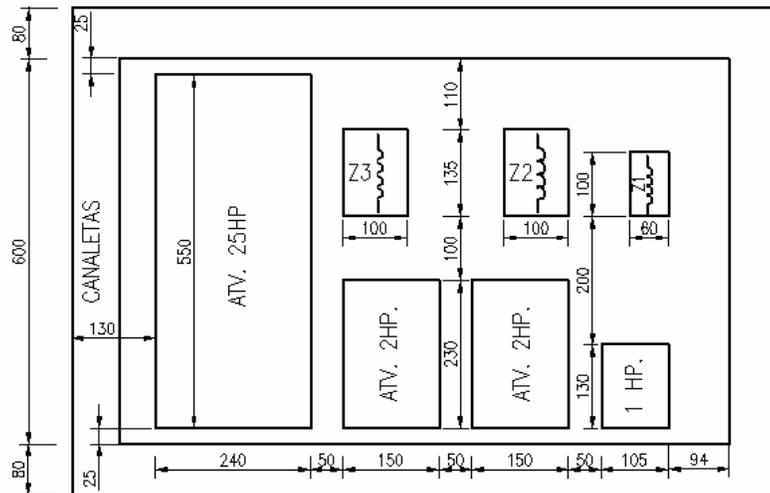
* Variador del motor de los rodillos → Ancho = 105mm - Alto = 130mm - Profundidad = 90mm.

* Variador del motor de la rueda → Ancho = 150mm - Alto = 230mm - Profundidad = 140mm.

* Variador del motor del troquel → Ancho = 150mm - Alto = 230mm - Profundidad = 140mm.

* Variador del motor de la extrusora → Ancho = 240mm - Alto = 550mm - Profundidad = 283mm

Figura 42. Quinta división del tablero de potencia.

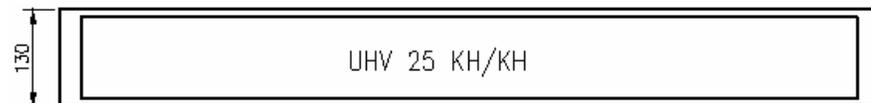


Sexta división del tablero de potencia.

Bornas de potencia: En esta última división se colocan las bornas de potencia desde las cuales se hace el cableado hacia los motores. Este cableado sale por la parte inferior del tablero a través de tubos conduit subterráneos (Ver Figura 43.).

Dimensiones: Ancho = 930mm – Alto = 120mm

Figura 43. Sexta división del tablero de potencia.



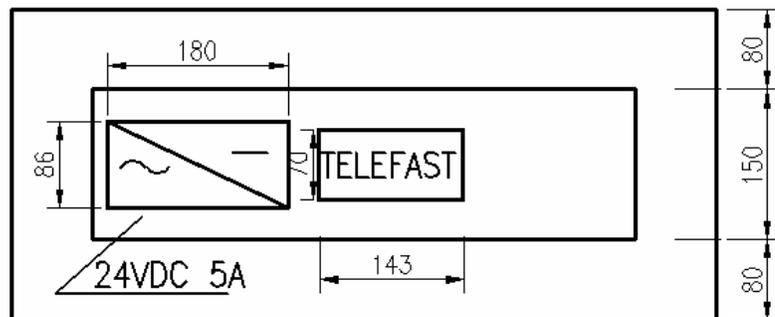
Primera división del tablero de control.

Fuente de 24VDC: La fuente de alimentación no posee algún tipo de especificación para su montaje en el tablero, se decidió ubicarla en la primera división para poder

cablear desde la parte inferior de esta que es donde se encuentran los terminales de salida positivo y negativo. Dimensiones: Ancho = 180mm – Alto = 86mm.

Telefast: El sistema TELEFAST permite la conexión rápida de los módulos de entradas y de salidas TON a los diferentes equipos e instrumentos. Sustituye a los bloques terminales con tornillos, desplazando así la conexión mono hilo. No presenta especificación para su montaje, solo se tuvo en cuenta el cable que de este equipo llega al PLC (Ver Figura 44.). Dimensiones: Ancho = 143mm – Alto = 70mm.

Figura 44. Primera división del tablero de control.



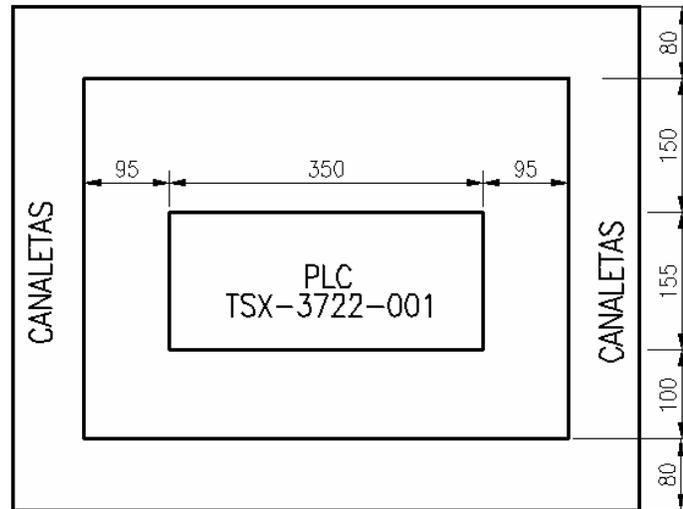
Segunda división del tablero de control.

PLC: Principal equipo dentro del tablero de control con el cual se deben seguir las especificaciones del fabricante en cuanto a su montaje en el tablero debido a la disipación de calor que presenta (Ver Figura 45.), estas son:

- Espaciamiento a cada lado del PLC: 90mm mínimo
- Espaciamiento superior e inferior: 100mm mínimo

Dimensiones del PLC más el rack de extensión: Ancho = 350mm – Alto = 155mm.

Figura 45. Segunda división del tablero de control.



Tercera división del tablero de control.

TSX PACC 01: Esta caja de derivación no posee especificación técnica para su montaje, se ubica en esta división para que quede contigua al PLC y poder realizar el cableado respectivo hasta ella. Dimensiones: Ancho = 120mm – Alto = 80mm

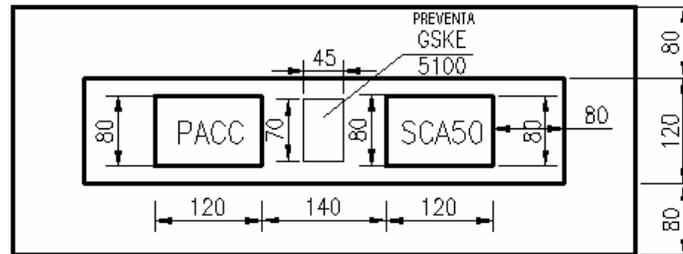
Preventa GSKE-5100: Este equipo que controla las paradas de emergencia se le asigna la ubicación dentro de esta división ya que no posee especificación técnica para su montaje. Dimensiones: Ancho = 45mm – Alto = 70

TSX SCA 50: Al igual que la PACC, esta caja de derivación no posee especificación técnica para su montaje, se ubica en esta división para que quede

contigua al PLC y poder realizar el cableado respectivo hasta ella (Ver Figura 46.).

Dimensiones: Ancho = 120mm – Alto = 80mm

Figura 46. Tercera división del tablero de control.



Cuarta división del tablero de control.

Disyuntores magnéticos de protección: Estos dispositivos se distribuyen en una misma división dentro del tablero de control a fin de tener una referencia exacta de ellos al momento de activar o desactivar el equipo al cual comandan (Ver Figura 47.). Dimensiones:

* Disyuntores magnéticos, Protección de entradas del módulo TSX DMZ 28AR (F13 a F17) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

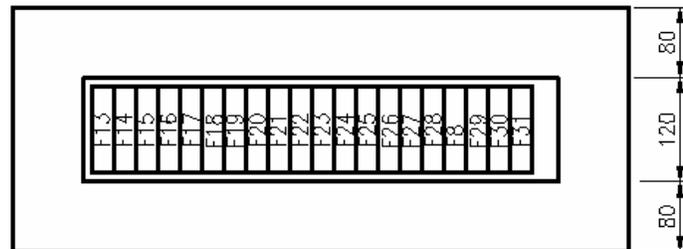
* Disyuntores magnéticos, Protección de salidas del módulo TSX DMZ 28AR (F18 a F21) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

* Disyuntores magnéticos, Protección de entradas del módulo TSX DEZ 08A4 (F22 a F24) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

* Disyuntor magnético, Protección de salidas del módulo TSX DSZ 08T2 (F25) → Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

- * Disyuntor magnético, Protección del PLC (F26)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Protección entrada (Fase 110VAC) de la fuente de 10VDC (F27)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Protección salida (Positivo) de la fuente de 10VDC (F28)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Protección de salidas del módulo TSX DSZ 08T2 (F29)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Protección de salidas del módulo TSX DSZ 08T2 (F30)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.
- * Disyuntor magnético, Protección de salidas del módulo TSX DSZ 08T2 (F31)→ Ancho = 25mm - Alto = 120mm.

Figura 47. Cuarta división del tablero de control.

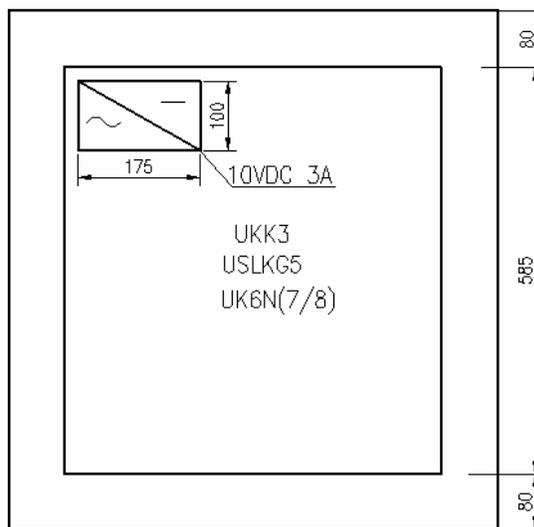


Quinta división del tablero de control.

Fuente de 10VDC: La fuente de alimentación no posee algún tipo de especificación para su montaje en el tablero, se decidió ubicarla en esta división debido a que fue uno de los últimos equipos seleccionados para excitar el transmisor de presión de melt. Dimensiones: Ancho = 180mm – Alto = 86mm.

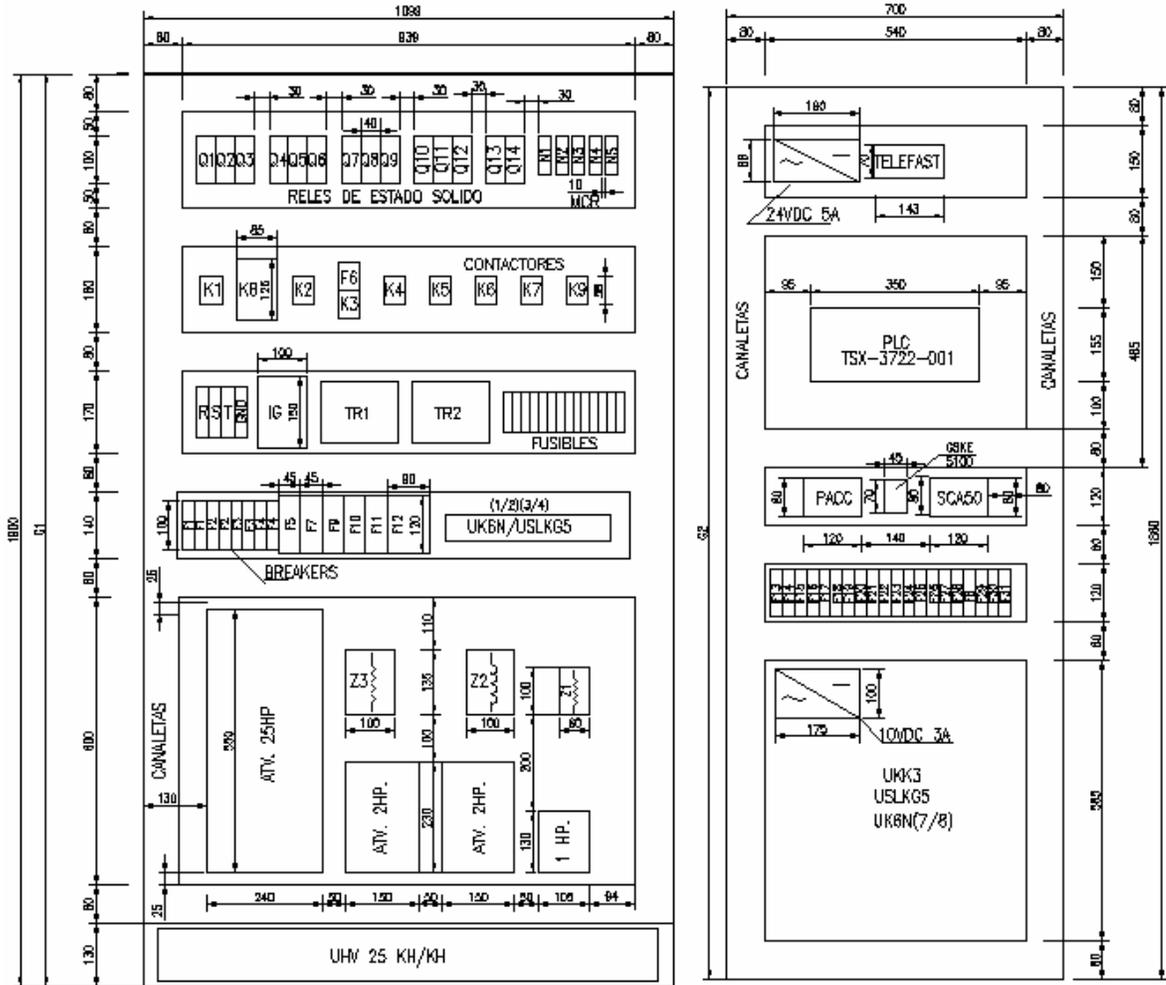
Bornas para sensores: En esta última división se colocan las bornas para los sensores desde las cuales se hace el cableado hacia las cajas de paso ubicadas en la máquina. Este cableado sale por la parte inferior del tablero a través de tubos conduit subterráneos (Ver Figura 48.). Dimensiones: Ancho = 700mm – Alto = 800mm.

Figura 48. Quinta división del tablero de control.



- Selección: Con base en la distribución de los equipos y cumpliendo con las especificaciones de montaje se procede a integrar las diferentes divisiones (Ver Figura 49.) tanto de potencia como de control, con lo cual se selecciona un tablero para potencia de 2 x 1.2 x 0.4 Mts y uno para control de 2 x 0.8 x .4 Mts marca Rittal.

Figura 49. Tablero de potencia y control.



2.11. VENTILACIÓN FORZADA.

Para realizar el cálculo del aire acondicionado se deben tener en cuenta los siguientes pasos recomendados por el fabricante para su selección:

1. Determinar la potencia aproximada de calor generada en el gabinete en Kcal/h

Teniendo en cuenta que la disipación de calor en Watts por cada variador y relés de estado sólido es:

Variador del motor de los rodillos	45 Watts
Variador del motor de la rueda	64 Watts
Variador del motor de la troqueladora	64 Watts
Variador del motor de la extrusora	670 Watts
14 Reles de estado sólido 8.2W c/u	115 Watts
Potencia total disipada	958 Watts

Los demás equipos dentro del tablero no presentan disipación de potencia considerable para los cálculos.

Sabiendo que:

$$Kcal / hr = Watts * 0.86$$

$$958W * 0.86 = 824 Kcal / hr$$

2. Entonces, se calcula la transferencia de calor como sigue:

- a. Determinar el área del gabinete en metros cuadrados, ignorando la parte de arriba.

Área del gabinete de fuerza

Profundidad = 0.4Mts

Ancho = 1.2Mts

Área del gabinete de fuerza

Profundidad $d = 0.4\text{Mts}$

Ancho $= 0.8\text{Mts}$

$$A_{\text{fuerza}} = 0.4 * 1.2 + 0.4 * 4 + 4.8 = 6.88\text{m}^2$$

$$A_{\text{fuerza}} = 0.8 * 4 + 0.4 * 0.8 = 3.52\text{m}^2$$

$$A_{\text{Total}} = 10.4\text{m}^2$$

- b. Determinar la temperatura diferencial entre la máxima temperatura externa y la máxima temperatura interna deseada. Entonces, usando la tabla de conversión de temperatura (métrica) entregada por el fabricante (Ver Tabla 19.), se determina las Kcal/hr./m^2 para el diferencial.

Tabla 20. Conversión de temperatura.

Temperatura diferencial °C	Kcal/hr./m ²
3	4.5
6	9.7
9	15.1
10	17.3
12	21
15	27
18	34
21	41

Disipación interna de calor = 958 Watts

Área del gabinete = 10.4m^2

Máxima temperatura externa (T_e) = 35 °C

Temperatura interna deseada (T_i) = 25 °C

Temperatura diferencial ($T_e - T_i$) = 10 °C

La tabla de conversión muestra que para temperatura diferencial de 10 °C se tienen 17.3 Kcal/hr./m², entonces:

$$\text{Carga de calor} = \text{Área del gabinete} * \text{Kcal/hr./m}^2$$

$$\text{Carga de calor} = 10.4\text{m}^2 * 17.3\text{Kcal / hr. / m}^2$$

$$\text{Carga de calor} = 179.92\text{Kcal/hr.}$$

Con lo anterior y sabiendo que 958Watts son 824 Kcal/hr, entonces se calcula la potencia del aire acondicionado:

$$\text{Carga de calor total} = 179.92 + 824 = 1003.92 \text{ Kcal/hr}$$

$$\text{Watts} * 0.86 = \text{Kcal/hr}$$

$$\text{Potencia del aire acondicionado} = \frac{\text{Kcal/hr}}{0.86}$$

$$\text{Potencia del aire acondicionado} = 1167.34\text{W}$$

- Selección: Con base en los cálculos realizados y sabiendo que la potencia del aire acondicionado debe ser de 1167W se selecciona un aire acondicionado comercial de 1100W de la marca Rittal de referencia SK 3393.500 cuyas características son:

* Tensión de servicio: 230V 50/60 Hz.

* Intensidad nominal: 4.2 A / 4.4 A.

* Intensidad de arranque: 9.8 A / 11.4 A.

- * Fusible T: 6 A / 6 A.
- * Potencia frigorífica útil: 830 W / 850 W.
- * Presión máxima admis.: 24 bar.
- * Campo de temperaturas: + 20 °C - +55 °C
- * Nivel de ruido: 62 dB (A)
- * Protección cto int/ext.: IP54 / IP 34

El aire acondicionado comercial con potencia inmediatamente superior a el obtenido por los cálculos es de 1500W y con un 30% de incremento sobre el costo del adquirido. Es por esta razón que se opta por el de 1100W, un poco inferior a lo obtenido pero se tiene en cuenta que en los cálculos se incluye el área del tablero de control que no tiene elementos considerables en cuanto a disipación de calor se refiere.

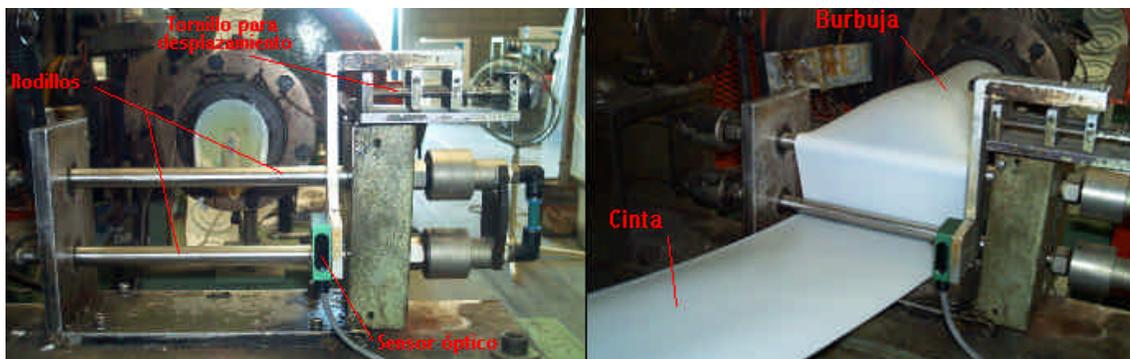
3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL

3.1. CONTROL DEL ANCHO DE LA CINTA.

Este controlador es el único que no hace uso del PLC, ya que se implemento de forma independiente para que la velocidad de respuesta sea más rápida. El objetivo es mantener el ancho de la cinta que sale de los rodillos en un valor fijo, con una zona muerta no mayor a una pulgada. Los elementos que integran este lazo de control son los siguientes:

- Sensor: Este sensor gracias a un sistema mecánico se puede desplazar a lo largo de los rodillos (Ver Figura 50), el setpoint depende del punto donde se quiere fijar el borde de la cinta, pudiendo de esta forma controlar el ancho. Las características más detalladas del sensor se encuentran en el literal 2.1.6 (Pág. 48), sin embargo en esta sección es de gran importancia conocer el patrón de radiación cuyo diagrama se muestra en la Figura 51.

Figura 50. Control para el ancho de la cinta.



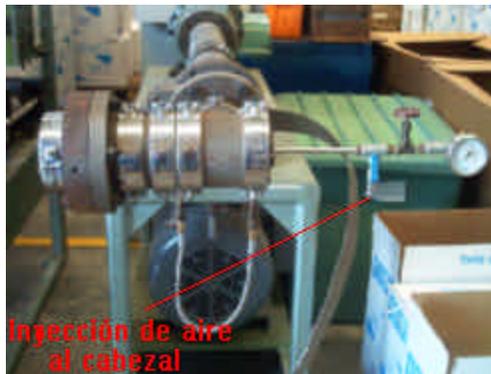
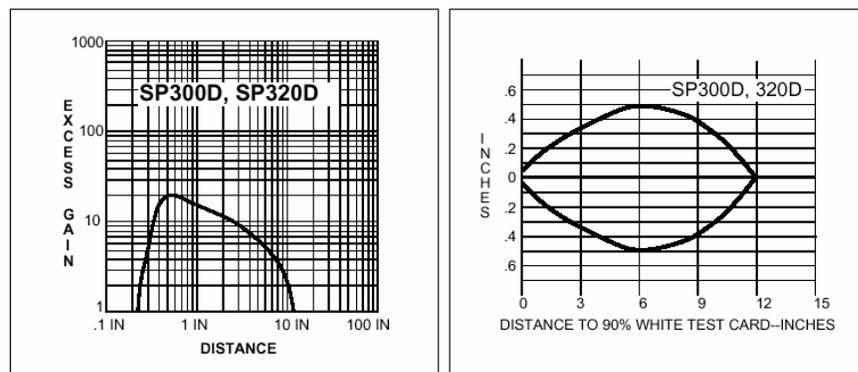


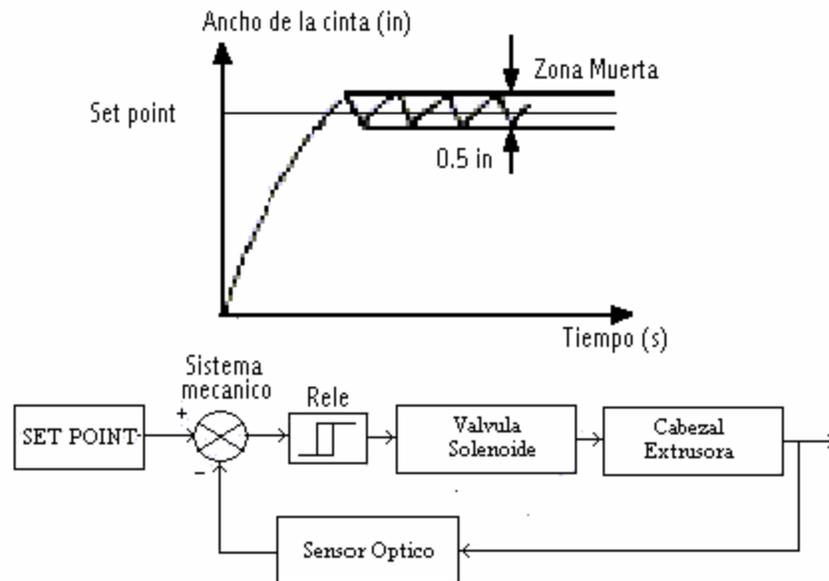
Figura 51. Patrón de radiación para el sensor del ancho de la cinta.



- Actuador: Válvula solenoide de dos posiciones tres vías, la cual recibe la señal ON/OFF del rele para permitir ó interrumpir la entrada de aire en la burbuja. Sus características se detallan el literal 2.2.1 (Pág. 58).
- Comparador: En este caso el elemento comparador es el sistema mecánico que desplaza el sensor a lo largo de los rodillos, el cual compara la posición en la que el mismo se encuentra (Setpoint) con la señal del sensor.

Cuando el sensor detecta cinta es porque esta se encuentra muy ancha e inmediatamente se suspende la entrada de aire en la burbuja, al no entrar aire, la cinta comienza a reducirse hasta salir del área de detección del sensor, al salir completamente nuevamente se permite la entrada de aire en la burbuja creando así una oscilación en el ancho de la burbuja que se conoce como zona muerta. Teniendo en cuenta el ancho del área de detección del sensor óptico de 0.6 in a 2 in del sensor (Distancia entre los rodillos y el sensor), las pruebas arrojaron una zona muerta de 0.5 in en 3 seg. Resultado que se mostró bastante bueno para esta aplicación. La Figura 52 ilustra el fenómeno de la zona muerta junto con el diagrama de bloques del lazo de control:

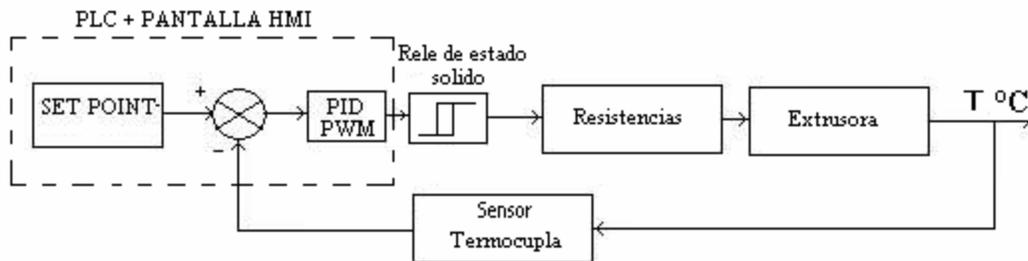
Figura 52. Respuesta del sistema con el controlador ON/OFF y diagrama de bloques del lazo de control.



3.2. CONTROL DE TEMPERATURA EN ZONAS DE CALENTAMIENTO.

Se requieren cuatro PID debido a que se tienen cuatro (4) zonas de calentamiento de forma independiente; el esquema del lazo de control de temperatura para las diferentes zonas es (Ver Figura 53.):

Figura 53. Diagrama de bloques del lazo de control de temperatura en las zonas de calentamiento.



Los elementos que integran este lazo de control son los siguientes:

- Sensor: Termocupla tipo J.
- Actuador: Relé de estado sólido.
- Controlador: PLC mediante funciones PID y PWM.

Como se observa en la figura anterior el modulo PWM digitaliza la salida del PID, con esto se controla la potencia suministrada a la carga a partir de una señal digital de 24 VDC.

El valor RMS de corriente aplicado a la resistencia varía directamente la potencia RMS suministrada logrando finalmente variar el calor disipado y tener control sobre la temperatura.

Los controladores de cada zona difieren es en los valores de los setpoint así:

Para temperaturas de calentamiento:

Setpoint Zona 1 = 240° C

Setpoint Zona 2 = 248° C

Setpoint Zona 3 = 245° C

Setpoint Zona 4 = 260° C.

Para temperaturas de operación:

Setpoint Zona 1 = 208° C

Setpoint Zona 2 = 213° C

Setpoint Zona 3 = 210° C

Setpoint Zona 4 = 224° C.

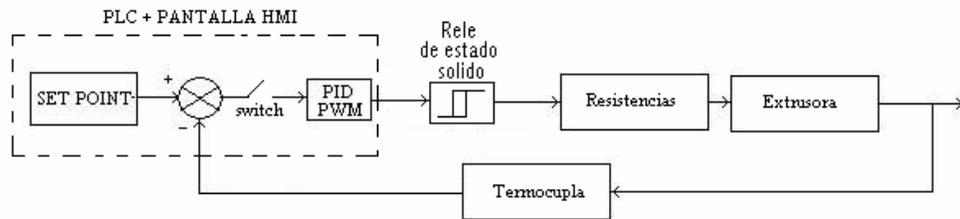
Este control se encuentra habilitado para operar en forma automática o manual donde el usuario encargado podrá variar las acciones de control (P, I, D) a fin de obtener un proceso estable en el menor tiempo posible, es decir, se controlará la temperatura en la zona de calentamiento determinada con la simple selección del modo de funcionamiento en la pantalla industrial.

3.3. CONTROL DE TEMPERATURA EN LA MALLA.

La operación de este lazo de control es similar a la del control en las zonas de calentamiento, la diferencia radica en que el PID posee un interruptor (bit interno del PLC) que permite activar o desactivar el funcionamiento de este (Ver Figura 54.). De acuerdo a

la descripción del proceso solamente se utiliza en el momento de realizar el corrimiento de la malla filtro, su setpoint es 200° C.

Figura 54. Lazo de control de temperatura para la malla filtro.



Como se puede notar en la figura 54 las partes mas relevantes del lazo de control son:

- Sensor: Termocupla tipo J.
- Actuador: Relé de estado sólido.
- Controlador: PLC a través de las funciones PID y PWM.

3.4. FUNCIONES INTERNAS DE REGULACIÓN PID Y PWM PROGRAMADAS EN EL PLC.

Función PID.

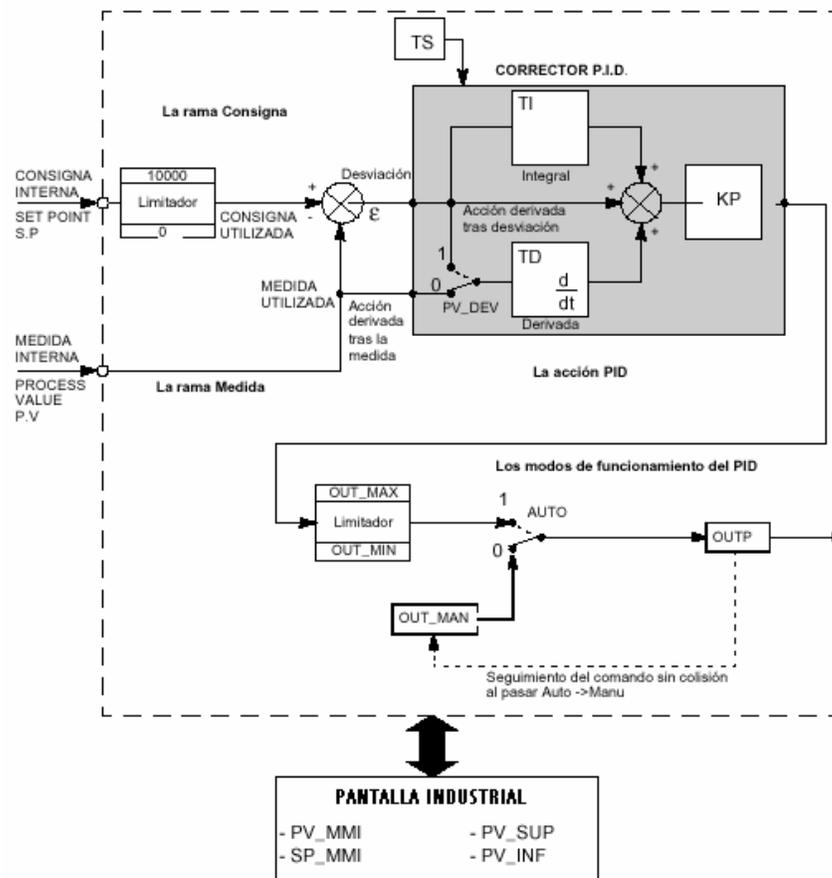
La función PID interna del PLC realiza una corrección PID a partir de una medida y de una consigna analógica en el formato [0 - 10000] y proporciona un comando analógico del mismo formato. El PID incluye las siguientes funciones:

- Algoritmo PID serie / paralela.
- Acción directa / inversa (según el signo de la ganancia KP).
- Acción derivada en la medida o en la desviación.
- Limitación alta y baja de la consigna a [0 - 10000].
- Limitación alta y baja de la salida en modo automático.
- Antisaturación de la acción integral.
- Modos de funcionamiento Manual/Automático sin colisión tras cambio.

- Control del acceso PID mediante la pantalla industrial.
- Funcionamiento en integrador para (KP = TD = 0).

La Figura 55 presenta el principio de funcionamiento de la función PID.

Figura 55. Función PID.



La sintaxis de llamada de la función PID es:

PID(TAG,UNIT,PV,OUT,AUTO,PARA)

Parámetros de la función PID

El cuadro 11 presenta los diferentes parámetros de la función PID.

Cuadro 11. Parámetros de la función PID.

Parámetro	Naturaleza IN = Entrada OUT = Salida	Valor por de- fecto	Descripción
TAG	IN	-	Nombre utilizado del PID
UNIT	IN	-	Unidad de medida del PID
PV	IN	-	Entrada que representa la medida para la función.
OUT	OUT	0	Salida analógica del PID. Si TI = 0, se añade un offset de 5000 a la salida OUT en modo Auto.
AUTO	IN / OUT	0	Modo de funcionamiento del PID 0 : manual, 1 = Auto.
PARA	IN / OUT	-	(Véase la siguiente tabla para el detalle de la tabla PARA).

Los siguientes cuadros presentan los diferentes parámetros de la tabla PARA:

Parámetro	Función
SP	Consigna interna en formato 0/10000.
OUT_MAN	Valor de la salida manual del PID (entre 0 y 10000)
KP	Ganancia proporcional del PID (x100), con signo sin unidad (-10000<KP<+10000). El signo de Kp determina el sentido de acción del PID (negativo: sentido directo, positivo sentido inverso)
TI	Tiempo de integral del PID (entre 0 y 20000) expresado en 10-1 segundos
TD	Tiempo de derivada del PID (entre 0 y 10000) expresada en 10-1 segundos

TS	Periodo de muestreo del PID (entre 1 y 32000) expresado en 10-2 segundos. El periodo de muestreo real será el múltiplo del periodo de la tarea en la que se implante el PID más próximo a TS
OUT_MAX	Límite superior de la salida del PID en modo automático. (entre 0 y 10000)
OUT_MIN	Límite inferior de la salida del PID en modo automático. (entre 0 y 10000)
PV_DEV	Elección de acción derivada 0 = en medida, 1 = en desviación
NO_BUMP	Modo con o sin colisión. 0 = con colisión, 1 = sin colisión
DEVAL_MMI	= 1 : inhibe la toma en cuenta del PID por parte del diálogo de operador. = 0 : el PID se explota mediante el diálogo operador. Este bit permite no hacer conversiones de escala en los PID no explotados por el CCX_17, así como seleccionar los PID explotados, sobre todo en el caso de más de 9 PID en la aplicación PL7.

Reglas.

No hay alineación de la consigna interna en la medida en modo manual. Las puestas a escala sólo tienen lugar tras la modificación de una de las consignas (SP o DOP_SP). El algoritmo sin acción integral (TI = 0) efectúa la siguiente operación:

Para:

$$e.t = SP - PV$$

Entonces

$$OUT = KP(e.t + Dt) / 100 + 5000$$

Con Dt = acción derivada.

El algoritmo con acción integral (TI <0) efectúa la siguiente operación:

Para:

$$e.t = SP - PV$$

$$e.t = SP - PV$$

Entonces

$$\begin{aligned}\Delta OUT &= KP[\Delta e.t + (TS / 10.TI)e.t + \Delta Dt / 100OUT] \\ &= OUT + \Delta OUT\end{aligned}$$

Con Dt = acción derivada.

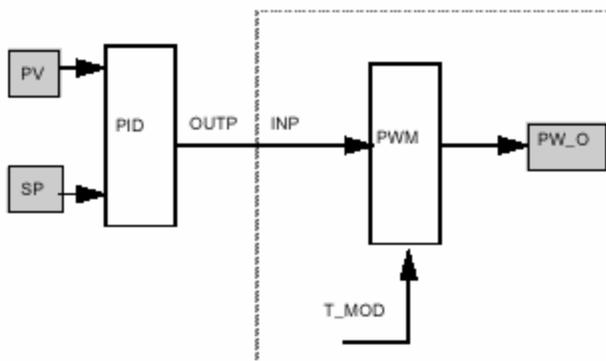
En un arranque en frío del PLC, el PID vuelve a ponerse en marcha en modo manual, salida a 0. Para imponer el modo automático o una salida manual no nula tras un arranque en frío, se programa la secuencia de inicialización después de la llamada del PID.

Función PWM.

La función PWM permite realizar la regulación mediante la longitud de impulsos en una salida TON. Es una función que formula la salida del PID. La longitud de los impulsos depende de la salida del PID (entrada INP de la función PWM) y del periodo de modulación. Cabe resaltar que el periodo de muestreo del PWM debe ser igual al periodo de ciclo del PID.

La sinopsis de funcionamiento de la función se muestra en la Figura 56.:

Figura 56. Función PWM.



La sintaxis de llamada de la función PWM es:

PWM(INP,PW_0,PARA)

El siguiente cuadro presenta los diferentes parámetros de la función PWM.

Cuadro 12. Parámetros de la función PWM.

Parámetro	Naturaleza IN = Entrada OUT = Salida	Descripción
INP	IN	Valor analógico para modular la longitud del impulso (formato [0 - 10000])
PW_0	OUT	Salida lógica (TON) cuyo informe de forma es la imagen de la entrada INP
PARA	IN / OUT	Periodo de modulación expresado en 1/100 segundos (entre 0 y 32767).T_MOD debe ser superior o igual al periodo de la tarea actual, y el sistema lo ajusta para que sea un múltiplo entero de ésta. Tabla de 5 palabras en la que la primera palabra corresponde al parámetro T_MOD. Los siguientes se emplean en modo interno mediante la función y la aplicación nunca los deberá modificar

3.4.1. Método de ajuste de los parámetros PID para las zonas de calentamiento.

Existen numerosos métodos de ajuste de parámetros de un PID, el que se aplicó es el de Ziegler y Nichold de ajuste en lazo abierto o también conocido como método de la curva de reacción.

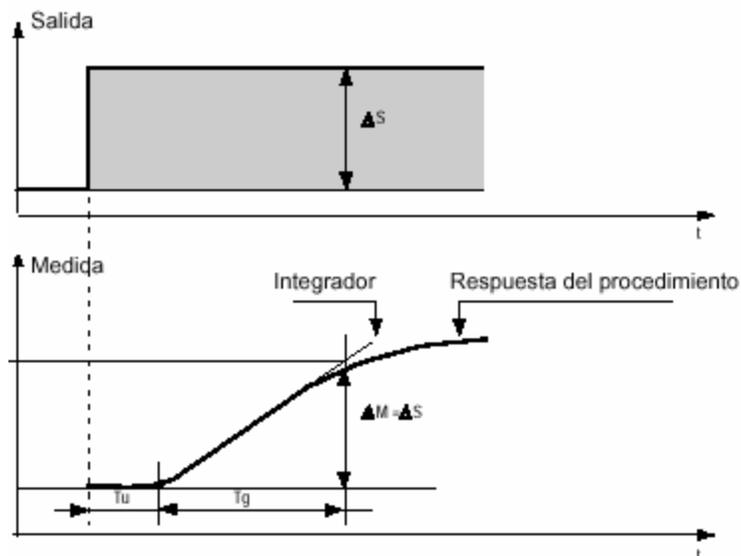
Antes de poner en marcha el método, es necesario determinar el sentido de acción del PID. Todos los PID de las zonas de calentamiento, incluido el de la malla cambia filtro son de acción inversa, ya que el controlador presenta un decremento en la señal de salida, cuando hay un incremento en la señal de entrada.

Con estos conocimientos de las características del proceso se puede seleccionar el signo de la ganancia, en este caso obtenemos $K_p > 0$.

Ajuste del PID en lazo abierto.

Cuando el regulador de cada zona de calentamiento está en modo manual, se aplica un escalón (Figura 57.) en la salida y se asimila el comienzo de la respuesta del procedimiento con un integrador con retraso puro.

Figura 57. Ajuste del PID en lazo abierto.



El punto de intersección de la derecha representativa del integrador con el eje de los tiempos determina el tiempo T_u . A continuación, se define el tiempo T_g como el tiempo necesario para que la variable controlada (medida) pueda variar con la misma amplitud (en % de escala) que la salida del regulador.

Los valores obtenidos del proceso para el regulador PID con una salida al 100% nos entrega:

$$T_u = 120\text{seg}$$

$$T_g = 1500\text{seg}$$

Según el tipo de regulador (PID o PI), el ajuste de los coeficientes se lleva a cabo con los siguientes valores:

Cuadro 13. Coeficientes según Ziegler y Nichold.

-	Kp	Ti	Td
PID	-1,2 Tg/Tu	2 x Tu	0,5 x Tu
PI	-0,9 Tg/Tu	3,3 x Tu	-

$$Kp = 1.2 \frac{Tg}{Tu} = 15$$

$$Ti = 2 * Tu = 240seg$$

$$Td = 0.5 * Tu = 60seg$$

Con estos valores se obtiene un sobre impulso del 3.5% y un error en estado estable de 1%, los cuales se consideran aceptables para el desempeño de la aplicación.

Este método de ajuste muestra un comando muy dinámico que se puede traducir en superaciones no deseadas durante los cambios de puntos de consigna. En este caso, se deberá bajar el valor de la ganancia hasta obtener el comportamiento deseado. El interés de este método reside en el hecho de que no precisa ninguna hipótesis respecto a la naturaleza y al orden del procedimiento. También se aplica tanto a los procedimientos estables como a los procedimientos realmente integradores.

Es especialmente interesante en el caso de los procedimientos lentos (industria del vidrio, industria del plástico, calentamiento de extrusoras...) ya que el usuario sólo precisa el comienzo de la respuesta para ajustar los coeficientes Kp, Ti y Td.

3.5. CONTROLES ADICIONALES.

Para la correcta operación de la máquina no son suficientes los lazos de control anteriormente mencionados, por lo cual se hace necesario implementar una serie de controles no convencionales que permitan manejar:

- La velocidad de fabricación.
- Sincronismo de velocidad entre motores.
- El peso de tapas plásticas fabricadas.
- Estadísticas de producción.

3.5.1. Control de velocidad de fabricación y sincronismo entre motores. El control de la velocidad de fabricación se hace necesario para propósitos de obtener la mayor eficiencia y rendimiento en la máquina. Este control es llevado a cabo por medio de la variación de velocidades en los motores de la rueda, troquel y rodillos.

El mayor rendimiento se obtiene analizando entre los motores de la rueda, el troquel y los rodillos, cual de estos a su máxima velocidad posee la menor capacidad de procesar tapas por minuto

Sabiendo que:

$$RPM = \frac{120 \times Hz}{\#de_polos}$$

Se tiene la siguiente tabla con la ayuda de las pruebas realizadas a la máquina:

Cuadro 14. Análisis experimental en la máquina.

	Motor Rueda	Motor Rodillos	Motor Troquel
Velocidad a 60 Hz	1680 RPM	1725 RPM	1680 RPM
Tapas/minuto	164	601	164
	Motor Rueda	Motor Rodillos	Motor Troquel
Velocidad a 30 Hz	840 RPM	862.5 RPM	840 RPM
Tapas/minuto	82	300.5	82

Como se puede observar en las tablas anteriores se realizaron pruebas a 30 y 60Hz, que es el rango de frecuencias mas recomendado para la variación de velocidad de motores manteniendo el torque constante. Los motores de la rueda y el troquel son los que tienen menor capacidad de procesar tapas por minuto, por lo que el rango de la velocidad de fabricación depende de ellos, quedando entre 82 y 164 tapas / minuto aprox.

La variación de velocidad en estos motores se realiza en lazo abierto, lo que indica no hacer uso de sensores de velocidad, sin embargo el variador de velocidad de cada motor nos entrega a través del bus de campo un valor bastante aproximado o igual a la velocidad en Hz y RPM a la salida del motor.

Este control se logra escribiendo en forma proporcional las diferentes consignas de velocidad en Hz, en los motores de la rueda, el troquel y los rodillos, a partir del valor de la velocidad de fabricación en tapas / minuto, ajustada por el operador.

El cálculo de las constantes proporcionales para los motores de la rueda, el troquel y los rodillos, es de la siguiente manera:

- Motor de la rueda y troquel.

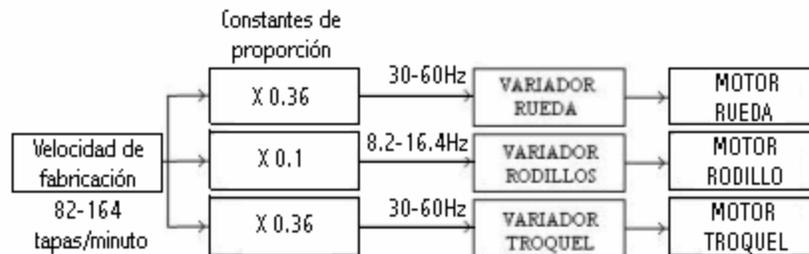
$$K = \frac{\text{Velocidad_en_Hz}}{\text{Tapas_por_Minuto}} = \frac{60_Hz}{164_tapas/min} = 0.36 \frac{(Hz)(min)}{tapas}$$

- Motor del rodillo.

$$K = \frac{\text{Velocidad_en_Hz}}{\text{Tapas_por_Minuto}} = \frac{60_Hz}{601_tapas/min} = 0.1 \frac{(Hz)(min)}{tapas}$$

Teniendo este análisis presente, se realiza un diagrama de bloques (Ver Figura 58.) para este control donde se obtiene el rango de variación de frecuencia necesario para obtener velocidad de fabricación entre 82 y 164 tapas/minuto a partir de las respectivas constantes de proporción, queda de la siguiente manera:

Figura 58. Diagrama de bloques – velocidad de fabricación.



Esta escritura de variables es posible gracias al bus de campo modbus en el que se encuentran: El PLC, los variadores de velocidad y la pantalla industrial.

Aumentar la velocidad de fabricación implica, un mayor consumo de producto por unidad de tiempo y un aumento considerable de presión en el barril de la extrusora.

3.5.2. Control del peso de las tapas.

Este es uno de los controles más importantes, ya que de este depende la calidad del producto, y que no haya pérdidas de materia prima en su fabricación.

Es llevado a cabo en forma automática por el controlador, el peso es directamente proporcional a la velocidad de la extrusora e inversamente proporcional a la velocidad de fabricación.

Sin embargo aunque el peso puede ser controlado, manipulando la velocidad de fabricación o la velocidad de la extrusora, es preferible, casi imperativo mantener constante la velocidad de fabricación y variar solamente la velocidad de la extrusora para mantener constante el rendimiento de la máquina.

Inicialmente se pensó en controlar el peso a partir de la presión en el interior del barril de la extrusora, aunque se puede implementar este control en lazo cerrado con cualquiera de los transmisores de presión antes y después de la malla filtro, se decide no implementarlo por las siguientes razones:

- En realidad lo que se quiere controlar es el peso de las tapas, no la presión en la extrusora.

- Aunque la presión es una variable que está muy relacionada con el peso de las tapas, esta puede afectar el funcionamiento de la máquina en los siguientes casos, si se decide implementar un control de presión:
 - Si se cierra el lazo del controlador de presión con el transmisor que se encuentra antes de la malla filtro; ocurre que, cuando la malla se ensucie gradualmente, de esta misma forma el controlador disminuirá paulatinamente la velocidad del motor de la extrusora para poder mantener constante la presión, obteniendo como resultado final velocidad cero en el motor, no activación de la alarma de alta presión y caída a cero del flujo másico a la salida.

 - Si se cierra el lazo del controlador de presión con el transmisor que se encuentra después de la malla filtro; ocurre que, cuando la boquilla se ensucie gradualmente, de esta misma forma el controlador disminuirá paulatinamente la velocidad del motor de la extrusora para poder mantener constante la presión, obteniendo como resultado final velocidad cero en el motor, no activación de la alarma de alta presión y caída a cero del flujo másico a la salida.

Si por el contrario la boquilla se afloja, el controlador aumentará la velocidad del motor de la extrusora con el objetivo de mantener constante la presión, obteniendo como resultado final velocidad máxima en el motor, no activación de la alarma de alta presión y derrame del producto a la salida de la extrusora.

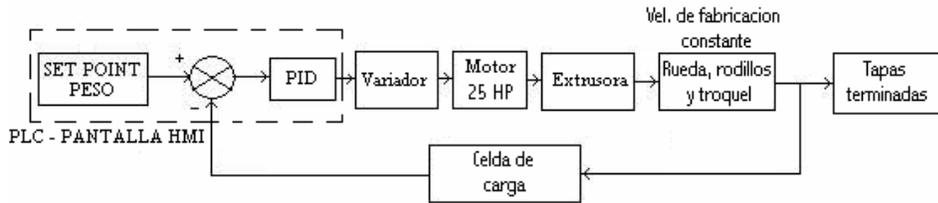
Después de sopesar los anteriores inconvenientes, se toma la decisión de manipular la velocidad del tornillo o husillo de la extrusora, para controlar directamente el peso de las tapas manteniendo constante la velocidad de fabricación. Utilizando como elemento sensor una celda de carga a la salida del troquel.

Como el valor estimado de la velocidad puede ser leído en un registro de memoria del variador a través del bus de campo, además la única perturbación de la velocidad es un fallo en el motor, en cuyo caso se activa la alarma; se decide manipular esta variable en lazo abierto.

Otra característica favorable de esta opción de control, es que no es afectada por el sucio en la malla filtro o por obstrucción en la boquilla de la extrusora.

Si el sucio en la malla es lo suficientemente grande o la obstrucción en la boquilla de la salida de la extrusora, entonces, la presión interna del barril o la presión diferencial en la malla filtro exceden los valores nominales de operación y por lo tanto se generaran alarmas a partir de las señales de los transmisores de presión. El siguiente diagrama ilustra el funcionamiento del controlador de peso (Ver Figura 59.):

Figura 59. Diagrama de bloques del controlador automático de peso.



3.5.3. Control estadístico de la producción.

Con el propósito de llevar un control preciso de la cantidad de tapas fabricadas por turno, mes, y minutos, es necesario implementar este sistema conformado por sensores y contadores encargados de realizar la detección y almacenamiento de la información respectiva. Cada uno de estos contadores se encuentra programado en el PLC y su funcionamiento es el siguiente:

- Contador de tapas por turno: Este contador como su nombre lo indica es el encargado de registrar la cantidad de producción en un turno. El reset de este contador es activado al iniciar un nuevo turno mediante la pulsación del botón respectivo en la pantalla industrial.
- Contador de tapas por mes: El funcionamiento de este contador solo difiere al del contador de tapas por turno en el momento de activar el reset, el cual es activado solamente al final del mes o cuando se realizan cambios en la orden de producción.
- Contador de tapas por minuto: Este contador registra la cantidad de tapas fabricadas en un minuto, automáticamente se activa el reset al finalizar el minuto y nuevamente inicia el conteo, el valor alcanzado antes de la activación del reset queda almacenado en un registro de memoria del PLC y es actualizado cada minuto.

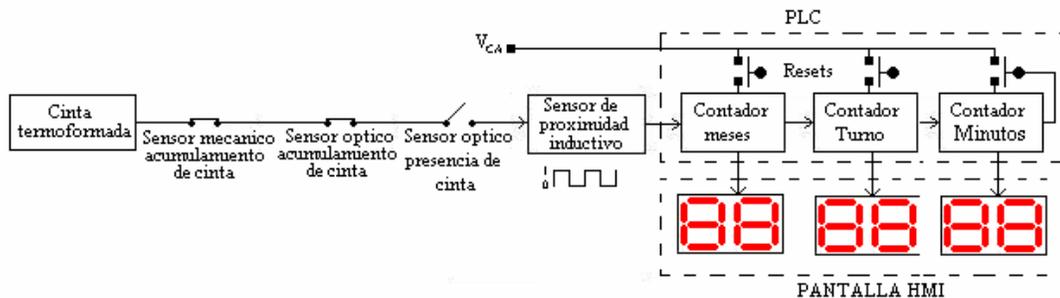
El valor almacenado en la memoria del PLC es la velocidad en fabricación de tapas por minuto.

Estos tres contadores son habilitados si se cumplen las dos condiciones siguientes:

- Hay cinta en el troquel.
- No hay cinta acumulada en el troquel.

El siguiente grafico ilustra el funcionamiento de estos contadores (Ver Figura 60.):

Figura 60. Diagrama de bloques del Sistema de control estadístico para la producción de tapas.



3.6. RED DE COMUNICACIÓN.

Los diferentes controles que se han sustentado se integran como un todo, sumado a éstos la topología de red usada y la forma en que se manejarán las paradas de emergencia, se conforma un sistema relativamente complejo que es en esencia la estrategia de control empleada para el funcionamiento correcto y operativo de la máquina.

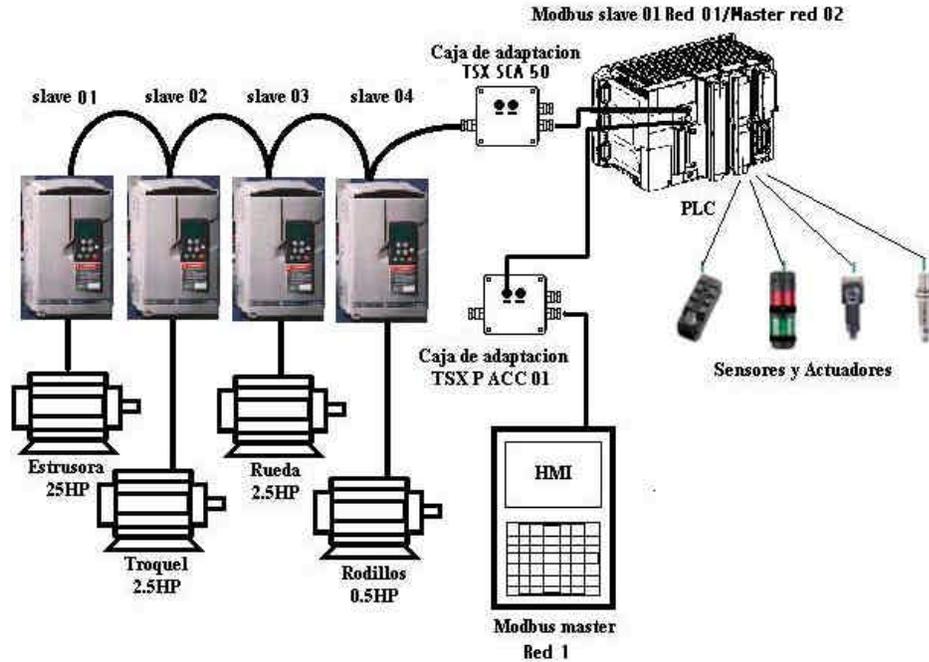
Previamente se han explicado los lazos de control convencionales y no convencionales, como también la forma en que los instrumentos participan en cada uno de ellos, resta la

estrategia de red utilizada y el monitoreo de las paradas de emergencia fundamentales en la operación y procedimientos empleados.

El sistema consta de una red MODBUS RTU a 19200bps, la cual integra la pantalla industrial Magelis (HMI), el PLC y los variadores. En esta red la pantalla industrial actúa como maestro y el PLC junto con los variadores como esclavos. Desde la pantalla se pueden observar parámetros en tiempo real, estado de alarmas y realizar ajustes sobre los controladores de temperatura y velocidad. Debido a que la pantalla es principalmente usada para el monitoreo, el PLC y los variadores están en capacidad de continuar con el proceso inclusive si se interrumpe la comunicación con la pantalla, pero generando siempre una alarma.

Los valores de las consignas de velocidad de fabricación y velocidad de la extrusora dependen del proceso y son manejados por el operador desde la pantalla industrial. La topología de red (Ver Figura 61.) usada en esta estrategia es de tipo bus, con cableado multipunto; el siguiente diagrama ilustra la integración de los equipos en la red:

Figura 61. Topología de red.



Haciendo referencia a las paradas de emergencia se resalta la importancia que tienen dentro del sistema, ya que permiten un alto nivel de seguridad para las personas que operan la máquina. Es por esta razón que se emplea el dispositivo PREVENTA GSKE 5100 Telemecanique capaz de monitorear los diferentes pulsadores cabezas de hongo, guaya y salida a rele del PLC, utilizados para las paradas de emergencia y que se encuentran ubicadas como lo indica el plano eléctrico de tuberías conduit. La preventa se encarga de que la máquina no pueda arrancar hasta que desaparezca la condición de fallo.

4. DISEÑO DE LAYOUT.

4.1. UBICACIÓN DE EQUIPOS.

Es importante tener en cuenta la ubicación de la máquina dentro de la planta ya que se debe cumplir con todas las normas de seguridad posibles para asegurar que no ocurran accidentes laborales. La máquina de tapas plásticas está compuesta por tres partes fundamentales que son: Rueda de termoformado, extrusora y troqueladora, además hay que tener en cuenta que la unidad de enfriamiento y los tableros de fuerza/control entran a ser parte de la máquina, desde los últimos se activaran todos los mandos para el funcionamiento de la máquina.

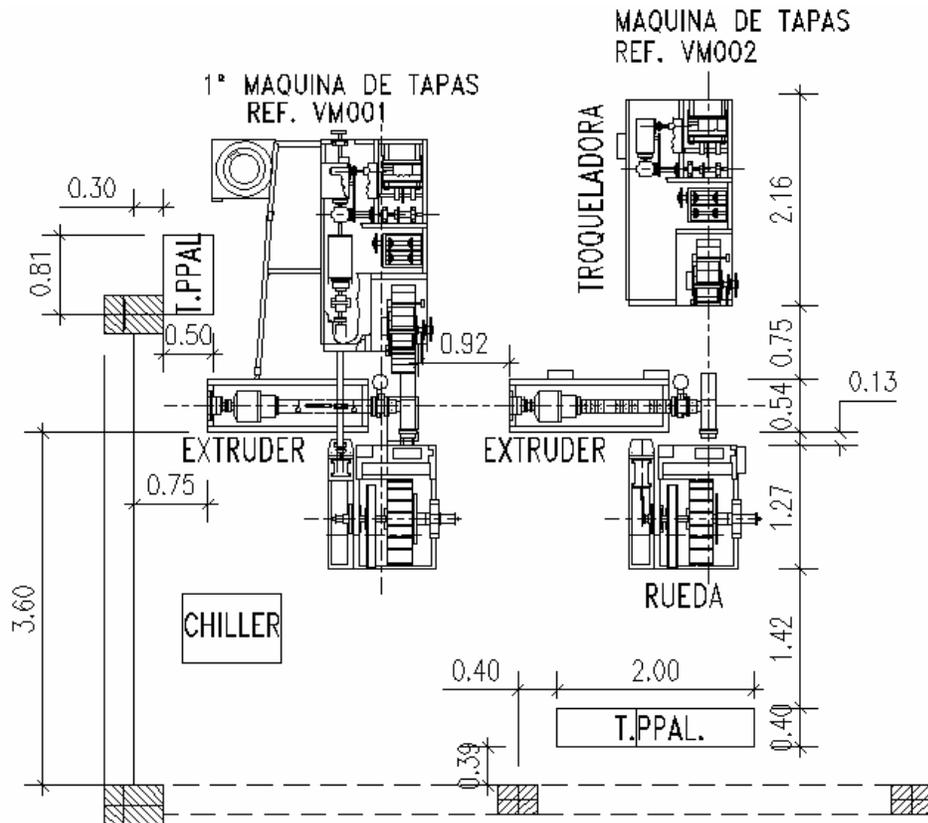
En el diseño del layout de la máquina de tapas se tienen en cuenta aspectos importantes como:

- Corredores de acceso por donde el operador pueda transitar sin ningún tipo de obstáculo.
- Ubicación e identificación de los pulsadores de parada de emergencia, con lo que se logra la detención de la máquina en caso de operación inadecuada.
- Tuberías de aire y agua que hacen parte de las utilidades de la máquina.
- Ubicación de las operadoras para realizar su función como empacadoras.
- Transporte del producto terminado hacia el área de almacenamiento.

- Facilidad de trabajo seguro y accesibilidad a los equipos para efectos de mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico.
- Acceso de carga con producto virgen y scrap para alimentar la máquina.

Con base en lo anterior se toma la decisión de ubicar la máquina de tapas plásticas VM002 (Ver Figura 62 – Anexo P.) en forma paralela a la máquina de tapas VM001 y que la unidad de enfriamiento de 3.5 HP (chiller) con capacidad de dos toneladas sea compartida por las dos máquinas. Esta decisión es tomada en un grupo conformado por: ingenieros de mantenimiento eléctrico y electrónico, de proceso, mantenimiento mecánico y la aprobación del gerente de planta y el vicepresidente de operaciones.

Figura 62. Layout máquina de tapas VM002.



5. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y DE INSTRUMENTACIÓN.

5.1. PLANOS ELÉCTRICOS.

Luego de haber realizado la selección de todos los equipos a utilizar en el montaje de la máquina de tapas, se cuenta con las especificaciones técnicas, de montaje y conexión para cada uno de los dispositivos, con base en esta información se procede a elaborar los planos eléctricos según norma DIN siguiendo la simbología respectiva para cada dispositivo. Con la elaboración de los planos eléctricos se tiene en cuenta los diseños de las seguridades del sistema y de las protecciones para cada uno de los dispositivos utilizados. (Ver Anexo O.).

5.2. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y PROCESO (P&ID).

En el campo de la ingeniería, se incluye la simbología y nomenclatura de equipos, líneas de transporte, proceso, etc. Para comprender y estudiar esto con mayor facilidad, el ingeniero utiliza ciertos elementos de comunicación como planos, isométricos, P&ID, etc.

P&ID son las iniciales de proceso e instrumentación (Process and Instrumentation Diagram), este diagrama es el principal suministro de información para los distintos grupos de diseño, mantenimiento, proceso, etc.

El objetivo primordial del diseño de proceso es establecer las características de todos y cada uno de los equipos y elementos de la planta o máquina para poder materializar las operaciones, el P&ID incluye:

- Secuencia de flujo del proceso.
- Instrumentación.
- Principales válvulas de control y la posición de cierre de estas al presentarse una falla determinada.
- Temperaturas y presiones de operación.
- Tuberías de proceso, de servicio, de puesta en marcha y de apagada y emergencia.
- Elementos de seguridad como válvulas y alarmas.
- Diámetro, calibre, clase de materiales de las líneas de proceso, válvulas y accesorios.

El P&ID de la máquina de tapas (Ver Anexo Q.) contiene toda la información suficiente para ser utilizado por el departamento de proceso y de mantenimiento. Se realiza con base en las especificaciones del ingeniero de proceso en cuanto al funcionamiento de la máquina. En el se detallan los controladores para las zonas de calentamiento con sus indicadores, motores, líneas de proceso, etc... Las convenciones utilizadas en este diagrama son descritas a en el cuadro 15:

Cuadro 15. Convenciones P&ID

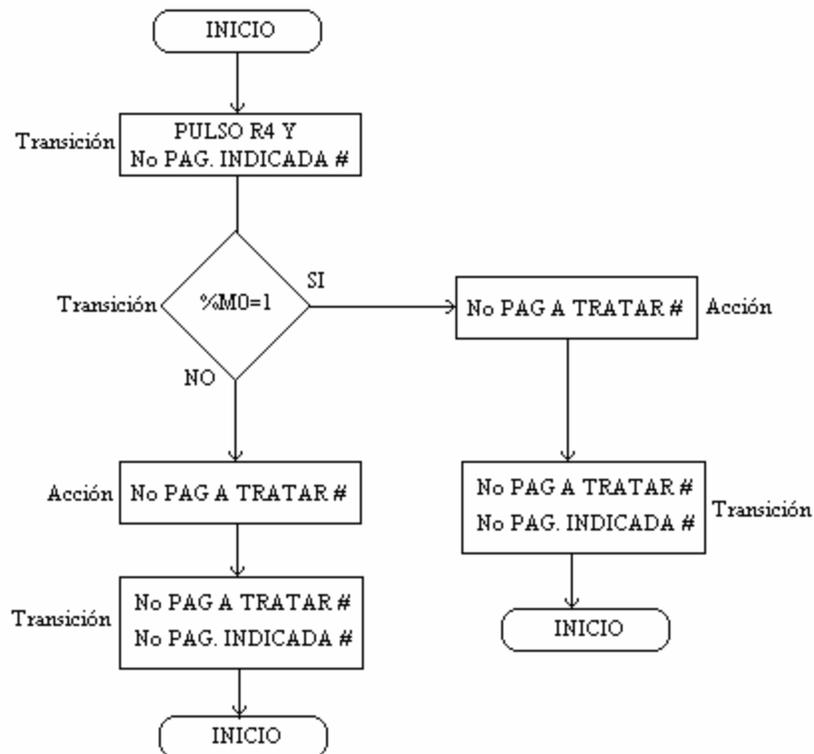
CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN
IAL	Alarma de baja corriente.
IE	Elemento primario de corriente.
IR	Registrador de corriente.
LA	Alarma de nivel.
LSH	Switch de alto nivel.
PAD	Alarma de presión diferencial.
PAL	Alarma de baja presión.
PCV	Control de válvula de proceso.
PI	Indicador de presión.
PLC	Controlador lógico programable.
PR	Registrador de presión.
PS	Switch de presión.
PSE	Disco de ruptura.
PT	Transmisor de presión.
SC	Controlador de velocidad.
ST	Sensor de proximidad.
SV	Válvula solenoide.
TAH	Alarma de alta temperatura.
TAL	Alarma de baja temperatura.
TE	Elemento primario de temperatura.
TIC	Controlador indicador de temperatura.
TR	Registrador de temperatura.
TY	Relé de estado sólido.
XA	Protección térmica.
YS	Start permisivo.
ZE	Sensor de posición óptico o mecánico.

6. PROGRAMACIÓN DE PLC Y PANTALLA HMI.

6.1. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SALTO DE PÁGINAS.

Se desarrolló un algoritmo (Ver Figura 63.) para implementar en lenguaje GRAFCET en el PLC, que permite realizar el cambio de automático a manual o viceversa en los PID's respectivos. Basados en la información de páginas de aplicación generadas en la pantalla industrial HMI Magelis.

Figura 63. Algoritmo automático / manual.



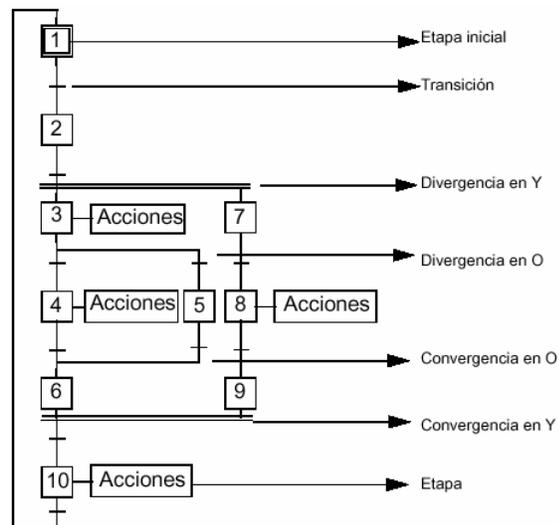
6.2. PROGRAMA DE PLC EN LENGUAJE LADDER Y GRAFCET.

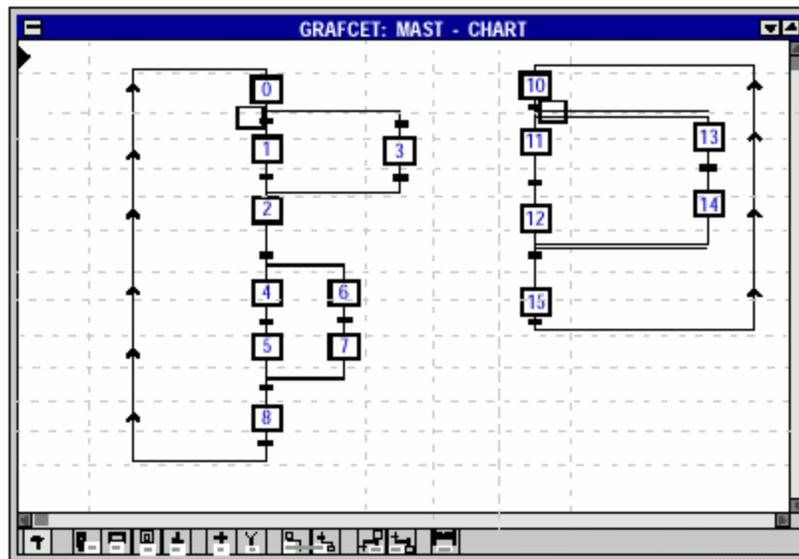
Grafcet.

El lenguaje Grafcet permite representar gráficamente y de forma estructurada el funcionamiento de un automatismo secuencial.

Esta descripción (Ver Figura 64.) del comportamiento secuencial del automatismo y de las diferentes situaciones que de él derivan, se efectúa con la ayuda de símbolos gráficos simples.

Figura 64. Sintaxis de programación grafcet





Sección Grafcet. El cuadro 16 describe los elementos de programa de una sección Grafcet.

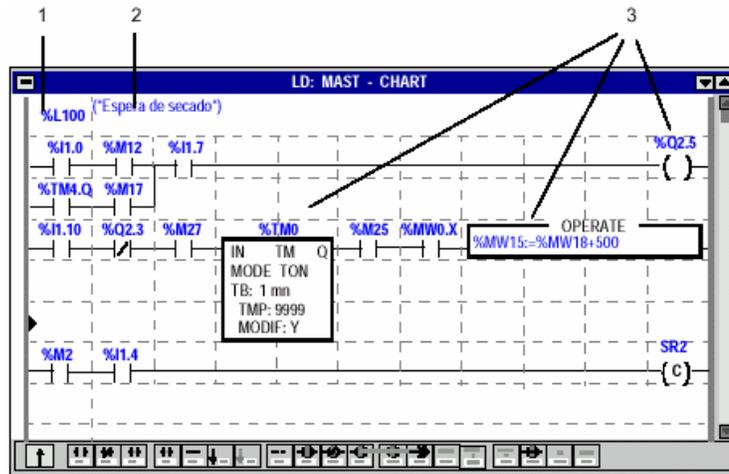
Cuadro 16. Elementos del grafcet.

Tratamiento	Designación	Características
Preliminar	PRL	Programado en Lenguaje de contactos LD, Lista de instrucciones IL o Literal estructurado ST. Se ejecuta antes que el Grafcet.
Grafcet	CHART	En las páginas Grafcet, se programan las receptividades asociadas a las transiciones y a las acciones asociadas a las etapas o a las etapas de las macro etapas.
Posterior	POST	Programado en Lenguaje de contactos LD, Lista de instrucciones IL o Literal estructurado ST. Se ejecuta después del Grafcet.

Lenguaje de contactos.

Una sección de programa escrita en lenguaje de contactos (Ver Figura 65.) está constituida por una serie de redes de contactos ejecutados secuencialmente por el autómata. La representación de una red de contactos es muy parecida a la de un esquema eléctrico.

Figura 65. Lenguaje de contactos.



Este cuadro describe los elementos que constituyen una red de contactos.

Cuadro 17. Elementos del lenguaje de contactos.

Variable	Elemento	Función
1	Etiqueta	Variable de una red de contactos (opcional).
2	Comentario	Información sobre una red de contactos (opcional).
3	Elementos gráficos	Representan: <ul style="list-style-type: none"> ● las entradas/salidas del autómeta (botones-pulsadores, detectores, relés, indicadores...) ● las funciones de los automatismos (temporizadores, contadores...), ● las operaciones aritméticas, lógicas y específicas, ● las variables internas del autómeta.

Descripción de una red de contactos.

Una red de contactos se compone de un conjunto de elementos gráficos colocados en una cuadrícula de:

- * Máximo 16 líneas y 11 columnas (para autómetas Premium),
- * Máximo 7 líneas y 11 columnas (para autómetas Micro).

Se reparte en dos zonas:

- * La zona de prueba, en la que constan las condiciones necesarias para una acción
- * La zona de acción, que aplica el resultado consecutivo a un encadenamiento de prueba.

Con estos lenguajes de programación utilizados en el programa PL7 Micro, se realiza el programa (Ver Anexo R.) para la máquina de tapas, desde el cual se gestionan y monitorean las variables.

6.3. PROGRAMA DE LA PANTALLA HMI.

Una aplicación con pantallas de explotación en la interfaz hombre máquina Magelis es el conjunto del diálogo entre el usuario y el procedimiento automatizado. Su realización se basa en criterios distintos:

- Los criterios relacionados con el automatismo:
 - Mando del automatismo.
 - Control de producción.
 - Mantenimiento correctivo.
- Los criterios relacionados con los usuarios:
 - Ergonomía.
 - Nivel de intervención (protección de determinados datos).
- Los criterios de realización de la aplicación del autómata.
 - Estructura del programa.

- Estructura de los datos.
- Puesta a punto.
- Evolución.

Estas características requieren estructurar la aplicación. Una aplicación esta compuesta por un conjunto de páginas, que se pueden organizar en menús y submenús:

- Cada página consta de textos alfanuméricos estáticos, campos variables para visualizar valores que permitan dirigir el automatismo o introducir parámetros para dirigir el automatismo, objetos gráficos estáticos / dinámicos y objetos teclas de funciones dinámicas que permiten al operador visualizar directamente otras páginas o dirigir el automatismo.
- Cada página se identifica por su número y en su caso por un nombre.
- La navegación de una página a otra se efectúa pulsando:
 - Una tecla de función física en el caso de los terminales Magelis de teclado.
 - Una tecla de función “virtual” llamada zona táctil o tecla táctil en el caso de los terminales de pantalla táctil.
- La navegación dentro de una página se realiza ya sea por las teclas de flechas de un terminal Magelis de teclado o mediante selección directa en un terminal de pantalla táctil.
- El acceso a cada página puede estar protegido por contraseña.

En la fase operacional, un terminal utiliza páginas llamadas de sistema y páginas definidas para la aplicación. Las páginas de sistema predefinidas por el constructor del terminal permiten:

- El acceso a la lista de las páginas, de las alarmas, de las recetas, de los formularios.
- El acceso al histórico de las alarmas.
- La configuración de contraseñas.
- La definición de los parámetros del terminal.
- La visualización de los parámetros del protocolo.
- La visualización de los parámetros de la impresora.
- La parada de la impresión en curso.
- El acceso a la función ajuste del terminal.

Una aplicación puede comprender diferentes tipos de páginas:

- Las páginas de aplicación. Permiten visualizar, controlar, dirigir el automatismo, modificar los parámetros del automatismo, crear y aplicar las recetas.
- Las páginas de alarma. Permiten describir los fallos del automatismo y las acciones correctivas asociadas.
- Las páginas de ayuda. Asociadas a las páginas de aplicación o a las páginas de alarma.
- Las páginas de formularios. Permiten imprimir formularios de impresión.
- Las páginas modelos. Están definidas tres familias de páginas modelos:

- Los modelos para realizar páginas de aplicación y de receta.
- Los modelos para realizar páginas de alarma.
- Los modelos para realizar páginas de ayuda.

A partir de los modelos básicos, el desarrollador de la aplicación puede crear modelos nuevos.

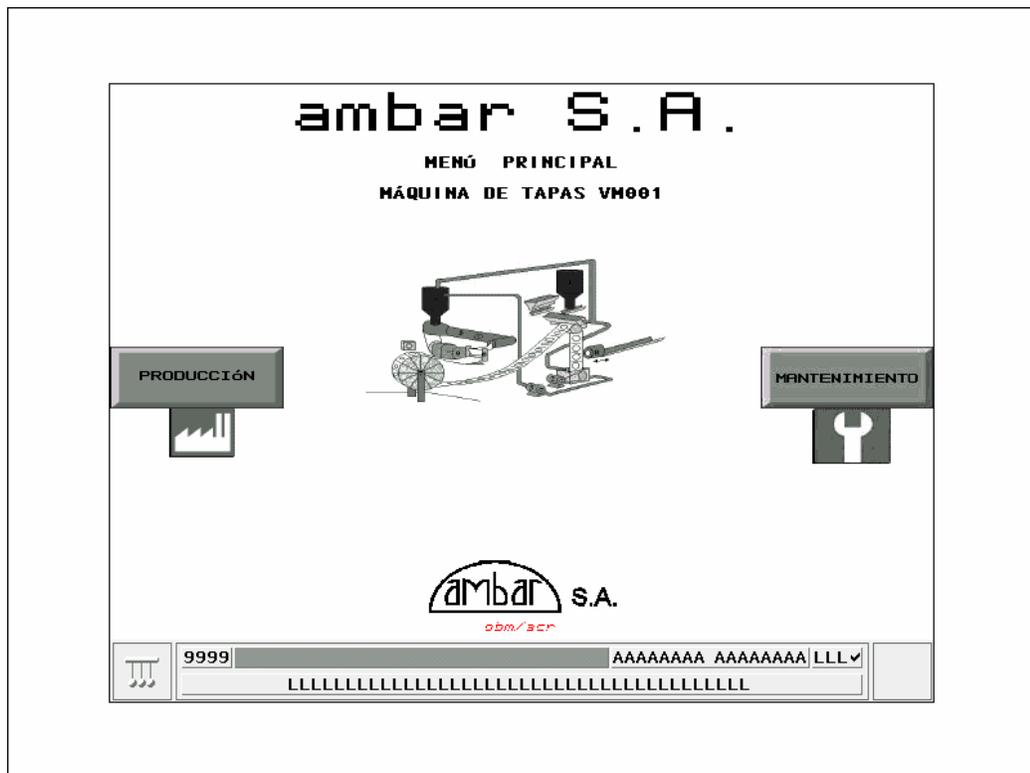
En tal caso, los modelos sirven de fondo para diseñar las páginas de la aplicación. Las páginas de aplicación constituyen la arquitectura básica del diálogo, desempeñan las funciones siguientes:

- Controlar el automatismo.
- Intervenir en el automatismo.
- Mantener el automatismo.

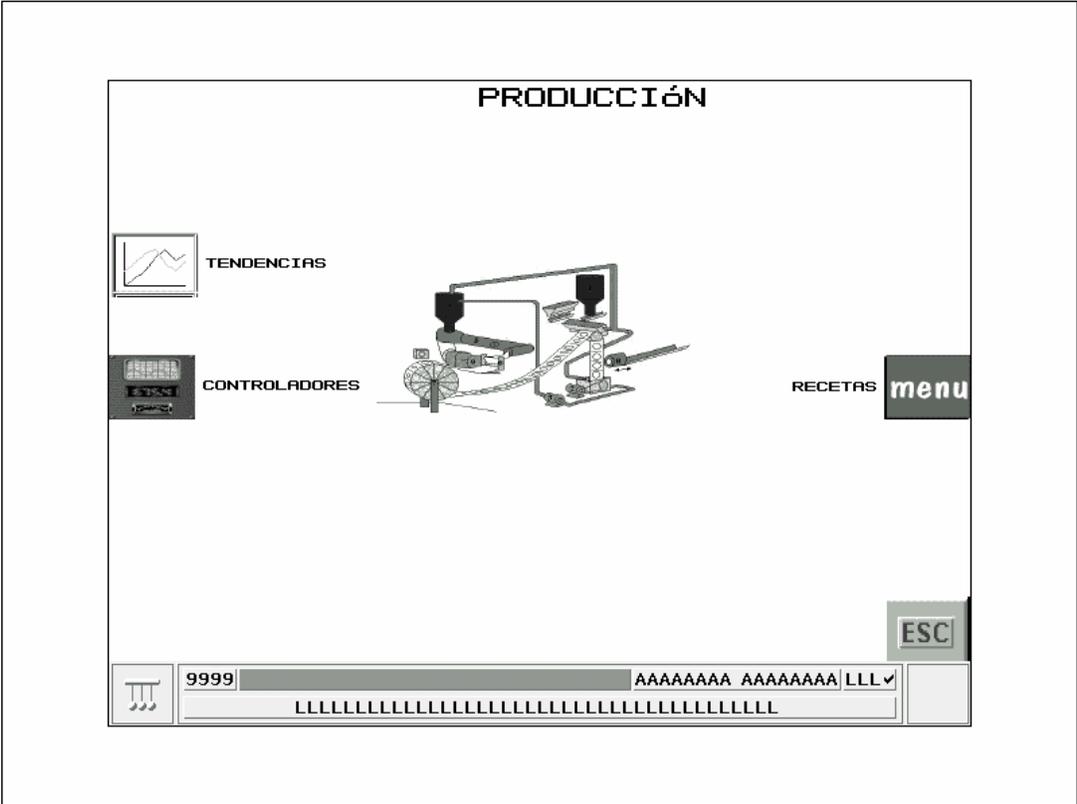
Se logra todo lo anterior al realizar con el software XBT – L1000 las páginas de la aplicación para la automatización de la máquina de tapas plásticas VM002, a continuación se describe cada una de las páginas y su funcionamiento dentro del proceso:

PROGRAMA DE LA PANTALLA INDUSTRIAL HMI

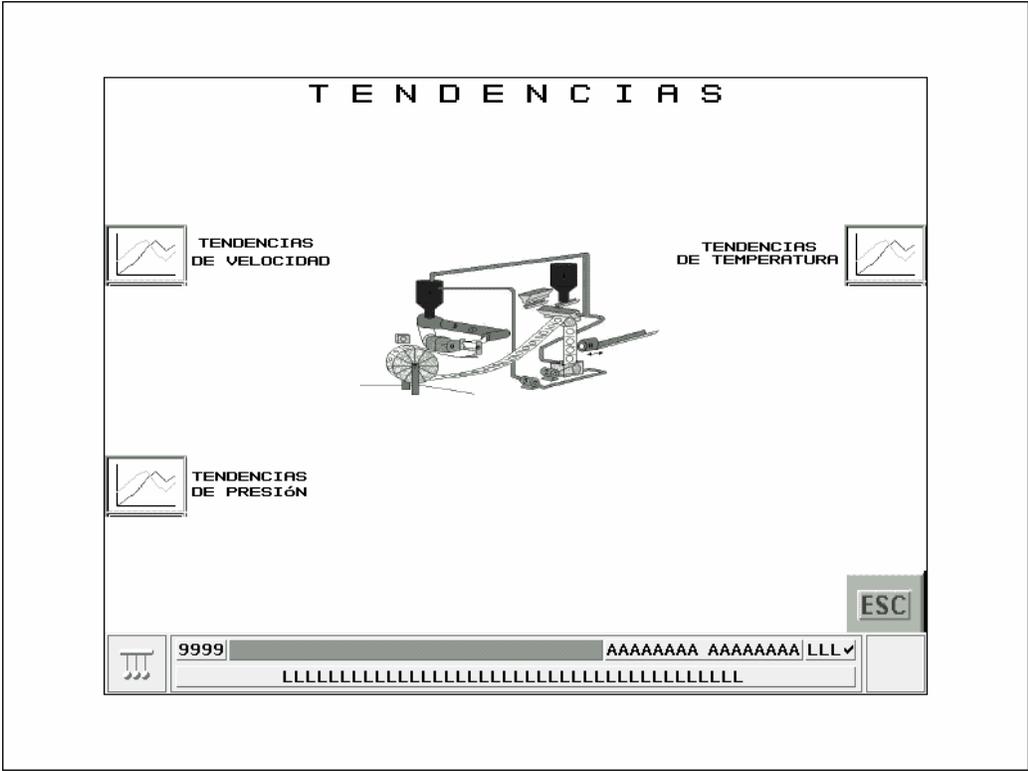
MENÚ PRINCIPAL: Permite el acceso a las páginas de Producción (Tecla R5) y Mantenimiento (Tecla R6), esta última maneja una contraseña a fin de que sea habilitada solamente por el personal de mantenimiento.



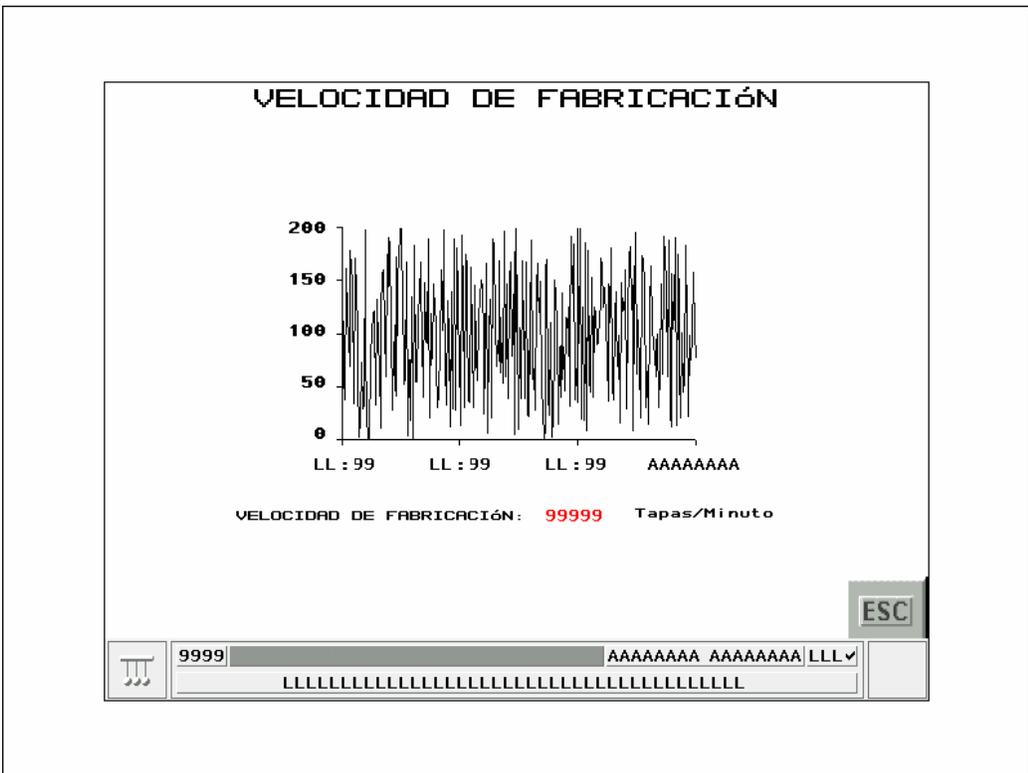
PRODUCCIÓN: Permite el acceso a las páginas de: Tendencias (Tecla R3), Controladores (Tecla R5), Recetas (Tecla R6) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página Menú principal).



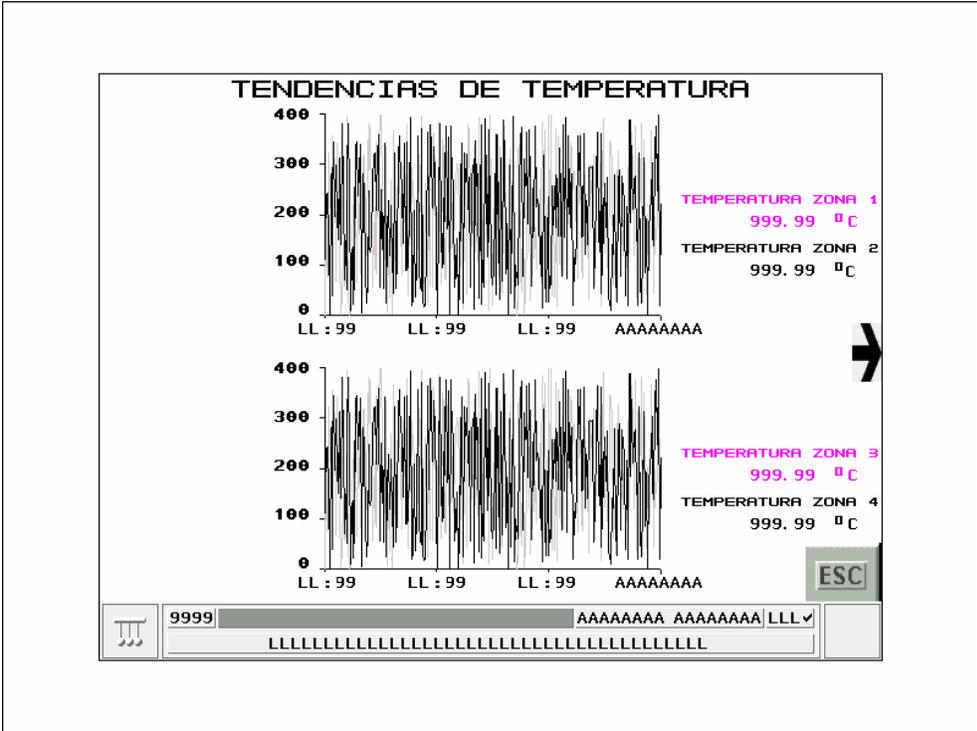
TENDENCIAS: Permite el acceso a las páginas de: Tendencias de velocidad (Tecla R3), Tendencias de temperatura (Tecla R4), Tendencias de presión (Tecla R5) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página Producción).



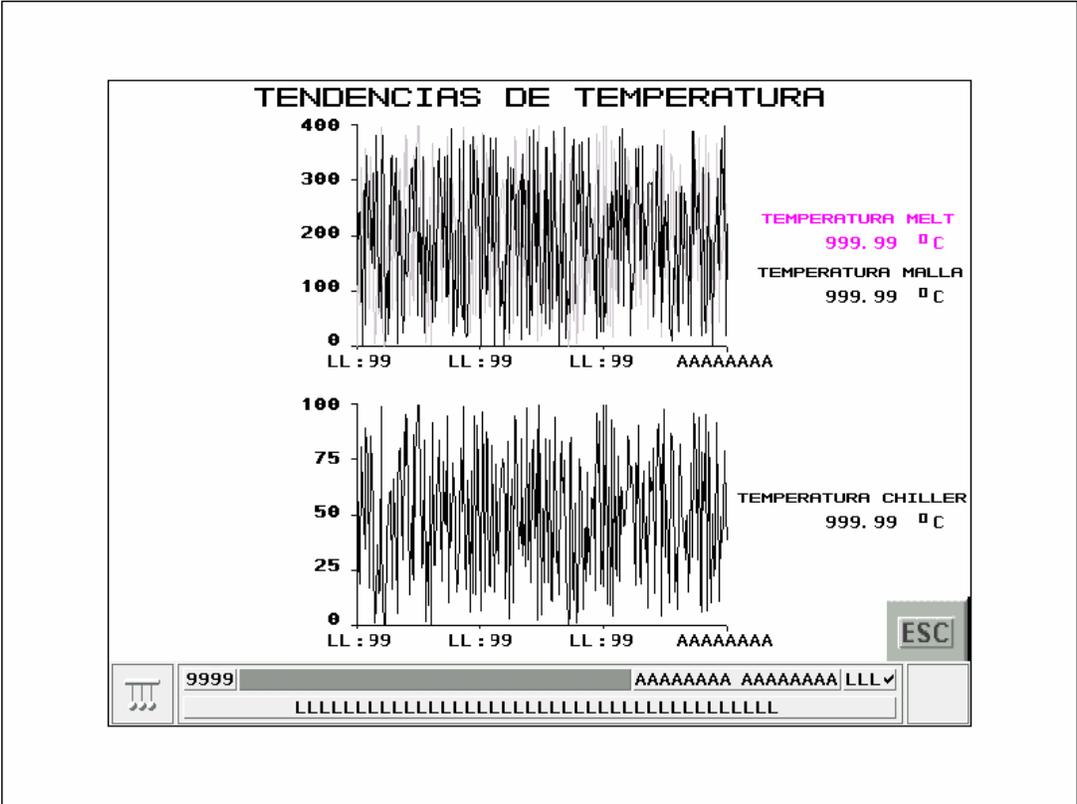
TENDENCIA VELOCIDAD DE FABRICACIÓN: En esta página se visualiza la tendencia de velocidad de fabricación. Retorno mediante ESC (Tecla R10) a página de tendencias.



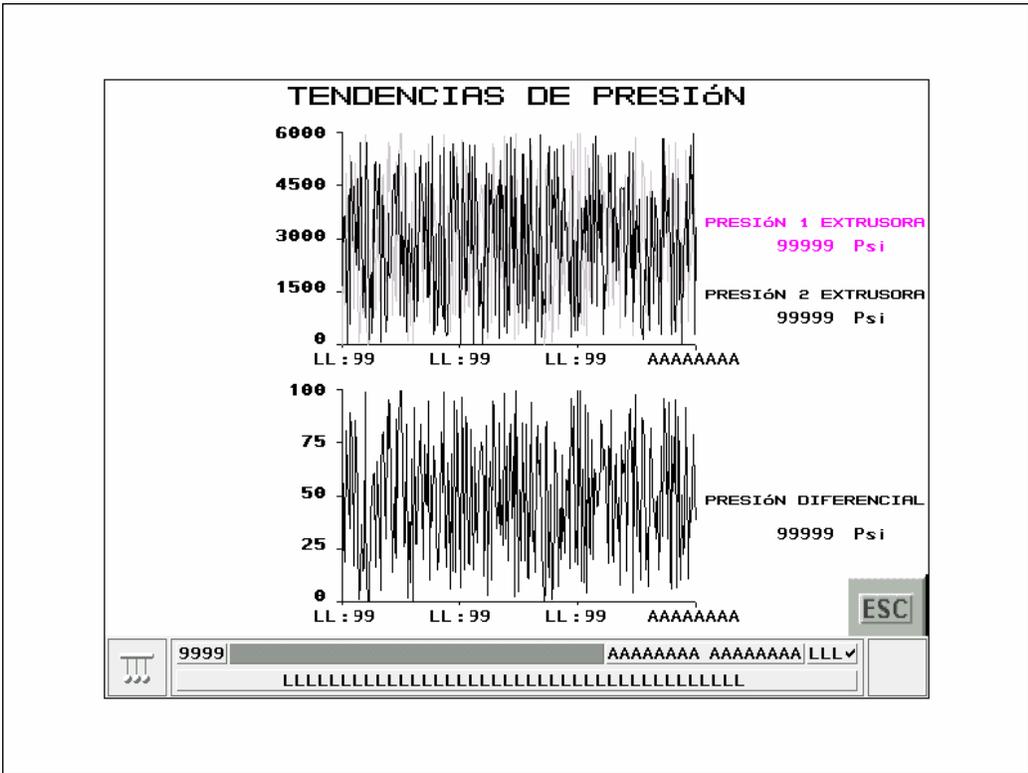
TENDENCIAS DE TEMPERATURA: Página en la que se visualizan las tendencias de temperatura en Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4. Acceso a página Tendencias de temperatura2 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página de Tendencias).



TENDENCIAS DE TEMPERATURA2: Página en la que se visualizan las tendencias de temperatura de Melt, Malla y Chiller. ESC (Tecla R10 – Retorno a página de Tendencias).



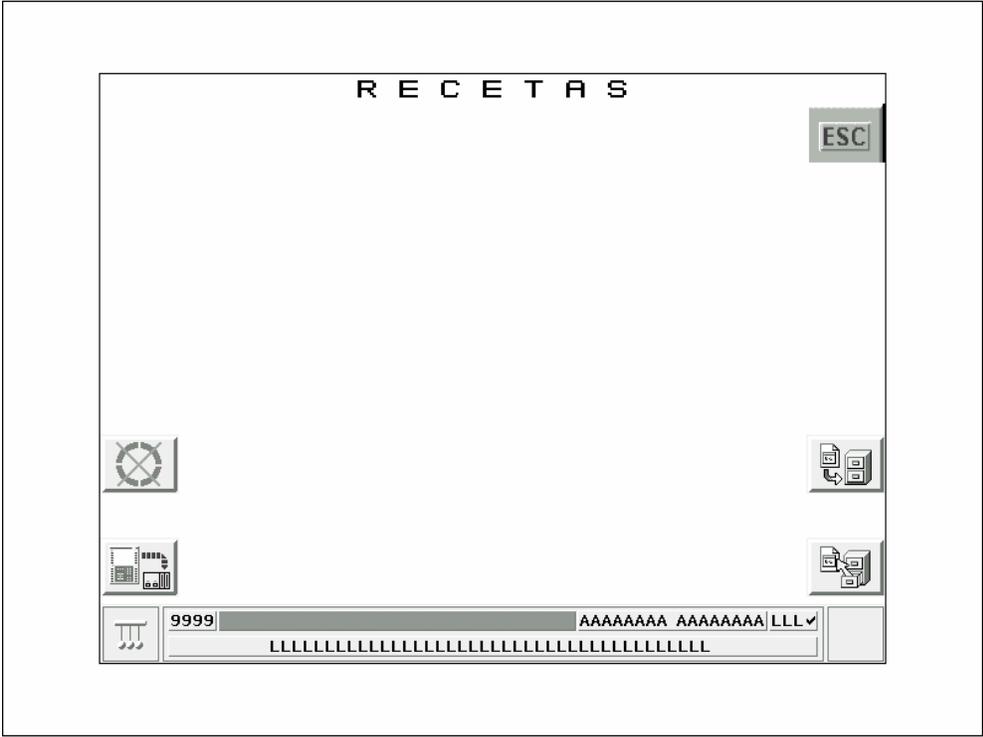
TENDENCIAS DE PRESIÓN: Página en la que se visualiza las tendencias de Presión 1 extrusora, Presión 2 extrusora y Presión diferencial. Retorno mediante ESC (Tecla R10) a página de tendencias.



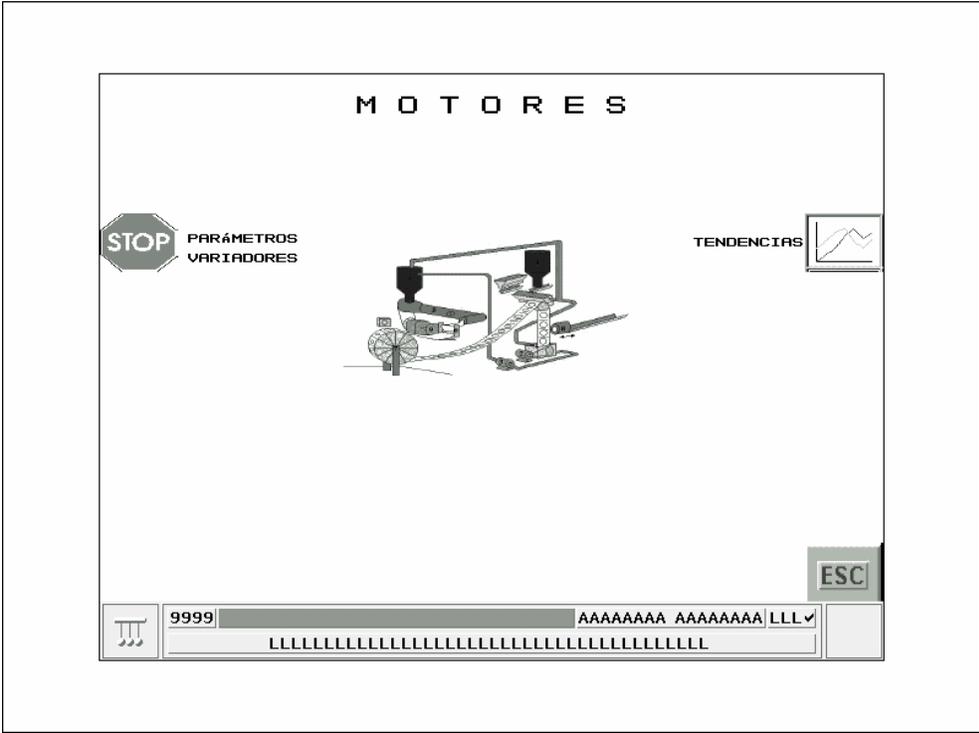
INDICADORES Y CONTROLADORES: Página en la que se visualizan setpoint de los controladores de temperatura y presión, indicadores de velocidad de los motores y fabricación, indicadores de tapas por turno e indicadores de tapas por mes. Retorno mediante ESC (Tecla R2) a página de producción, Controlador de temperatura (Tecla R1), Reset contador de tapas por mes (Tecla R4), Reset tapas por turno (Tecla R6) y mando de escritura valor por medio de las teclas R3 – R5 – R7 – R9 a los variadores de los motores rodillos, rueda, troquel y extrusora respectivamente.

INDICADORES Y CONTROLADORES				
CONTROLADORES DE TEMPERATURA				
	Set point	PV	Unidad	
	999.99	999.99	°C	
	999.99	999.99	°C	
ENTER RODILLOS	999.99	999.99	°C	RESET MES
	999.99	999.99	°C	
	999.99	999.99	°C	
ENTER RUEDA		999.99	°C	RESET TURNO
		999.99	°C	
		99999	Psi	
		99999	Psi	
	99999	99999	Psi	
ENTER TROQUEL	999.9	999.9	Hz	
	999.9	999.9	Hz	
	999.9	999.9	Hz	
	999.9	999.9	Hz	
ENTER EXTRUSORA	999.9	99999	Tapas/Minuto	
		AAAAAAAA		
		AAAAAAAA		
	9999	AAAAAAAA AAAAAAAA	LLL✓	
	LL			

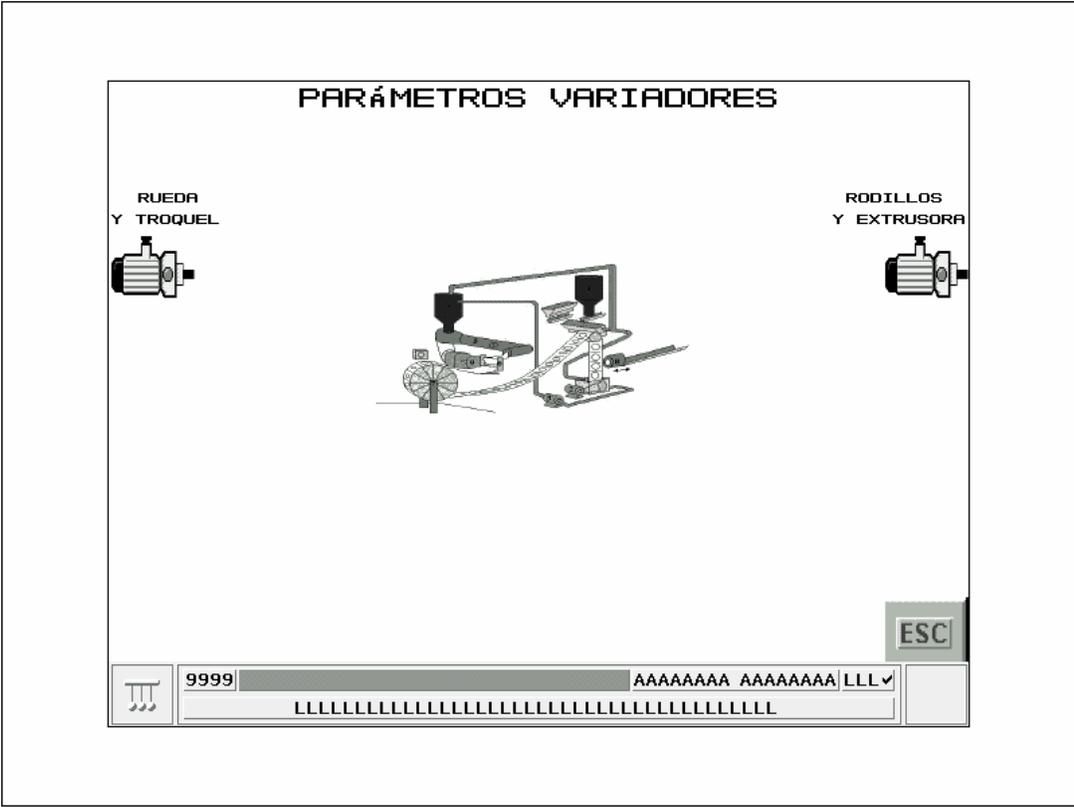
RECETAS: Página en la que se visualizan las recetas a implementar. Retorno mediante ESC (Tecla R10) a página de producción.



MOTORES: Página que permite el acceso a páginas de: Parámetros variadores (Tecla R3), Tendencias (Tecla R4) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página Mantenimiento).



PARÁMETROS VARIADORES: Página que permite el acceso a páginas de: Parámetros de los variadores de: la rueda y del troquel (Tecla R3), parámetros de los variadores de: los rodillos y la extrusora (Tecla R4) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página Motores).



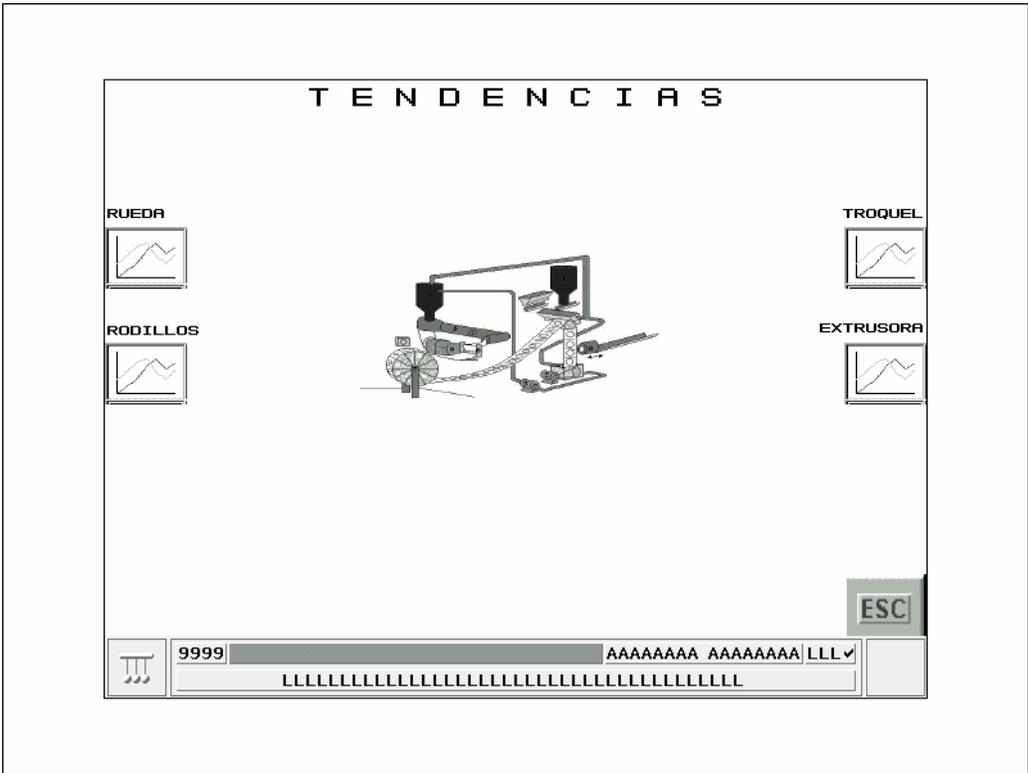
PARÁMETROS RUEDA Y TROQUEL: Página en la que se visualizan los parámetros del variador / motor de la rueda y variador / motor del troquel. Retorno mediante ESC (Tecla R10) a página de parámetros variadores.

Frecuencia de referencia	FrH	999.9	Hz	
Frecuencia de salida	rFr	999.9	Hz	
Velocidad del motor estimada	SPd	99999	RPM	
Corriente de motor	LCr	999.9	A	MOTOR RUEDA
Voltaje de línea	ULn	999.9	V	
Estado térmico de motor	tHr	99999	%	
Estado térmico de variador	tHd	99999	%	
ÚLTIMO FALLO	Lft	LLLLL		
<hr/>				
Frecuencia de referencia	FrH	999.9	Hz	
Frecuencia de salida	rFr	999.9	Hz	
Velocidad del motor estimada	SPd	99999	RPM	
Corriente de motor	LCr	999.9	A	MOTOR TROQUEL
Voltaje de línea	ULn	999.9	V	
Estado térmico de motor	tHr	99999	%	
Estado térmico de variador	tHd	99999	%	
ÚLTIMO FALLO	Lft	LLLLL		

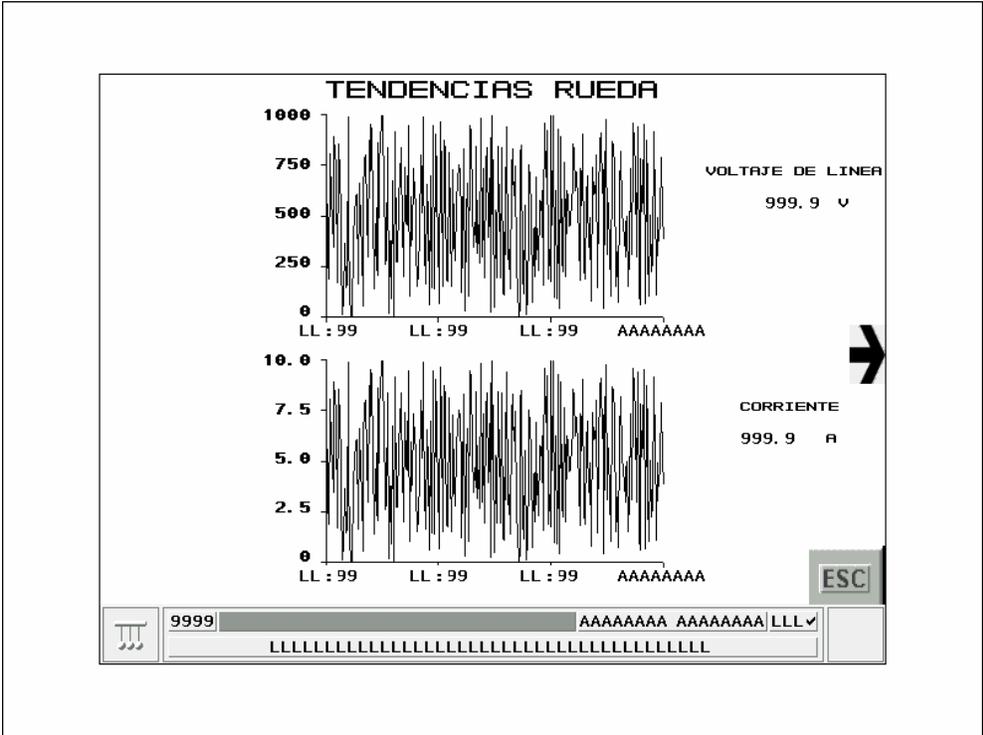
ESC

	9999		AAAAAAAAA AAAAAAAAA LLL ✓
LLL			

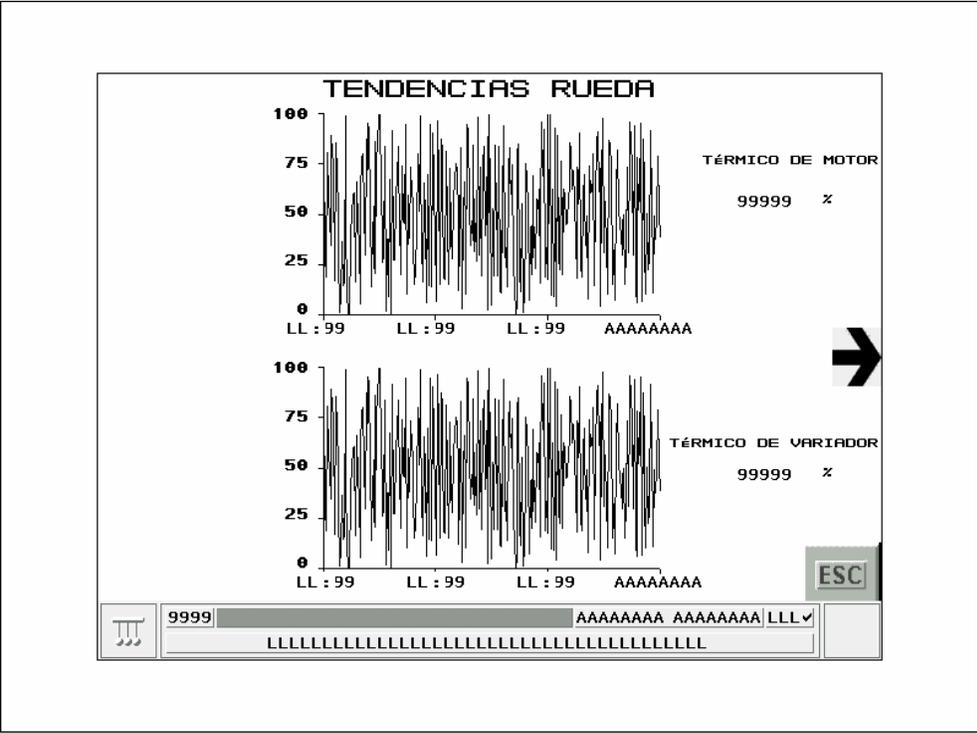
TENDENCIAS: Página que permite el acceso a páginas de: Tendencias rueda (Tecla R3), Tendencias troquel (Tecla R4), Tendencias rodillos (Tecla R5), Tendencias extrusora (Tecla R6) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página motores).



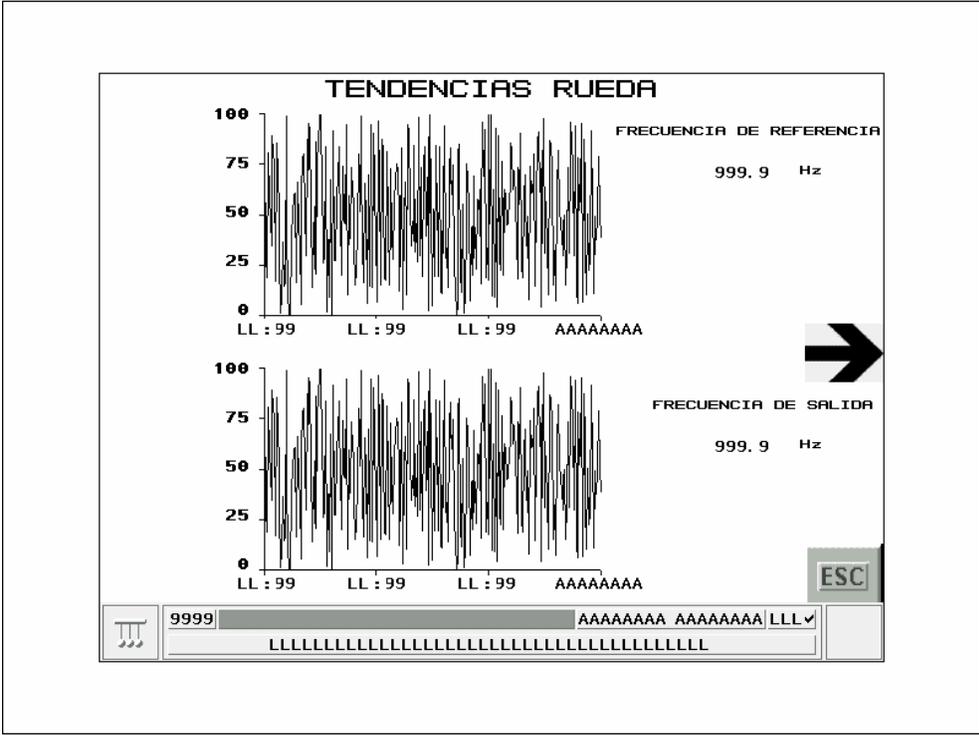
TENDENCIAS RUEDA: Página en la que se visualizan las tendencias de corriente y voltaje de línea del motor de la rueda de termoformado. Acceso a página tendencias rueda2 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



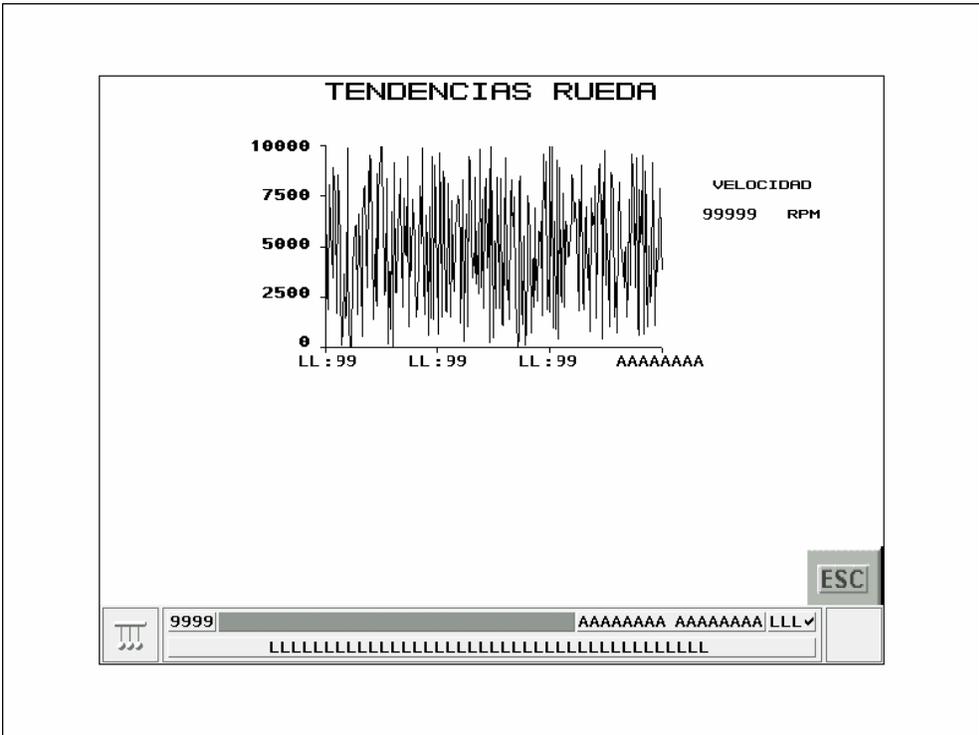
TENDENCIAS RUEDA2: Página en la que se visualizan las tendencias del térmico del motor y del térmico del variador de la rueda de termoformado. Acceso a página tendencias rueda3 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



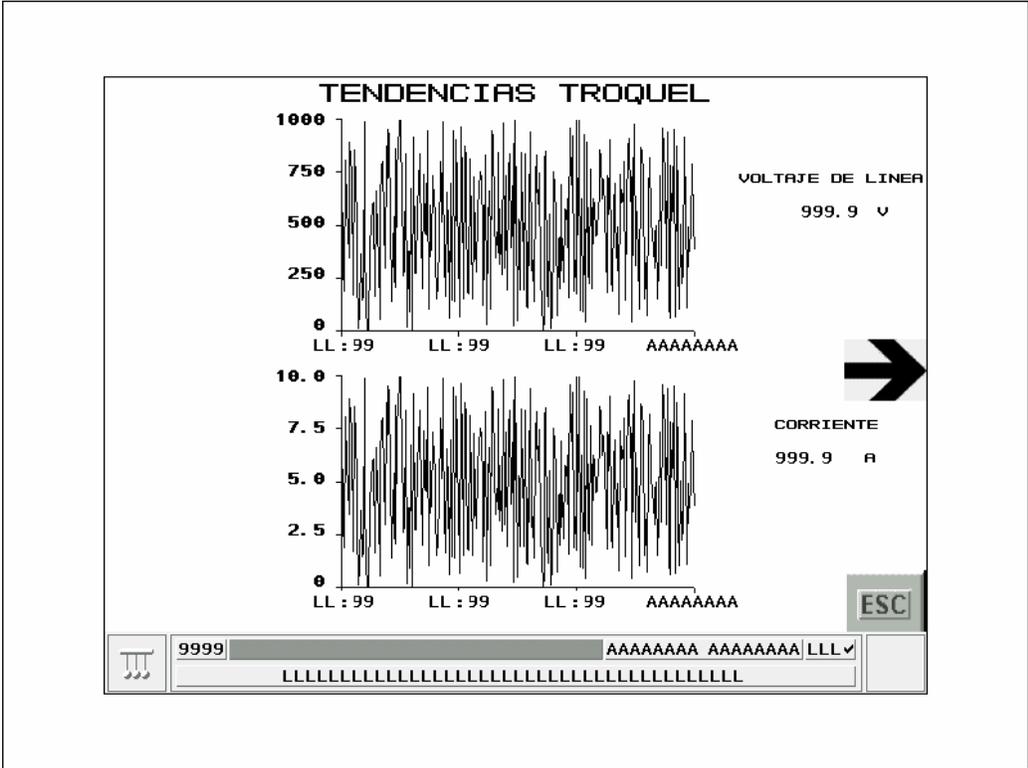
TENDENCIAS RUEDA3: Página en la que se visualizan las tendencias de la frecuencia de referencia y la frecuencia de salida. Acceso a página tendencias rueda4 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



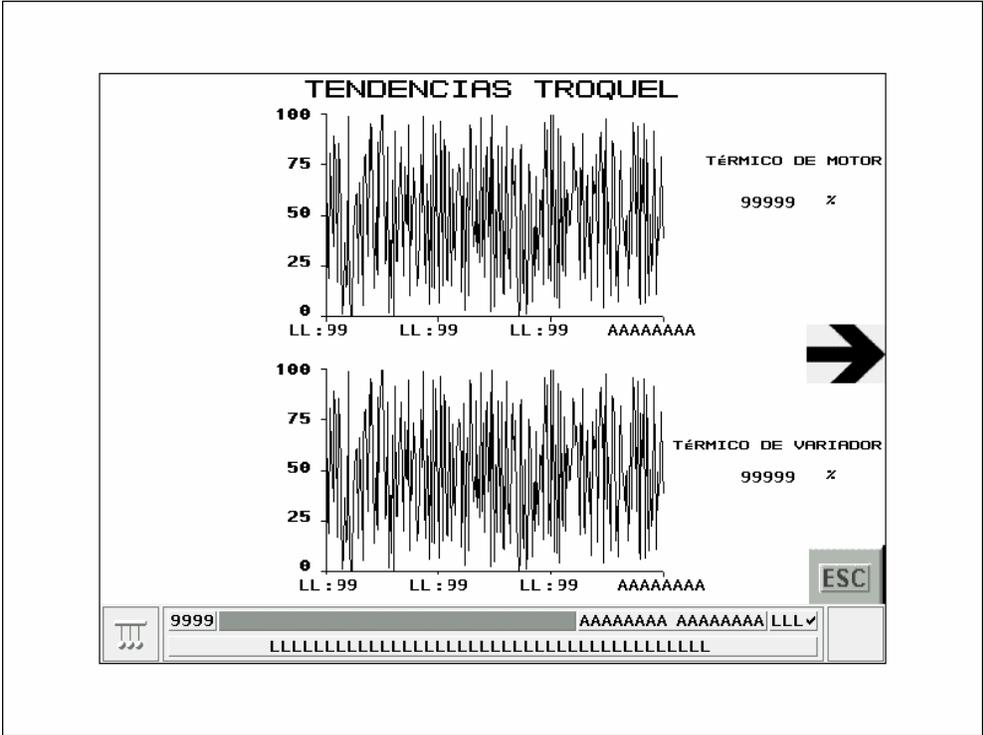
TENDENCIAS RUEDA4: Página en la que se visualiza la tendencia de la velocidad del motor de la rueda y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



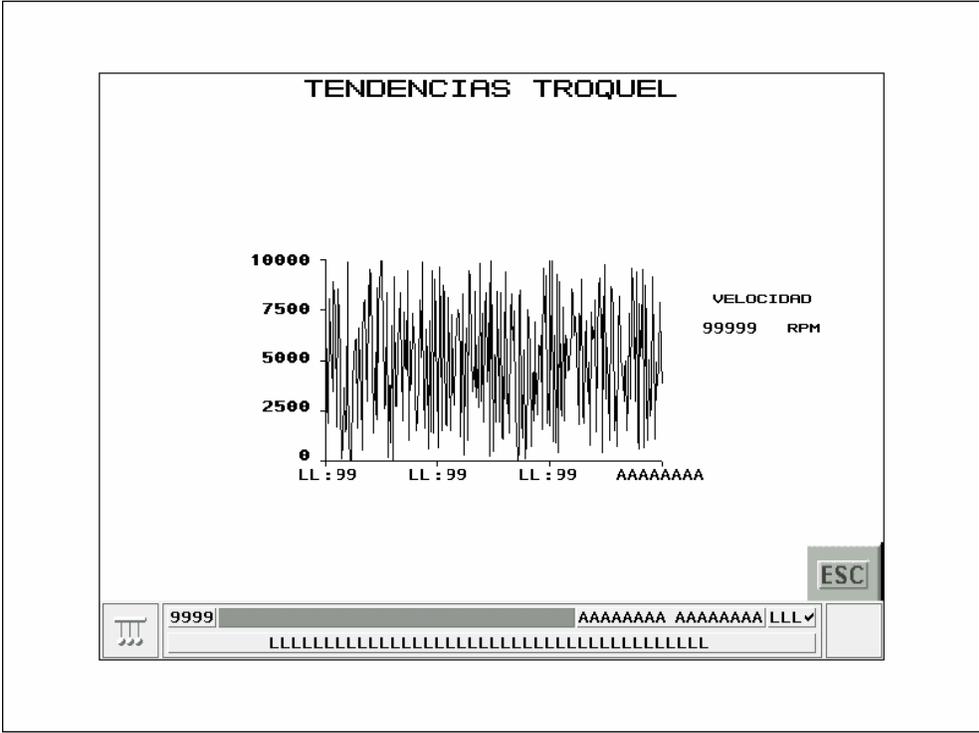
TENDENCIAS TROQUEL: Página en la que se visualizan las tendencias de corriente y voltaje de línea del motor del troquel. Acceso a página tendencias troquel2 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



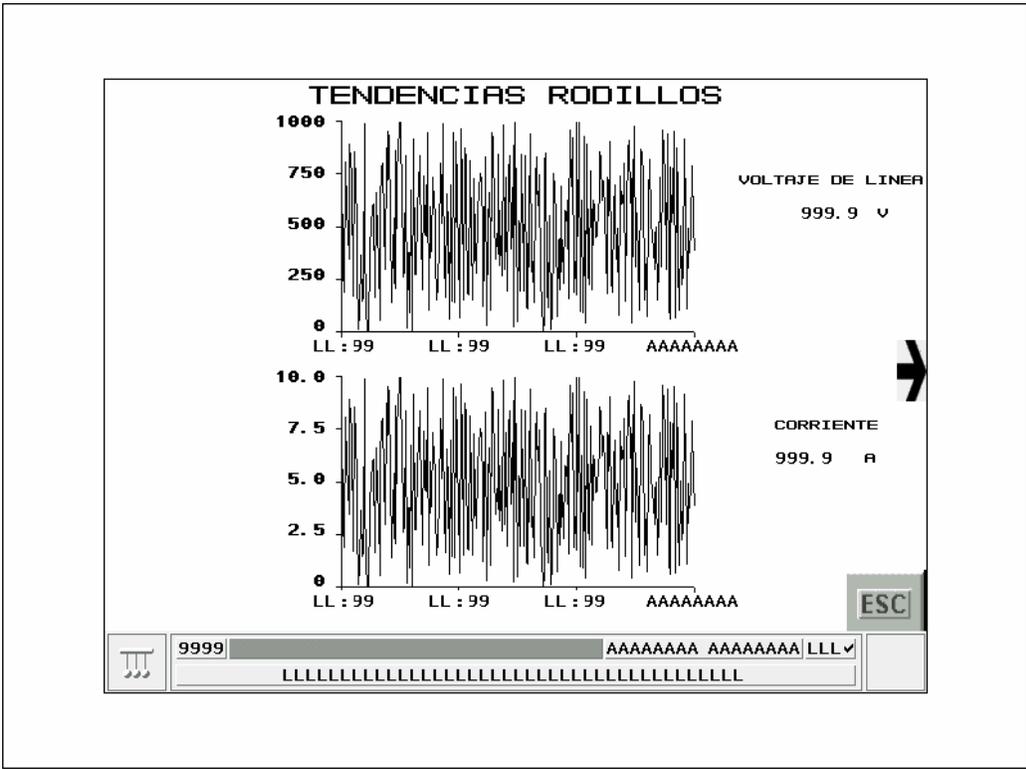
TENDENCIAS TROQUEL2: Página en la que se visualizan las tendencias del térmico del motor y del térmico del variador del troquel. Acceso a página tendencias rueda3 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



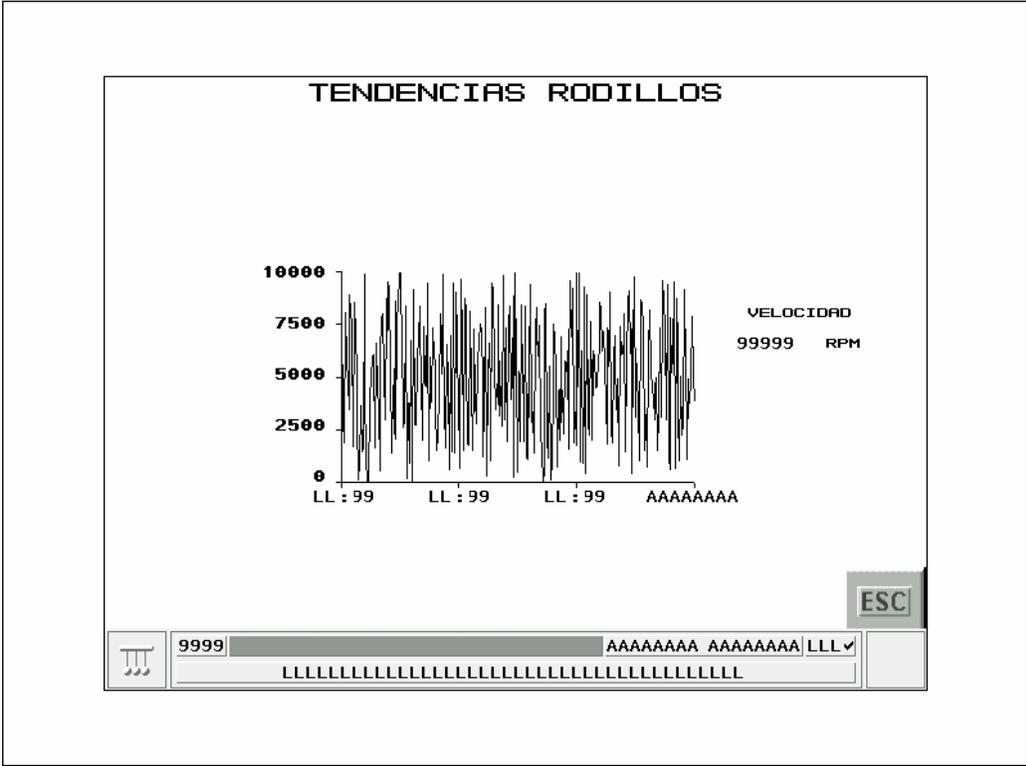
TENDENCIAS TROQUEL4: Página en la que se visualiza la tendencia de la velocidad del motor del troquel y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



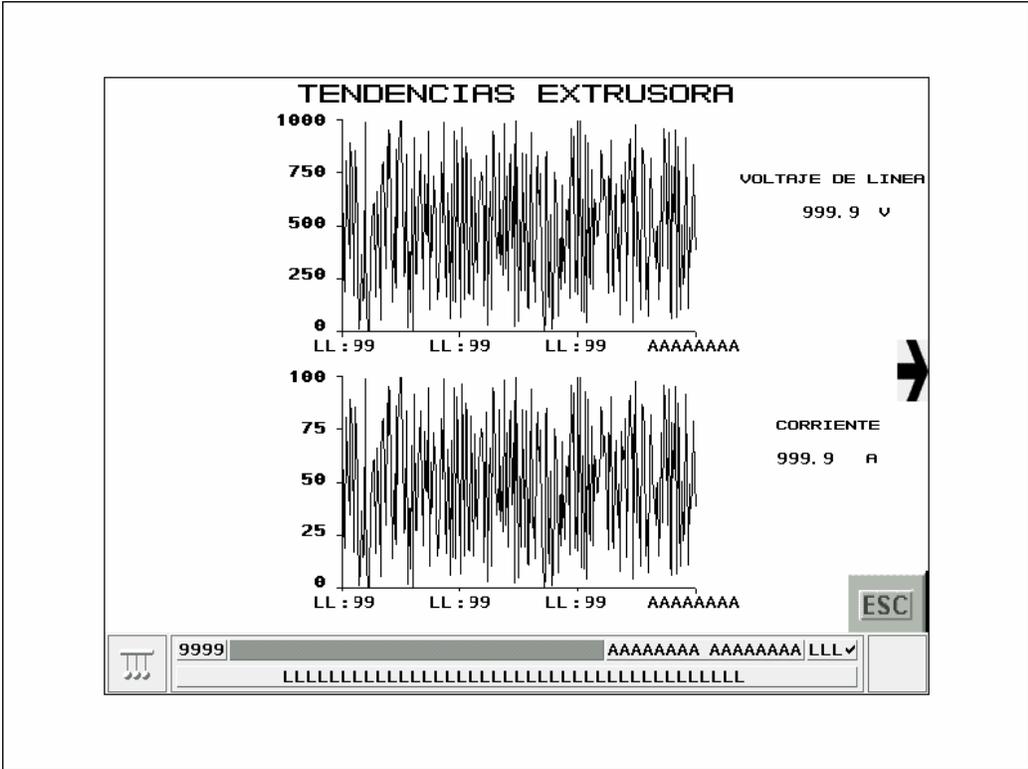
TENDENCIAS RODILLOS: Página en la que se visualizan las tendencias de corriente y voltaje de línea del motor de los rodillos. Acceso a página tendencias rodillos2 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



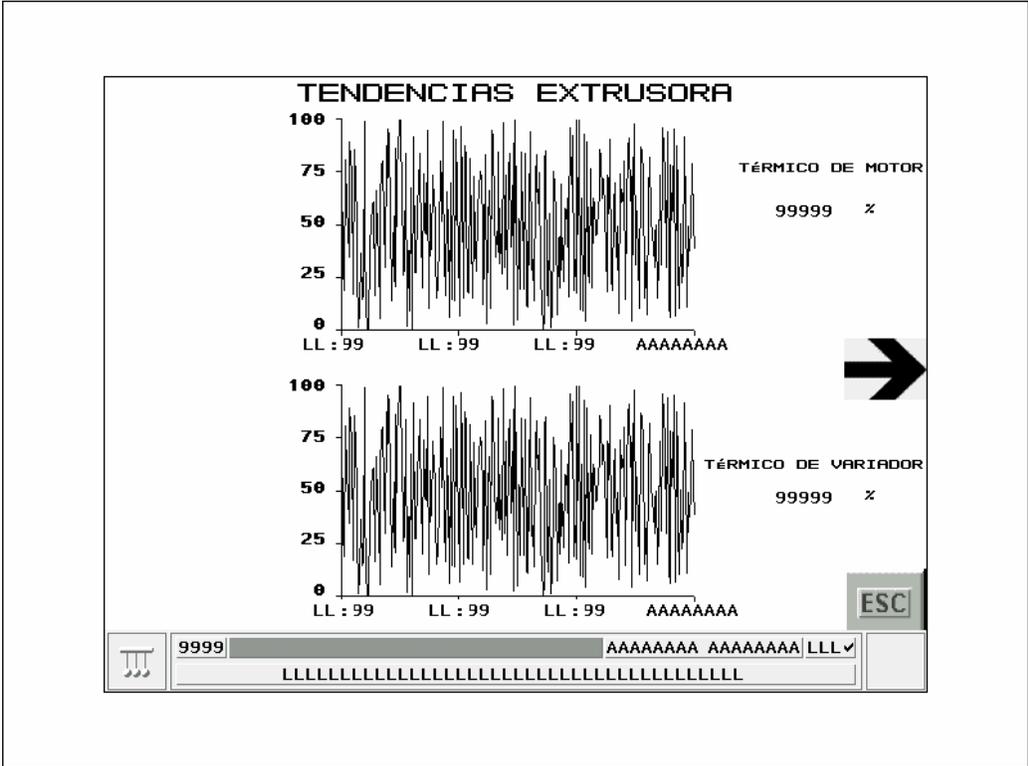
TENDENCIAS RODILLOS4: Página en la que se visualiza la tendencia de la velocidad del motor de los rodillos y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



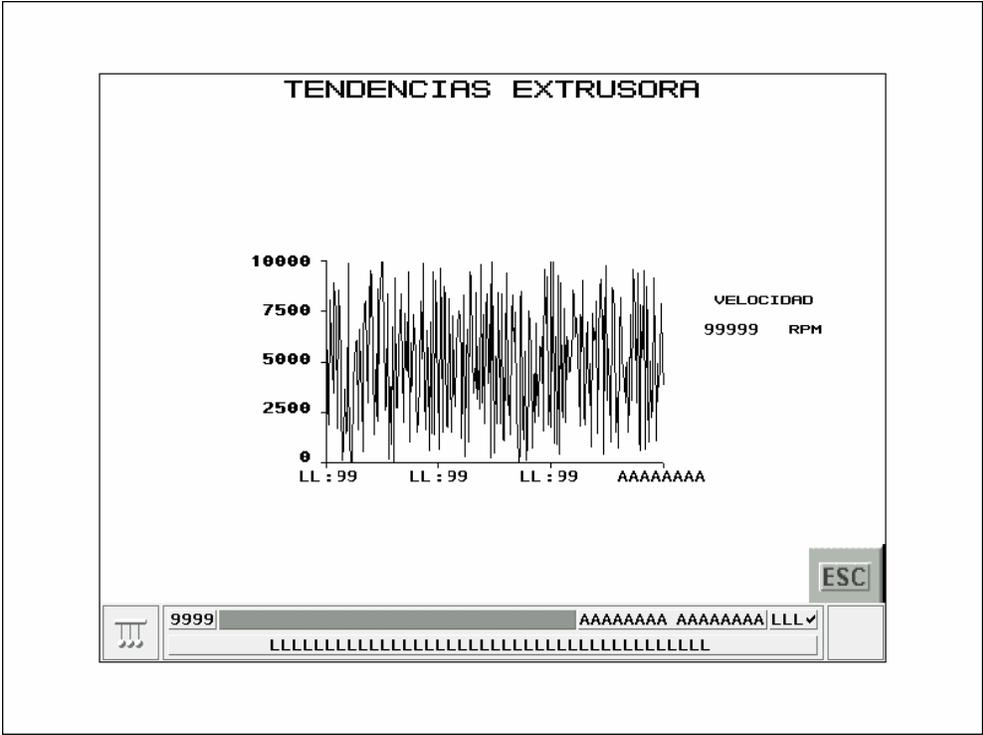
TENDENCIAS EXTRUSORA: Página en la que se visualizan las tendencias de corriente y voltaje de línea del motor de la extrusora. Acceso a página tendencias estrusora2 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



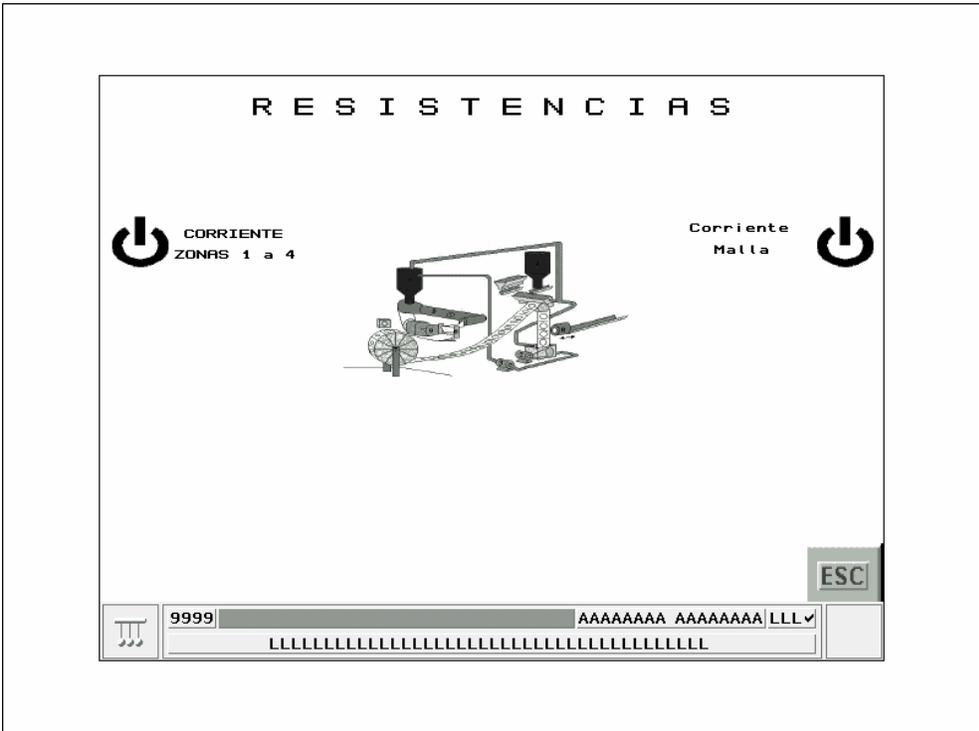
TENDENCIAS EXTRUSORA2: Página en la que se visualizan las tendencias del térmico del motor y del térmico del variador de la extrusora. Acceso a página tendencias extrusora3 (Tecla R6 →) y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



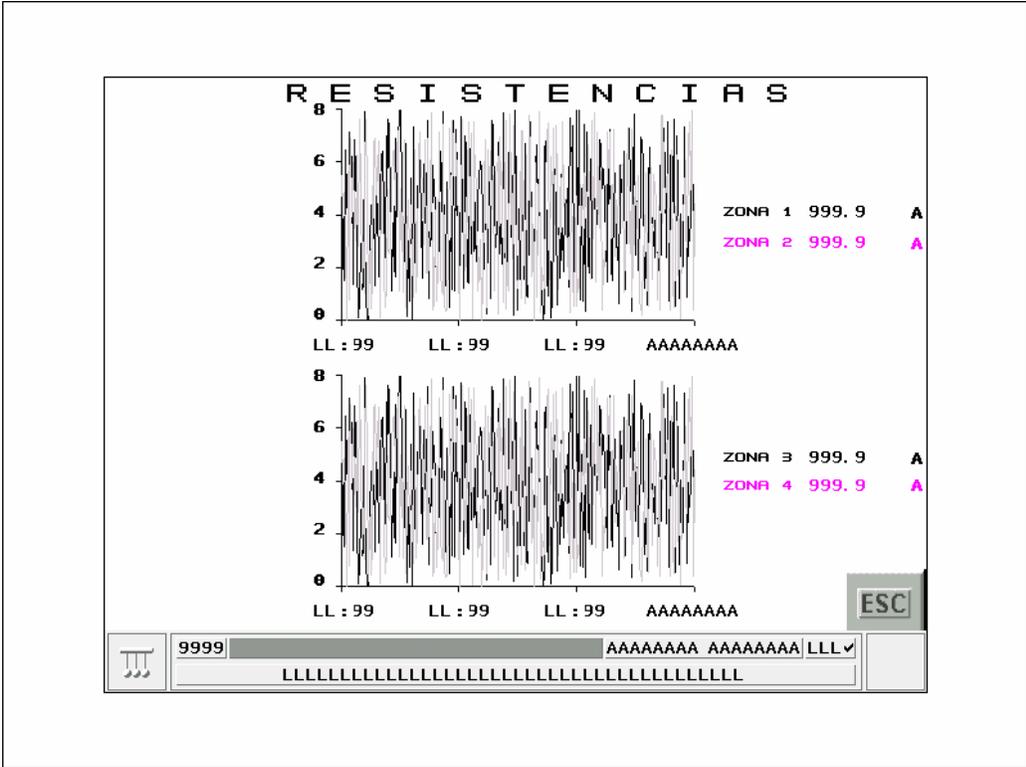
TENDENCIAS EXTRUSORA4: Página en la que se visualiza la tendencia de velocidad del motor de la extrusora y ESC (Tecla R10 – Retorno a página tendencias).



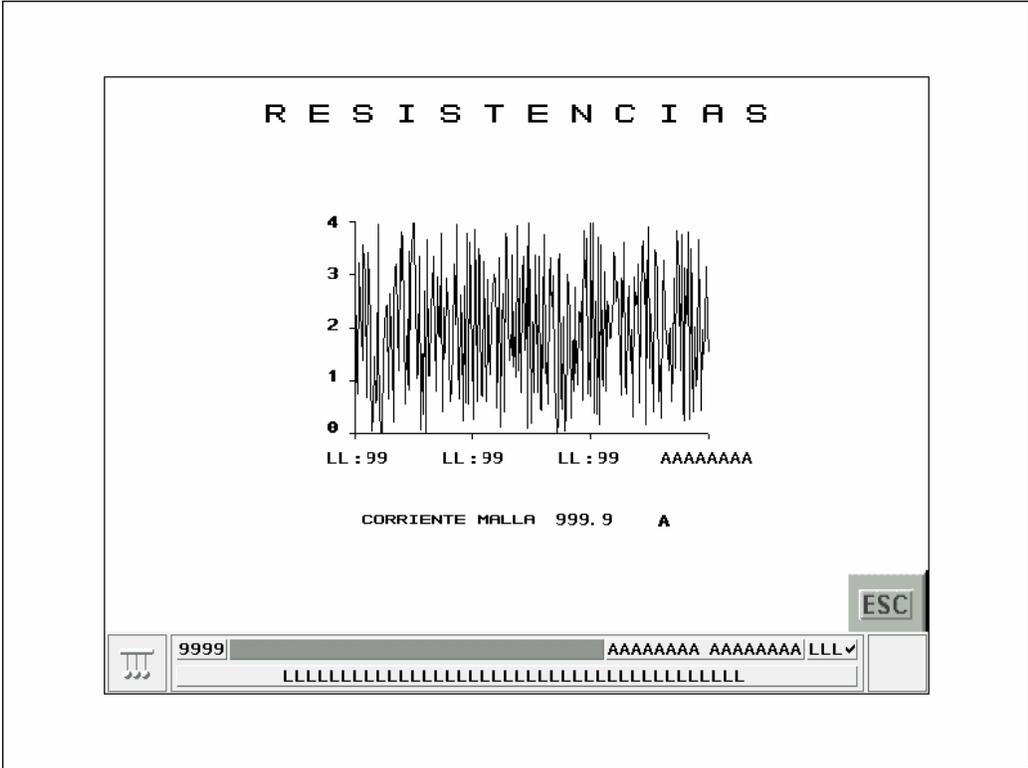
RESISTENCIAS: Página que permite acceder a la página que visualiza las tendencias de corriente en las zonas1, zona2, zona3 y zona cuatro (Tecla R3). Además permite acceder a la página donde s visualiza la tendencia de la corriente de malla (Tecla R4) y retorno con ESC a página de mantenimiento (Tecla R10).



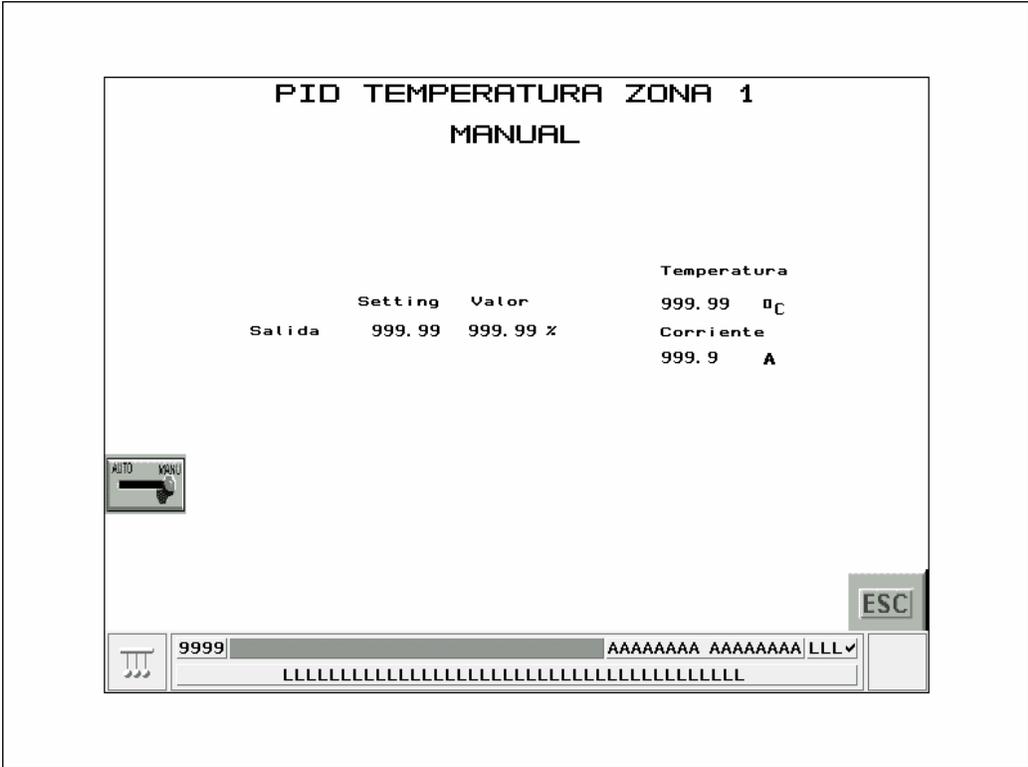
RESSTENCIAS ZONAS 1 A 4: Página que permite visualizar las tendencias de corriente de la zona 1 a la zona 4. Retorno con ESC a la página de resistencias (Tecla R10).



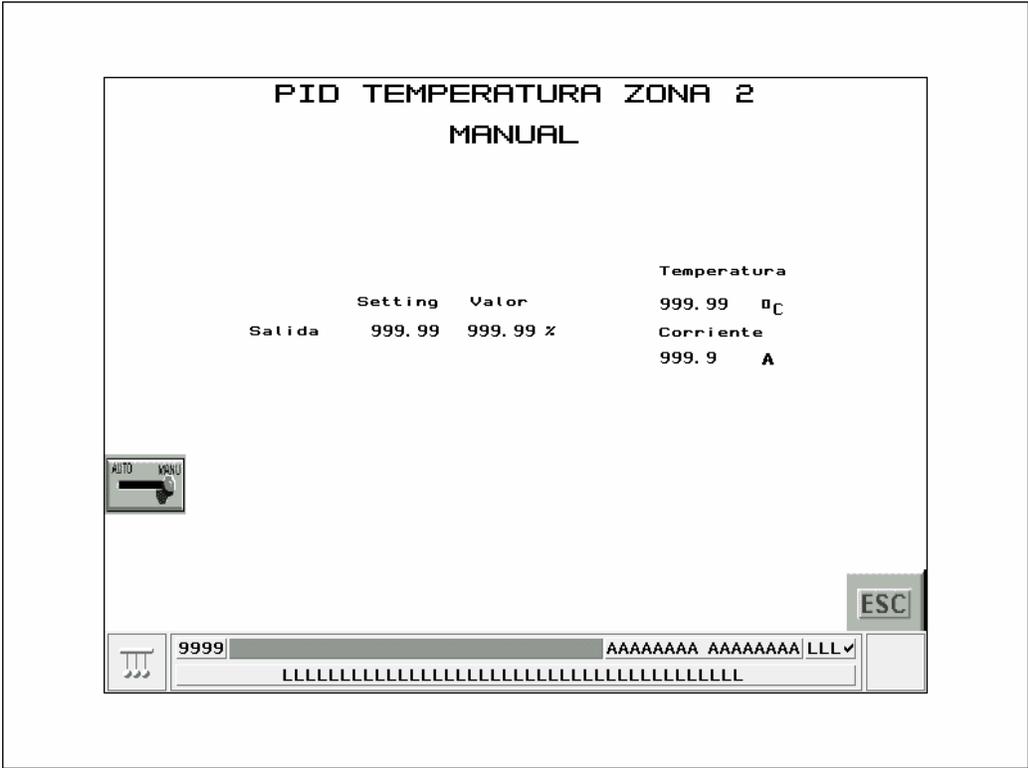
RESSTENCIA MALLA: Página que permite visualizar la tendencia de corriente de la malla. Retorno con ESC a la página de resistencias (Tecla R10).



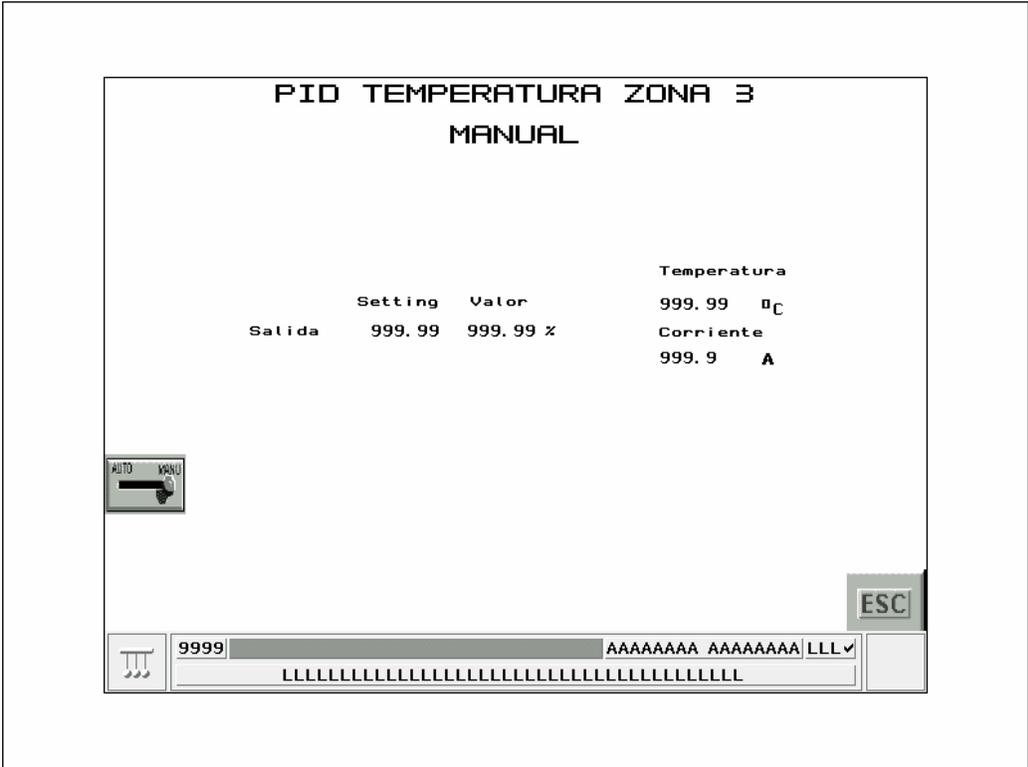
PID DE TEMPERATURA MANUAL ZONA 1: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 1 en forma manual, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 1 en modo automático (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



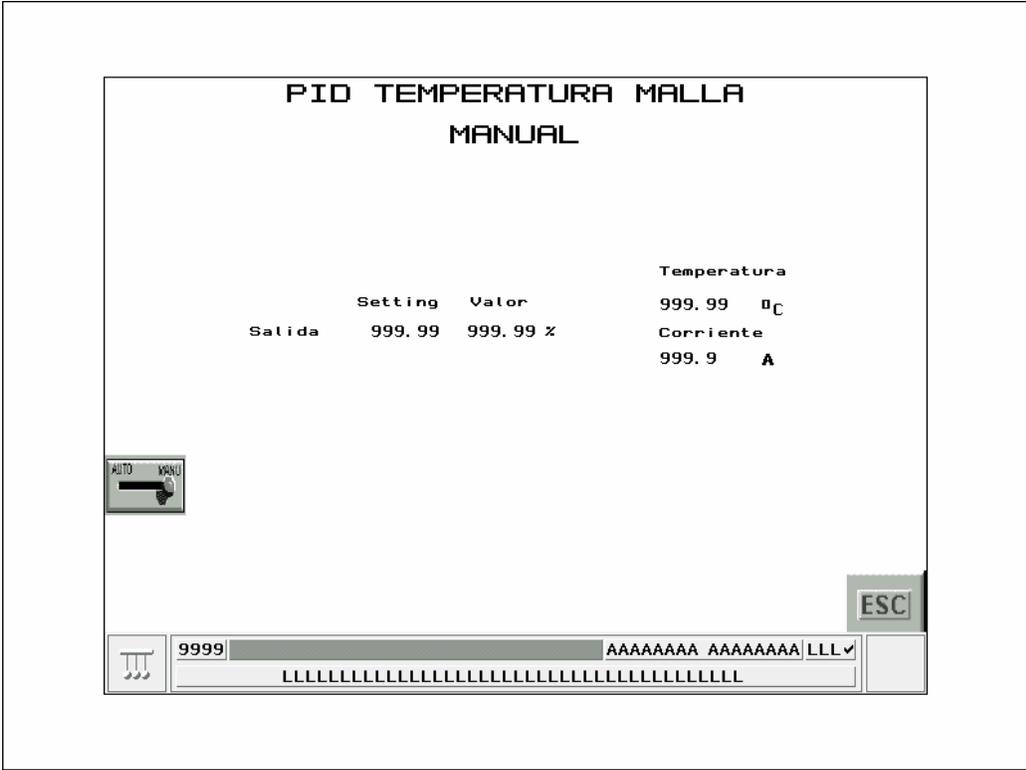
PID DE TEMPERATURA MANUAL ZONA 2: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 2 en forma manual, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 2 en modo automático (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



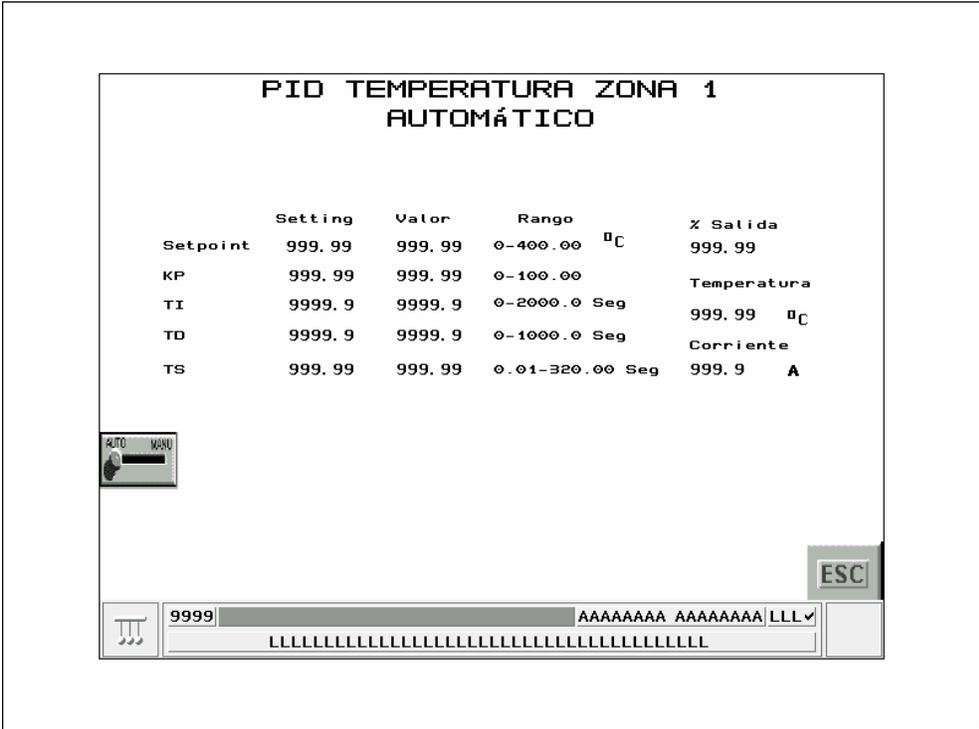
PID DE TEMPERATURA MANUAL ZONA 3: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 3 en forma manual, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 3 en modo automático (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



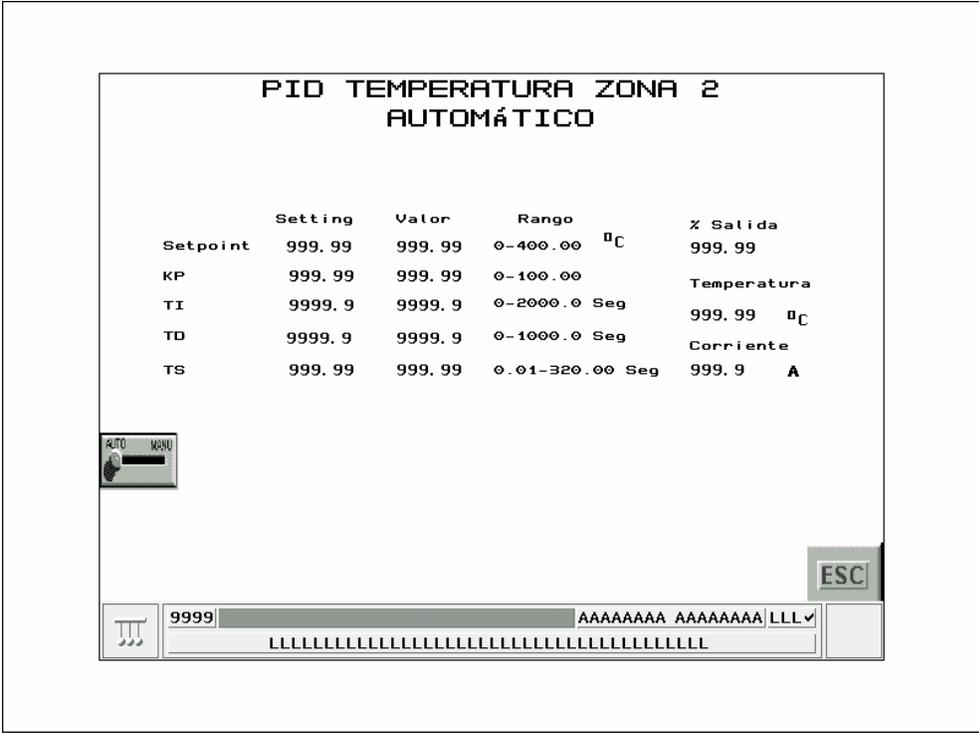
PID DE TEMPERATURA MANUAL MALLA: Página que permite al usuario ajustar el PID de la malla en forma manual, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura Malla filtro en modo automático (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



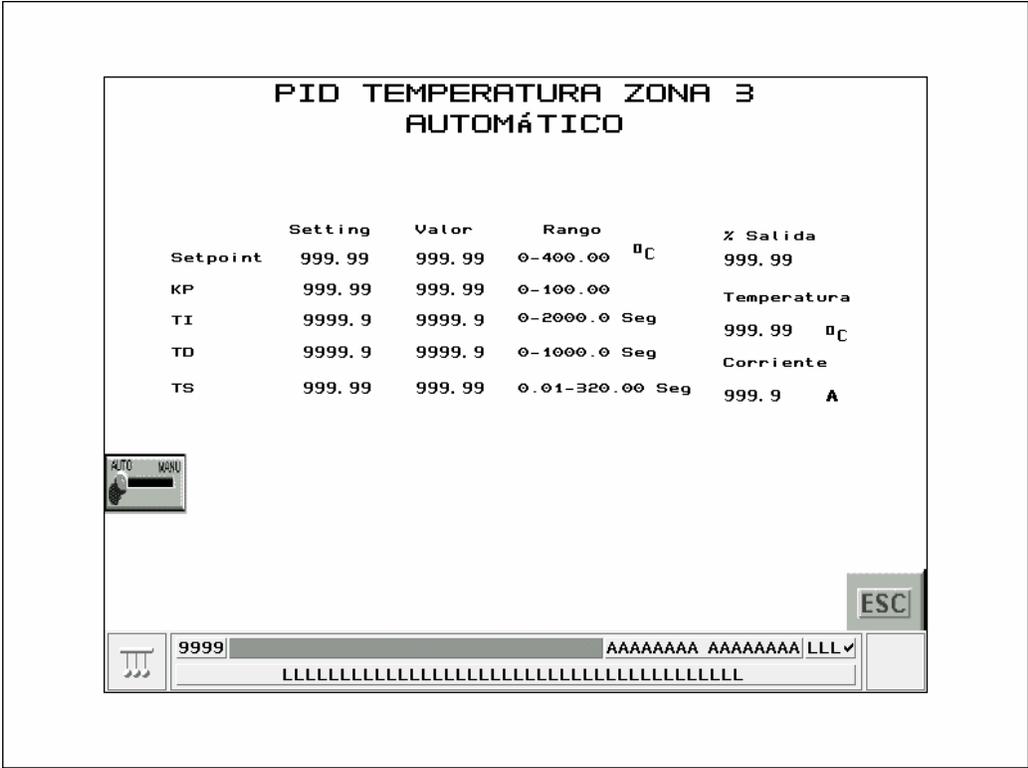
PID DE TEMPERATURA ZONA 1 AUTOMÁTICO: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 1 en modo automático, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 1 en modo manual (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



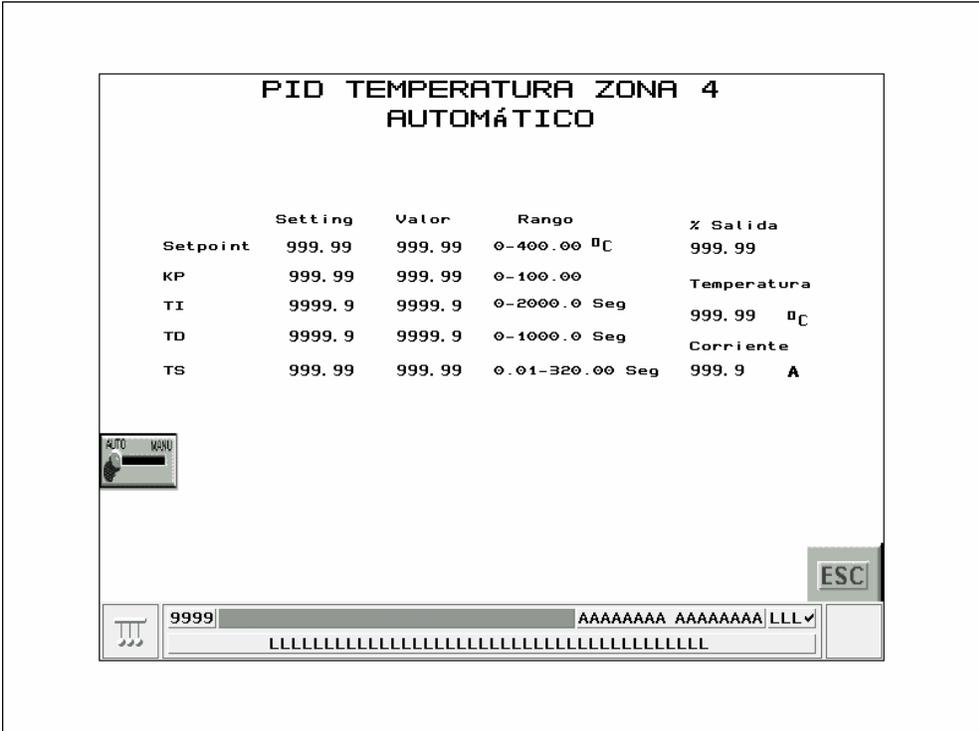
PID DE TEMPERATURA ZONA 2 AUTOMÁTICO: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 2 en modo automático, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 2 en modo manual (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



PID DE TEMPERATURA ZONA 3 AUTOMÁTICO: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 3 en modo automático, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 3 en modo manual (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



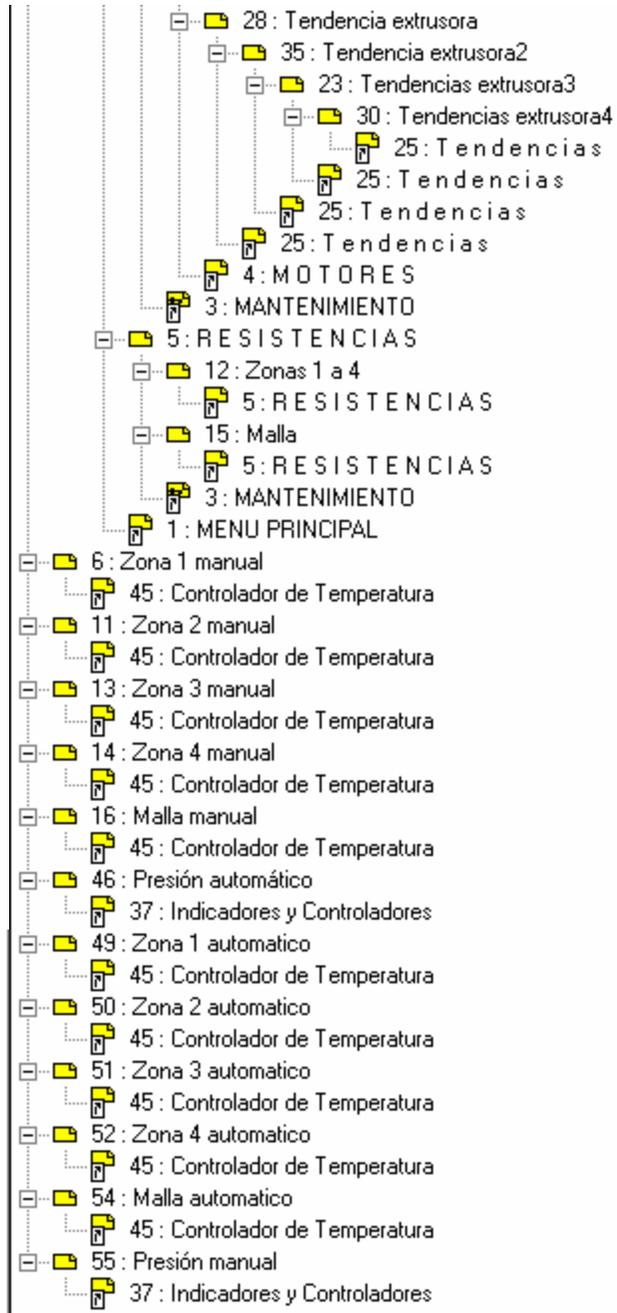
PID DE TEMPERATURA ZONA 4 AUTOMÁTICO: Página que permite al usuario ajustar el PID de la zona 4 en modo automático, además visualizar el estado de la temperatura y la corriente en esta zona. Acceso a PID temperatura zona 4 en modo manual (Tecla R7). Retorno mediante ESC a la página controladores de temperatura.



PÁGINA DE ALARMAS: Página donde se maneja un listado de alarmas con base en los requerimientos del proceso, teniendo en cuenta alarmas de:

1. Alta Temperatura Zona 1.
2. Alta Temperatura Zona 2.
3. Alta Temperatura Zona 3.
4. Alta Temperatura Zona 4.
5. Baja Temperatura Zona 1.
6. Baja Temperatura Zona 2.
7. Baja Temperatura Zona 3.
8. Baja Temperatura Zona 4.
9. Alta presión extrusora.
10. Baja presión extrusora.
11. Puerta frontal troquel abierta.
12. Puerta lateral troquel abierta.
13. Alta temperatura de melt.
14. Baja temperatura de melt.
15. Fallo de resistencia zona 1.
16. Fallo de resistencia zona 2.
17. Fallo de resistencia zona 3.

18. Fallo de resistencia zona 4.
19. Fallo de resistencia de malla.
20. Alta temperatura del agua de enfriamiento.
21. Baja presión del agua de enfriamiento.
22. Baja presión de aire.
23. No hay cinta presente.
24. Acumulamiento de cinta.
25. Térmico del molino.
26. No hay aire presente.
27. Alta presión diferencial.
28. Fallo de comunicación.



7. MANUALES Y PROCEDIMIENTOS.

7.1. MANUAL DE OPERACIÓN.

El manual de operación se realizó con base en los estándares de la empresa Ambar S.A., teniendo las respectivas aprobaciones por parte del ingeniero de proceso, ingeniero de mantenimiento y el estricto control del departamento de calidad el cual autoriza la circulación controlada del documento. (Ver Anexo S.).

7.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO.

El manual de mantenimiento se realizó con base en los estándares de la empresa Ambar S.A., teniendo las respectivas aprobaciones por parte del ingeniero de proceso, ingeniero de mantenimiento y el estricto control del departamento de calidad el cual autoriza la circulación controlada del documento. (Ver Anexo S.).

8. PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA.

8.1. ESTADO DE SENSORES.

Para el correcto funcionamiento de la máquina y de las seguridades del sistema se hace un completo seguimiento a todos los elementos de la parte de control y sensórica que se encuentran instalados en el campo. Se comprueba que todos y cada uno de ellos coincidan con los requerimientos de proceso, con base en esto se realiza un check list (Ver Cuadro 18.) de ellos con el siguiente formato:

Cuadro 18. Check list sensores.

ELEMENTO	ESTADO
Termocupla de melt.	Calibrada
Termocupla de malla cambia filtro.	Calibrada
Termocuplas de las Zonas 1, 2, 3 y 4.	Calibrada
Termocupla del agua en la unidad de enfriamiento.	Calibrada
Transmisores de presión de melt.	Calibrados
Control para el ancho de cinta.	Ok
Micro interruptores para la guaya, el aire en la rueda y puertas de la troqueladora.	Ok
Sensores ópticos para la presencia de cinta y acumulamiento de cinta.	Ok
Detector de proximidad inductivo.	Ok
Interruptor de final de carrera para el acumulamiento de cinta.	Ok
Presóstatos.	Calibrados
Resistencias de calentamiento.	Ok

Al confirmar con el ingeniero de proceso la presencia e instalación de los sensores se verifica que las seguridades (Ver Cuadro 19.) del sistema funcionen.

Cuadro 19. Check list seguridades

SEGURIDAD	ESTADO
Falla de aire	Ok
Acumulamiento de cinta óptico	Ok
Acumulamiento de cinta mecánico	Ok
Guaya	Ok
Alta presión en extrusora	Ok
Puertas de la troqueladora cerradas	Ok

Luego de comprobar que todas las seguridades del sistema funcionan, que las alarmas se activan en el momento adecuado, se procede con el arranque seguro de la máquina y operadores según el manual de operación.

8.2. ARRANQUE DE LA MÁQUINA.

El arranque de la máquina es el momento en el cual las cinco partes principales de esta entran en funcionamiento como un todo, para este fin se realizan pruebas a cada parte así:

- Rueda de termoformado: El procedimiento de arranque para la rueda implica la rotación de esta asegurando que se encuentren ajustadas todas las piezas (moldes) que la integran, además que el agua y el aire necesarios para el termoformado se encuentren en condiciones favorables. Se ajusta la velocidad en metros por minuto según los requerimientos de proceso.

Fue necesario diseñar un sistema eléctrico adicional capaz de hacer un ajuste fino en el giro de la rueda en cualquier sentido de marcha (adelante / atrás),

además de un mando remoto start / stop para las condiciones en las que se realiza el cambio de moldes, este sistema esta compuesto por dos botones de selección.

- Rodillos: En estos se realizan pruebas concernientes al giro adecuado en metros por minuto, además se verifica que el sistema de enfriamiento con agua funcione.
- Extrusora: Esta parte esencial de la máquina se le aplica un procedimiento de arranque con extremas medidas de seguridad ya que el control de extrusoras implica:
 - Rotación adecuada del tornillo en el interior del barril.
 - Purga del barril para asegurar el arrastre de impurezas en el interior.
 - Verificación de las presiones en el interior.
 - Calentamiento adecuado de las zonas para no dañar el producto.
 - Velocidad del motor al momento de arrancar ($V = 0$).
 - Sistema de enfriamiento por agua que circula en los sellos para evitar el derrame del producto o daño a los mismos.
- Troqueladora: Se verifica que estén sincronizados los movimientos mecánicos de este con los del corte de la tapa, de esta forma se garantiza un producto terminado sin imperfectos. Al igual que la rueda de termoformado, en el troquel se diseña un sistema eléctrico adicional capaz de hacer un ajuste fino del giro en cualquier sentido de marcha (adelante / atrás), además de un mando remoto start / stop para las condiciones en las que se enhebra la cinta termoformada para su posterior corte.

Es necesario verificar la correcta relación de velocidades entre el motor del troquel y la rueda de termoformado que en teoría es uno (1), pero en el momento de llevarlo a la práctica varía. Esta sincronía es de suma importancia para el correcto funcionamiento de la máquina, ya que de ella depende que la cinta se acumule en la rueda o por el contrario se rompa.

- Sistema de alimentación: En esta parte de la máquina se verifica que las alarmas por alto y bajo nivel funcionen adecuadamente, también se asegura que la relación prime / scrap sea de 5:1 (Kg/Hr).

Después de someter a prueba cada una de las partes sin involucrar calentamiento en los motores se procede con la prueba general del sistema, arrancando el proceso como lo describe el manual de operaciones. (Ver Anexo S.)

8.3. RECOPIACIÓN DE INCONVENIENTES

En el desarrollo del proyecto máquina de tapas se presentaron imprevistos los cuales fueron solucionados a fin de culminar satisfactoriamente y realizar una entrega que cumpliera con todos los objetivos.

- Retraso en la elaboración de las piezas tanto en la estructura de la máquina como la parte de mecanismos, directamente relacionado con el departamento de mantenimiento mecánico, se reflejó en un retraso considerable para iniciar el montaje eléctrico y electrónico, por lo que se tomó la decisión de colocar en

stand by el proyecto. En este periodo se trabajó en la verificación de las conexiones en los tableros de potencia y control, además en el diseño del layout de la máquina y en el diseño de los trazados para tuberías conduit.

- Problemas con los breakers de protección que se encuentran ubicados en el tablero de potencia y control, específicamente con los breakers que sirven de protección a los transformadores y el PLC. Estos problemas se solucionaron realizando ajustes en los puentes en las bobinas de los transformadores y para el caso del PLC cambiando el breaker de protección de 0.5A especificado por el fabricante a uno mayor de 1A.
- Debido a que muchos de los instrumentos y equipos utilizados en la máquina necesariamente fueron importados, se presentaron retrasos porque en el momento de la compra el proveedor aseguraba que el envío tenía un periodo entre 4 a 6 semanas, resultando esto en tiempos adicionales de hasta dos semanas.
- Cambio del jefe de proyectos. Cuando el proyecto se encontraba a un 25% de su etapa inicial se presentó un imprevisto que provocó la puesta en stand by, aplicando un considerable retraso tanto de la parte mecánica como la eléctrica y electrónica. Por lo anterior se elaboró un nuevo cronograma de actividades donde se contemplan rutas críticas para la finalización del proyecto.

Por todo lo anterior el proyecto se culminó a satisfacción en un periodo de once (11) meses, aunque inicialmente se programó para seis (6).

8.4. INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO.

En el proyecto de la automatización de la máquina de tapas plásticas desechables se hizo uso de tecnología de punta en cuanto a automatización industrial se refiere, por lo que fue necesario realizar una inversión para tal fin. Lo anterior se puede ver reflejado en la siguiente relación de costos y equipos:

Cuadro 20. Inversión del proyecto

DESCRIPCIÓN	VALOR
Motores	4.240.000
Tablero de potencia, control y aire	7.222.075
Peines puente de potencia	80.000
Pantalla HMI	8.000.000
Pulsadores	2.000.000
Baliza	350.000
Sensores ópticos	1.000.000
Contactores	3.500.000
Disyuntores	7.500.000
Cajas de conexión para comunicación	800.000
Módulos de PLC	5.000.000
PLC	2.200.000
Transformadores	3.000.000
Inductancias de línea	600.000
Variadores de velocidad	12.000.000
Riel DIN	1.200.000
Marquillas para cable, terminales.	2.000.000
Cable para TC	150.000
Cable global	6.500.000
Fuentes de alimentación	1.000.000
Termocuplas	1.500.000
Canaletas	100.000
Tubería conduit y accesorios	8.000.000
Transmisores de presión	5.000.000
Resistencias de calentamiento	4.000.000

Válvula solenoide	250.000
Presóstatos	420.000
Convertidor corriente - corriente	500.000
Bornas y accesorios	14.500.000
Reles de estado sólido	14.000.000
Fusibles	200.000
Contratistas	3.000.000
Disco de ruptura	2.000.000
Computador	2.000.000
Software PL7 y XBT-L1000	8.000.000
Varios	5.000.000
TOTAL \$	136.812.075

9. CONCLUSIONES.

Mediante la realización de este proyecto se logro poner en marcha una máquina que se encontraba abandonada a la intemperie durante un periodo de siete (7) años, al colocar la máquina en funcionamiento la compañía Ambar S.A. hoy Ajover S.A. podrá aumentar su producción de tapas plásticas desechables en 200.000 Tapas/día, donde la producción mínima esperada era de 150.000 Tapas/día.

Con la nueva máquina en funcionamiento la compañía podrá generar hasta 4 Empleos directos, además de indirectos. Los beneficios de llevar a cabo este proyecto no son solo para la compañía, también la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar la cual se encuentra comprometida con el desarrollo de la industrial regional, y con este tipo de proyectos lo esta demostrando.

En esta aplicación se pudo demostrar y comprobar la eficacia de los motores AC frente a los motores DC. La ventaja que tienen los motores de DC, es que poseen alto par desde el momento del arranque, sin embargo más son las desventajas frente a los motores AC.

Debido a que los motores AC de inducción no poseen escobillas, no producen chispas, detalle bastante importante cuando se trata de ambientes de trabajo con atmósferas explosivas, además los motores AC en conjunto con variadores de velocidad producen un par más constante que en los motores DC. Factor de preponderante importancia cuando se

trata de aplicaciones de bobinado. Es por esto que se decidió usar motores AC en esta máquina sumando que en la planta de tapas plásticas desechables, se considera de ambiente explosivo por existir bajos niveles de pentano utilizado en la fabricación de vasos de icopor.

Es importante acentuar que al reemplazar motores DC por AC autoventilados, se debe sobredimensionar la potencia del motor, ya que por debajo de 30Hz el torque comienza a bajar y la temperatura a incrementar. En otros casos seleccionar un motor de mayor cantidad de RPM para obtener las RPM requeridas por el proceso, a mayor cantidad de Hz, sin sobrecalentar el motor.

La tecnología utilizada en este proyecto permitió optimizar los lazos de control existentes en la máquina, traduciéndose en mayor rapidez de respuesta del sistema o del operario ante un fallo en el mismo; por ejemplo la tecnología de buses de campo permitió realizar mejores diagnósticos ante un fallo al poseer mayor información del sistema. Y lo mejor de todo es que esta información viaja a través del mismo cable. Sin embargo existen variables que por su naturaleza e importancia es recomendable darles un tratamiento especial, como es el caso de la presión en la extrusora. Aunque es posible observar el valor de presión en la pantalla HMI, es mejor colocarla en un indicador o registrador separado, ya que la velocidad de respuesta es mucho mayor que en un PLC + Bus de campo + Pantalla HMI, además está siempre visible el valor.

Se resalta que si en el proceso de automatización no se tiene el modelo matemático de la planta por ser complicado de obtener como en esta aplicación, no es posible aplicar el método analítico de diseño de controladores PID, por tal razón se recurre a procedimientos experimentales para el diseño de controladores PID como el aplicado de Ziegler – Nichols.

La automatización de la máquina de tapas plásticas desechables se realizó teniendo en cuenta los últimos avances en el campo de la automatización industrial, por tal razón se hizo uso de dispositivos con tecnología de punta, por ejemplo la pantalla industrial, utilizada en esta aplicación que es un equipo de gran ayuda para el operador de la máquina ya que en esta puede encontrar toda la información suficiente para realizar una correcta operación del sistema sin recurrir a múltiples dispositivos o pulsadores.

Por lo anterior fue necesaria la automatización ya que trae consigo significativas ventajas como son:

- Aumento considerable de la calidad de las tapas plásticas terminadas.
- Posibilita la operación de secuencias a través del PLC y el sincronismo a alta velocidad como el caso de la rueda y el troquel.
- Aumento del volumen de producción.
- Disminución de métodos, tiempos y costos de producción.

Con estas razones se tiene como resultado una planta más productiva y a la vez una empresa más competitiva.

Como conclusiones personales los Autores de este proyecto, podemos afirmar que ha sido un trabajo enriquecedor en el que se aplicaron no solo los conocimientos adquiridos en la carrera, ya que una máquina de este tipo requiere de un equipo de trabajo interdisciplinario entre el que se encuentran Ingenieros químicos, mecánicos, civiles, electrónicos y electricistas. Entre los conocimientos aplicados adquiridos durante la carrera encontramos: Control automático de procesos, redes de alta velocidad, evaluación de proyectos, electrónica de potencia, telemática, termofluidos, resistencia de materiales. Etc...

BIBLIOGRAFÍA

- AIR VALVES – DESIGNS OF THE TIMES. MAC. Selección de válvula solenoide.
- Automation and Power Distribution. Wiring Manual. Klockner-Moeller. Elaboración de planos eléctricos.
- Catálogos Máquina de Tapas Ambar S.A., Biblioteca y hemeroteca planta de vasos Ambar S.A.
- Controles Industriales. Barber-Colman Company. Selección de termocuplas y transmisores de presión.
- Detección. Catálogo Octubre 1997. Telemecanique. Selección de detectores de proximidad inductivos.
- Guía de especificaciones fotoeléctricas. BANNER. Selección de sensor fotoeléctrico especial.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá : ICONTEC, 2002. 34p (NTC 1486)
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Técnicas ICONTEC. Bogotá : ICONTEC , 1972. Fuente de consulta para realizar el informe escrito según las normas vigentes para la presentación de trabajos de grado.
- Kosow, I., Control de Máquinas Eléctricas. 1ª Edición, España: Reverté S.A. 1977. Dispositivos de máxima y de protección.

- Nano programmable controllers and Micro automation platform. Catalogue April 1999. Telemecanique. Selección de PLC y pantalla HMI.
- Oñós, E. MANIOBRA MANDO Y CONTROL ELÉCTRICOS. ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD. Quinta edición, Barcelona (España). Documentación para elaboración de planos eléctricos.
- Protection components and motor starters, open versión. Catalogue May 1998. Telemecanique. Selección de disyuntores, contactores y relés térmicos para motores.
- Pushbuttons and Pilot devices. Catalogue September 1996. Telemecanique. Selección de pulsadores y luces piloto.
- SENSING PRODUCTS. Photoelectric sensors – proximity sensors – limit switches. Cat No. CEDSAX2. OMRON. Selección de microswitches.
- SENSORES. Diell. Selección de sensores.
- Smith, A. y Corripio A. Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica. 1996. Limusa Noriega Editores. Modelos matemáticos de procesos químicos y estrategias de control – Técnicas adicionales de control.
- Telemecanique. Detección. Catálogo Octubre 1997. Selección de detectores de proximidad inductivos.
- Variadores de velocidad Altivar 28 - 58 monofásicos / trifásicos y arrancadores. Catálogo Marzo 2000. Telemecanique. Selección de variadores de velocidad.

