



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTORES:

JÁCOME RIVERA, FERNANDO MARCELO
VILLACÍS JARA, HAROLD DAVID

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO PARA LA REPOTENCIACIÓN DE UNA
MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO MARCA BJC EN LA
EMPRESA ISISEM**

DIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

CODIRECTOR: ING. TUMIPAMBA, EMILIO

SANGOLQUÍ, JULIO 2014

CERTIFICADO

Ing. Hugo Ortiz
Ing. Emilio Tumipamba

CERTIFICAN

Que el trabajo **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO MARCA BJC EN LA EMPRESA ISISTEM”**, realizado por los Sres. Fernando Marcelo Jácome Rivera y Harold David Villacís Jara, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto, el cual contiene los archivos en formato de documento portátil (pdf). Autorizan a los Sres. Fernando Marcelo Jácome Rivera y Harold David Villacís Jara, que lo entreguen al Ingeniero Francisco Terneus, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

Ing. Hugo Ortiz

DIRECTOR

Ing. Emilio Tumipamba

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Fernando Marcelo Jácome Rivera y Harold David Villacís Jara

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO MARCA BJC EN LA EMPRESA ISISTEM**” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Fernando Marcelo Jácome Rivera

Harold David Villacís Jara

Sangolquí, 25 de Julio de 2014

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Fernando Marcelo Jácome Rivera y Harold David Villacís Jara

AUTORIZAMOS:

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la Biblioteca Virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO MARCA BJC EN LA EMPRESA ISISTEM”**, cuyo contenido, idea y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Fernando Marcelo Jácome Rivera

Harold David Villacís Jara

Sangolquí, 25 de Julio de 2014

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo reflejado en este trabajo a mis hermanos, Erick y Emily, a mi padre y a mi madre. Quienes han sido el motor que me mueve a luchar, y a cumplir mis objetivos en cada ámbito de mi vida. Por ese apoyo incondicional y ese amor desmesurado que me brindan y me dan fuerza y persistencia para avanzar, cada logro mío también es de ellos.

Fernando Marcelo Jácome Rivera

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios, por cuidarme y guiarme cada día de mi vida.

Con todo mi cariño y mi amor dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido mi ejemplo e inspiración para que yo pueda lograr mis sueños, por cuidarme y motivarme en los momentos difíciles.

A mi hermana Karlita, por quien me esfuerzo y trato de ser mejor cada día.

A mi tía Fray, mi segunda mamá, quien ha estado junto a mí toda mi vida brindándome su amor y apoyo.

A mis abuelitos Papá Fausto y Papá Miguel, quienes me protegen desde el cielo y permanecerán siempre en mi corazón.

Harold David Villacís Jara

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera como estudiante universitario, quienes siempre estuvieron para apoyarme, y darme valor para seguir.

Agradezco a mi compañero de tesis, y amigo, Harold. Quien siempre mostró una responsabilidad enorme para el desarrollo del proyecto y por esa calidez humana difícil de hallar, de igual manera a su familia, quienes me ofrecieron su cariño y me abrieron las puertas de su hogar.

Agradezco a mis amigos, que llenaron de felicidad y grandes momentos inolvidables los años de estudiante, por una amistad verdadera y que ha prevalecido más allá de las aulas. Por sus consejos y su preocupación.

Agradezco a las personas de ISISTEM, y de la mecánica Industrial ROJAS, quienes me brindaron su ayuda desinteresada, y mostraron esa calidad humana que da satisfacción llegar a conocer. Por esa amistad formada.

Agradezco a los ingenieros Hugo Ortiz y Emilio Tumipamba, por sus consejos, y su preocupación como dirigentes de este proyecto. Al Ingeniero Hernán Lara, gracias a sus enseñanzas, consejos, y solidaridad.

Fernando Marcelo Jácome Rivera

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por todo el esfuerzo que han realizado para darme una excelente formación académica. Gracias por inculcarme valores tan importantes como la responsabilidad, la honestidad y el respeto; y por educarme siempre con el ejemplo. Gracias por todo su amor y protección, pero sobre todo, gracias por enseñarme a ser una persona correcta.

A mi hermana Karlita, por hacer más felices mis días, por su preocupación y cariño.

A mi tía Fray, por su amor y compañía a lo largo de toda mi vida.

A mi amigo Fernando, quien depositó su confianza en mí para la realización de este proyecto y que mostró un gran compromiso para la consecución del mismo.

A mis amigos de la carrera, con quienes entre risas y bromas se aprendió la ingeniería.

A Santiago, Mónica, Pablo, Raúl y Milton quienes confiaron en nosotros para la ejecución del proyecto, por su ayuda y asesoramiento.

A los ingenieros Hugo Ortiz y Emilio Tumipamba, quienes mostraron su total predisposición para dirigir este proyecto.

Harold David Villacís Jara

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
1.5.1 SISTEMA MECÁNICO.....	6
1.5.2 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	7
1.5.3 SISTEMA DE CONTROL.....	8
1.6 EL PLÁSTICO.....	10
1.6.1 GENERALIDADES.....	10
1.6.2 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	11
1.6.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.....	15
1.6.4 MOLDEO Y CONFORMADO DE PLÁSTICO.....	22
1.6.5 MOLDEO POR INYECCIÓN.....	30
CAPÍTULO II.....	47
2.1 GENERALIDADES.....	47
2.2 ESTRUCTURA MODULAR DEL PROCESO.....	48
2.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN GLOBAL DEL SISTEMA.....	49
2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS FUNCIONALES.....	49
2.3 ANÁLISIS DE LA MÁQUINA POR MÓDULOS.....	50
2.3.1 MÓDULO “ALIMENTAR MATERIA PRIMA”.....	51

2.3.2	MÓDULO “ENCENDER LA MÁQUINA”	51
2.3.3	MÓDULO “CONFIGURAR Y CONTROLAR PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO”	58
2.3.4	MÓDULO “PLASTIFICAR LA MATERIA PRIMA”	62
2.3.5	MÓDULO “INYECTAR EL MATERIAL PLASTIFICADO”	63
2.4	ANÁLISIS DEL SISTEMA HIDRÁULICO ÍNTEGRO.....	70
2.4.1	SISTEMA HIDRÁULICO ABRIR/CERRAR PLATOS Y AVANZAR/RETROCEDER BOQUILLA.....	72
2.4.2	SISTEMA HIDRÁULICO INYECCIÓN.....	73
2.4.3	SISTEMA HIDRÁULICO PARA MOTOR DE CARGA	74
	CAPÍTULO III.....	76
3.1	GENERALIDADES.....	76
3.2	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE.....	76
3.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CLIENTE.....	76
3.3.1	DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN.....	77
3.4	MÓDULOS: PROBLEMAS Y SOLUCIONES	77
3.4.1	MÓDULO “ENERGIZAR CIRCUITO DE POTENCIA”	79
3.4.2	MÓDULO “PERMITIR INGRESO DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO”	85
3.4.3	MÓDULO “CONTROLAR SISTEMA”	88
3.4.4	MÓDULO “ENFRIAR SISTEMA”	92
3.4.5	MÓDULO “PLASTIFICAR MATERIA PRIMA”	100
3.4.6	MÓDULO “INYECTAR MATERIAL PLASTIFICADO”	100
3.4.7	SISTEMA HIDRÁULICO ÍNTEGRO	102
	CAPÍTULO IV.....	105
4.1	GENERALIDADES.....	105
4.2	SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS MECÁNICOS.....	105

4.2.1	TORNILLO RECIPROCANTE.....	105
4.2.2	EJE DEL MOTOR HIDRÁULICO	106
4.2.3	PISTÓN DE INYECCIÓN.....	108
4.2.4	REGULADORES DE CARRERA DEL PISTÓN DE BOQUILLA....	109
4.2.5	VÁLVULAS DE ALIVIO	111
4.2.6	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	112
4.3	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	116
4.3.1	GENERALIDADES.....	116
4.3.2	ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL INTERCAMBIADOR EXISTENTE	119
4.3.3	ENFRIAMIENTO DE LOS MOLDES	141
4.3.4	DISEÑO DEL CIRCUITO	151
4.3.5	EVALUACIÓN Y PUESTA A PUNTO DE LA BOMBA	152
4.3.6	INSTALACIÓN DEL TANQUE DE AGUA.....	154
4.3.7	IMPLEMENTACIÓN DEL DISTRIBUIDOR.....	155
4.3.8	MANTENIMIENTO DEL INTERCAMBIADOR	156
4.3.9	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE RECIRCULACIÓN.....	158
4.4	TIEMPO DE PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO	160
4.5	ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN EL CAÑÓN	161
4.5.1	CALENTAMIENTO DEL CAÑÓN DESDE TEMPERATURA AMBIENTE.....	161
4.5.2	CALENTAMIENTO DEL CAÑÓN PARA DIFERENTES MATERIALES	164
4.5.3	UBICACIÓN DE LOS SENSORES.....	173
4.6	DISEÑO Y ANÁLISIS DE LLENADO DE CAVIDAD.....	173

4.6.1	PRUEBAS PRELIMINARES CON SOLIDWORKS PLASTICS.....	174
4.6.2	DIMENSIONAMIENTO DEL CONO DE BEBEDERO Y CANAL DE ESTRANGULAMIENTO	179
	CAPÍTULO V	182
5.1	GENERALIDADES.....	182
5.2	UBICACIÓN DE LOS GABINETES ELÉCTRICOS	183
5.3	DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN AC Y DC DE BAJO VOLTAJE.....	186
5.4	DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA.....	186
5.4.1	MOTOR SIEMENS.....	188
5.4.2	MOTOR WEG	191
5.4.3	NIQUELINAS	193
5.4.4	CIRCUITO DE POTENCIA ELECTROVÁLVULAS Y BOBINAS DE CONTACTORES 220VAC.....	197
5.5	DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	197
5.5.1	ENTRADAS DEL PLC.....	197
5.5.2	CONEXIONADO DEL PLC	198
5.5.3	SALIDAS A RELÉS DE CONTROL.....	199
5.6	DISEÑO DEL GABINETE PRINCIPAL.....	201
5.7	DISEÑO DEL GABINETE SECUNDARIO	204
5.8	CÓDIGO DE COLORES PARA CABLEADO	205
5.9	IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO ELÉCTRICO	207
	CAPÍTULO VI	220
6.1	INTRODUCCIÓN	220
6.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.	220
6.3	SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL	221
6.4	ADQUISICIÓN DE DATOS DE TERMOPARES.....	228

6.4.1	SENSORES	228
6.4.2	CARACTERÍSTICAS DE ENTRADAS ANÁLOGAS	228
6.4.3	DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO	229
6.5	DISEÑO DE LA PROGRAMACIÓN LADDER	238
6.5.1	MODO MANUAL	241
6.5.2	MODO AUTOMÁTICO	242
6.5.3	ACTIVACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS	244
6.5.4	CONTROL DE TEMPERATURA	245
6.5.5	SISTEMA DE CALENTAMIENTO	247
6.5.6	AVISOS Y EMERGENCIAS	248
6.5.7	BLOQUE PRINCIPAL (MAIN)	249
6.6	DISEÑO DEL HMI	249
6.6.1	GENERALIDADES	249
6.6.2	DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS	250
CAPÍTULO VII		259
7.1	INTRODUCCIÓN	259
7.2	INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO	259
7.2.1	COSTOS DIRECTOS	259
7.2.2	COSTOS INDIRECTOS	263
7.2.3	PRESUPUESTO TOTAL	263
7.3	ANÁLISIS ECONÓMICO	264
7.3.1	INGRESOS ECONÓMICOS	264
7.3.2	EGRESOS	264
7.3.3	BENEFICIO	266
7.4	EVALUACIÓN DEL PROYECTO	266
7.4.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	266

7.4.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	268
	CAPÍTULO VIII	269
8.1	CONCLUSIONES	269
8.2	RECOMENDACIONES	271
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	272

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Esquema de extrusión. b) Moldeo de Inyección.....	2
Figura 2. a) y b) Vistas de la máquina.....	6
Figura 3. Sistema de válvulas de control (manifold).....	6
Figura 4. Mangueras de distribución hacia actuadores hidráulicos.	7
Figura 5. Niquelinas de calentamiento para la boquilla.	7
Figura 6. Vista Frontal del Panel de Control.....	8
Figura 7. Vista Posterior del Panel de Control (gabinete).	8
Figura 8. Esquema del Control On-Off.....	9
Figura 9. Diagrama de bloques de un control PID.....	9
Figura 10. Touch-Panel (Siemens).	10
Figura 11. Aplicaciones del plástico.	10
Figura 12. Codificación de plásticos.	14
Figura 13. Clasificación de materiales poliméricos y algunos ejemplos.	16
Figura 14. Estructura semi-cristalina (izquierda), y amorfa (derecha)	18
Figura 15. Deformación de termoplásticos amorfos.	18
Figura 16. Deformación de termoplásticos semi-cristalinos.	19
Figura 17. Procesos para conformado de polímeros termoplásticos.	23
Figura 18. Esquema de una máquina de extrusión.	24
Figura 19. Ejemplos de productos obtenidos mediante extrusión.	24
Figura 20. Rodillos de calandrado.	25
Figura 21. Productos elaborados por termoconformado.	26
Figura 22. Termoformado al vacío.	26
Figura 23. Termoformado a presión.....	27
Figura 24. Productos elaborados mediante moldeo por soplado.....	28
Figura 25. Moldeo por soplado-inyección.	28

Figura 26. Proceso de moldeo por extrusión- soplado.	29
Figura 27. Máquina de Inyección de plástico.	30
Figura 28. Máquina de inyección de plástico horizontal.	32
Figura 29. Máquina de inyección de plástico vertical.	32
Figura 30. Principales módulos de una máquina de inyección.	33
Figura 31. Partes del tornillo recíprocante.	35
Figura 32. Tipos de válvula antirretorno.	36
Figura 33. Boquilla.	36
Figura 34. Ejemplo de unidad de cierre.	37
Figura 35. Unidad de cierre mecánica.	38
Figura 36. Unidad de cierre hidráulica. a) Sujeción articulada; b) Sujeción simple.	38
Figura 37. Partes de un molde de dos placas a) cerrado y b) abierto.	40
Figura 38. Molde de tres placas a) abierto y b) cerrado.	40
Figura 39. Accionamiento de la unidad de cierre mediante actuadores hidráulicos.	41
Figura 40. Presión en el molde durante un ciclo típico de moldeo.	43
Figura 41. Posición de los canales de enfriamiento.	43
Figura 42. Vista del portal.	45
Figura 43. Vista del proyecto.	46
Figura 44. Función global del sistema.	50
Figura 45. Diagrama modular- Nivel 1.	50
Figura 46. Tolva de alimentación de material.	51
Figura 47. Borneras en mal estado.	52
Figura 48. Contactores deteriorados para arranque estrella-triángulo.	52
Figura 49. Conexión de los devanados del motor eléctrico.	53

Figura 50. Contactores de niquelinas.....	53
Figura 51. Cableado de las niquelinas.	54
Figura 52. Mangueras para cables de electroválvulas.	54
Figura 53. Gabinete para borneras de electroválvulas y finales de carrera. .	55
Figura 54. Transformador, tarjeta rectificadora y filtro.	56
Figura 55. Conexiones de finales de carrera.....	57
Figura 56. Relés de control.....	57
Figura 57. Conexión del gabinete de control.....	57
Figura 58. Descripción del gabinete de control.	59
Figura 59. Mandos locales de la máquina inyectora.	60
Figura 60. PLC antiguo de la máquina de inyección.	61
Figura 61. Termocuplas.....	61
Figura 62. Niquelinas dispuestas en el cañón.....	62
Figura 63. Cañón, tornillo y boquilla.....	64
Figura 64. Motor hidráulico	64
Figura 65. Cilindro de inyección y de boquilla	65
Figura 66. Vista en sección del molde.	66
Figura 67. Mecanismo de apertura y cierre de moldes	67
Figura 68. Válvula electrohidráulica 4/3 montada en el manifold (izq) y cilindro de apertura de platos (der)	68
Figura 69. Eyector regulable.....	68
Figura 70. Intercambiador de calor de la inyectora.	69
Figura 71. Indicadores de temperatura de refrigerante.	69
Figura 72. Bomba hidráulica.....	70
Figura 73. Manifold y reguladores de presión.	70
Figura 74. Conjunto de válvulas reguladora y piloto montada.....	71

Figura 75. Conjunto de válvulas reguladoras y piloto desmontada.	71
Figura 76. Diagrama hidráulico de los cilindros “Abrir/cerrar platos” y “Boquilla”.....	72
Figura 77. Diagrama hidráulico del cilindro “Inyección”.....	73
Figura 78. Diagrama hidráulico del motor de carga.....	74
Figura 79. Motor de carga y pistón de inyección.....	74
Figura 80. Esquema de conexión estrella/delta del motor.....	80
Figura 81. Arrancador Electrónico.	81
Figura 82. Panel de control de la máquina de inyección.	85
Figura 83. Posibles funciones de la botonera de la máquina.	87
Figura 84. Diseño preliminar del panel de la máquina con pantalla táctil.	88
Figura 85. PLC Siemens S7-1200.	89
Figura 86. Amplificador de Instrumentación.	90
Figura 87. Módulo para termopar del PLC Siemens S7-1200.	90
Figura 88. Esquema del intercambiador de tubo y coraza.	93
Figura 89. Intercambiador de calor de la máquina de inyección.....	94
Figura 90. Intercambiador enfriado por aire.	95
Figura 91. Sistema de goteo de agua para enfriamiento.....	96
Figura 92. Piscina para intercambio de calor.	96
Figura 93. Sistema para enfriamiento de agua de recirculación.....	99
Figura 94. Chavetero del eje del motor hidráulico.....	101
Figura 95. Eje descentrado.....	101
Figura 96. Reguladores de carrera destruidos.	102
Figura 97. Cañón, tornillo, válvula antirretorno y boquilla.....	102
Figura 98. Filtro de aceite de la máquina.	103
Figura 99. Aceite contaminado.	103

Figura 100. Tornillo recíprocante reparado.	106
Figura 101. Eje del motor hidráulico y su chavetero.....	106
Figura 102. Proceso de rectificado de la chaveta.	107
Figura 103. Eje de motor hidráulico luego de reparación.	107
Figura 104. Motor hidráulico y pistón de inyección.	108
Figura 105. Desprendimiento del motor y pistón del soporte.	108
Figura 106. Pistón de inyección y tornillo recíprocante.	109
Figura 107. Refrentado del pistón de inyección.	109
Figura 108. Eje para calibrar finales de carrera de boquilla.	110
Figura 109. Daños en el eje de regulación de finales de carrera	110
Figura 110. Eje reparado y bocines nuevos.....	111
Figura 111. Válvulas reguladoras de presión.....	112
Figura 112. Filtrado del aceite hidráulico.	113
Figura 113. Identificación de tuberías y mangueras.....	114
Figura 114. Identificación conexiones en manifold.....	114
Figura 115. Estado del filtro de aceite antes de su mantenimiento.	114
Figura 116. Mantenimiento del manifold.....	115
Figura 117. Cambio de empaques en válvulas direccionales.....	115
Figura 118. Ciclo del aceite hidráulico en la máquina de inyección.....	116
Figura 119. Ciclo del agua en el sistema de enfriamiento.	117
Figura 120. Circuito de enfriamiento.	118
Figura 121. Distribuidor para moldes y entrada de tolva.	118
Figura 122. Determinación del caudal de aceite del intercambiador.	122
Figura 123. Determinación de las características del intercambiador.	122
Figura 124. Esquema de tubos y bafles.....	130
Figura 125. Arreglo en cuadro y triangular.....	131

Figura 126. Gráfico para la obtención de la eficiencia de las aletas.	134
Figura 127. Escala de Beaufort.....	136
Figura 128. Flujo de calor en el proceso de inyección.	145
Figura 129. Variación de entalpía respecto a la temperatura.	146
Figura 130. Curva de entalpías para varios polímeros.	150
Figura 131. Características de la bomba según simulación en Pipe Flow..	151
Figura 132. Motor y bomba entregados por el cliente.	152
Figura 133. Prueba de funcionamiento de la bomba.	153
Figura 134. Interior de la bomba de agua.	153
Figura 135. Limpieza y pintado de la bomba.....	154
Figura 136. Perforaciones en la pared para cable de conexión del motor y para tubería.....	155
Figura 137. Distribuidor de agua para moldes y máquina.	155
Figura 138. Base y abrazaderas del distribuidor.	156
Figura 139. Distribuidor montado en la máquina de inyección.	157
Figura 140. Reconocimiento del intercambiador de calor.	157
Figura 141. Elaboración de las nuevas tapas del intercambiador.	157
Figura 142. Intercambiador instalado luego de su mantenimiento.	158
Figura 143. Pared en la que se instaló el enfriamiento del agua.	158
Figura 144. Canales para enfriamiento.	159
Figura 145. Corte de canales para implementación.	159
Figura 146. Sistema de enfriamiento implementado	160
Figura 147. Cilindro de inyección.....	162
Figura 148. Punta de cañón.....	162
Figura 149. Acople de punta y cilindro.....	163
Figura 150. Histórico del calentamiento del cañón.....	163

Figura 151. Distribución de calor para el ABS.....	165
Figura 152. Distribución de calor para el HD-PE.....	166
Figura 153. Distribución de calor del LD-PE	167
Figura 154. Distribución de calor para el POM.....	168
Figura 155. Distribución de calor para el PP	169
Figura 156. Distribución de calor para el PS	170
Figura 157. Distribución de calor para el PVC Rígido	171
Figura 158. Distribución de calor para el PVC Suave	172
Figura 159. Tapa plástica para botellas tipo spray.	174
Figura 160. Verificación del ángulo de salida.	174
Figura 161. Mallado sólido de la tapa y del canal de alimentación.	175
Figura 162. Prueba de llenado con una cavidad	175
Figura 163. Porcentaje volumétrico de encogimiento de la pieza.....	176
Figura 164. Simulación de los atrapamientos de aire.....	177
Figura 165. Prueba de llenado con dos cavidades.	178
Figura 166. Bebedero y canal de estrangulamiento.	179
Figura 167. Factores empíricos para C y N.	180
Figura 168. Vista en detalle de las dimensiones del bebedero y canal de estrangulamiento.	181
Figura 169. Gabinete principal original.....	183
Figura 170. Ubicación de gabinetes, y tendido eléctrico a realizar.	185
Figura 171. Ubicación de la inyectora.....	185
Figura 172. Diseño del circuito de alimentación AC y DC de bajo voltaje. .	187
Figura 173. Características del arrancador.	189
Figura 174. Conexión de potencia para el arrancador.	189
Figura 175. Conexión del control de arranque.	189

Figura 176. Diseño del circuito de potencia para motor de 15 HP.....	191
Figura 177. Diseño del circuito de potencia para motor de 2Hp.	192
Figura 178. Tabla para selección de interruptores tipo fusibles en aplicación de protección a motores individuales.	193
Figura 179. Diseño del circuito de potencia para niquelinas.	194
Figura 180. Contactores para niquelinas.	196
Figura 181. Niquelinas nuevas, y anteriores.	196
Figura 182. Relé del conjunto de relés de control.	197
Figura 183. Entradas analógicas a PLC.....	198
Figura 184. Conexión del CPU del PLC SIEMENS 1200.	199
Figura 185. Conexión del módulo de E/S digitales del PLC SIEMENS S7-1200	200
Figura 186. Conexión del módulo de entradas análogas del PLC SIEMENS S7-1200.....	201
Figura 187. Disposición de elementos en el gabinete según tipo de conexiones.....	202
Figura 188. Disposición de los elementos eléctricos según tipo de elemento.....	202
Figura 189. Diseño general de la localización de los elementos en el gabinete principal.....	203
Figura 190. Diseño de la disposición de elementos en gabinete secundario.	204
Figura 191. Colores de cables utilizados para potencia.	206
Figura 192. Colores de cables recomendados para circuitos de control. ...	206
Figura 193. Transporte del gabinete principal.	207
Figura 194. Extracción del fondo del gabinete.	208
Figura 195. Desconexión del sistema de control antiguo.	208

Figura 196. Corte de rieles para colocar elementos.....	209
Figura 197. Prueba de PLC.	209
Figura 198. Conexión de entradas y salidas.	210
Figura 199. Conexión de cables de control hacia relés.....	210
Figura 200. Conexión de protecciones para motor M1 y niquelinas.	211
Figura 201. Conexionado del arrancador.....	211
Figura 202. Conexionado de contactores para niquelinas.	212
Figura 203. Etiquetado de elementos del gabinete principal.	212
Figura 204. Restauración del gabinete principal.	213
Figura 205. Trabajos en la chapa frontal del gabinete.	213
Figura 206. Puerta frontal del gabinete restaurada.	214
Figura 207. Colocación de fondo sobre gabinete.	214
Figura 208. Colocación de indicadores.	215
Figura 209. Montaje de chapa frontal en gabinete principal y conexión de indicadores.	215
Figura 210. Gabinete principal finalizado.	216
Figura 211. Colocación de conectores de mangueras en gabinete principal.	216
Figura 212. Colocación de cables en manguera.	217
Figura 213. Conexión de cables provenientes del motor de 15 HP.....	217
Figura 214. Armado del gabinete secundario.....	218
Figura 215. Conexión entre niquelinas por zonas.	218
Figura 216. Montaje de las niquelinas en cañón de inyección.	218
Figura 217. Encendido del sistema general, vista desde la parte frontal del gabinete principal.	219
Figura 218. Encendido general de la máquina, vista desde el interior del gabinete.	219

Figura 219. Lazo de control cerrado.	221
Figura 220. Comportamiento típico de un control ON-OFF con retraso en la conexión.....	222
Figura 221. Prueba 1 – Encendido de las niquelinas desde temperatura ambiente.....	224
Figura 222. Prueba 2 - Respuesta al encendido y apagado de las niquelinas.....	225
Figura 223. Comportamiento típico de temperatura de una planta a una entrada escalón.	227
Figura 224. Rangos de valores digitalizados.....	229
Figura 225. Vista superior del circuito integrado AD620.	230
Figura 226. Configuración “no inversor” con amplificador operacional.	232
Figura 227. Diagrama electrónico de entradas del acondicionamiento.	234
Figura 228. Diagrama electrónico de salidas del acondicionamiento.	234
Figura 229. Fuente de alimentación del circuito acondicionador.	235
Figura 230. Transformación AC/DC por medio de un rectificador de onda completa y capacitor en paralelo.....	236
Figura 231. Etapa de amplificación con el CI AD620.	237
Figura 232. Señal de referencia de entrada al AD620.	238
Figura 233. Operación general de la máquina e interacción de los bloques de programa.	241
Figura 234. Digitalización de una señal.	245
Figura 235. Normalización de un rango de valores.	246
Figura 236. Diagrama de flujo de activación de niquelinas	247
Figura 237. Pantalla principal del HMI.	250
Figura 238. Pantalla de funcionamiento manual.	251
Figura 239. Pantalla de funcionamiento automático.....	252

Figura 240. Teclado numérico para configuración de parámetros.....	252
Figura 241. Pantalla de configuración de temperaturas.	253
Figura 242. Pantalla principal para acceso a tendencias.	254
Figura 243. Pantalla de tendencias de la Zona 1.	254
Figura 244. Ventana de ayuda para modo manual.	255
Figura 245. Ventana de ayuda para modo automático.....	255
Figura 246. Ventana de ayuda para el proceso de calentar niquelinas	256
Figura 247. Ventana de avisos.	257
Figura 248. Registro de avisos.	257

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidades de algunos plásticos.....	13
Tabla 2. Elementos del módulo Energizar Circuito de Potencia	55
Tabla 3. Elementos del módulo Energizar Circuito de Control.	58
Tabla 4. Elementos del módulo Ingresar Parámetros de Funcionamiento. ..	60
Tabla 5. Elementos del módulo Controlar Sistema.	62
Tabla 6. Características de los actuadores.	75
Tabla 7. Requerimientos del cliente.	77
Tabla 8. Ponderación y selección de la solución para el módulo “Energizar circuito de potencia”. Método ordinal corregido de criterios ponderados.....	83
Tabla 9. Ponderación y selección de la solución para el módulo “Enfriar sistema”. Método ordinal corregido de criterios ponderados.	97
Tabla 10. Parámetros de algunos polímeros termoplásticos para el proceso de moldeo.....	149
Tabla 11. Tiempos de enfriamiento, temperatura de salida del agua y diferencia de temperaturas de entrada y salida del molde para algunos polímeros.....	150
Tabla 12. Tiempos de presión de sostenimiento para algunos polímeros. .	161
Tabla 13. Rangos de trabajo del termopar tipo K.	230
Tabla 14. Rangos de trabajo del termopar tipo J.	231
Tabla 15. Entradas del PLC.....	239
Tabla 16. Salidas del PLC.	240
Tabla 17. Costos de diseño e ingeniería del proyecto.....	259
Tabla 18. Costos de materiales y elementos de construcción.....	260
Tabla 19. Descripción de costos de equipos y maquinaria	262
Tabla 20. Costos de mano de obra.....	263

Tabla 21. Descripción de costos indirectos	263
Tabla 22. Descripción del presupuesto total	264
Tabla 23. Descripción de costos por operación de la máquina	265
Tabla 24. Depreciación anual del proyecto	265
Tabla 25. Descripción de los costos de mantenimiento anual	265
Tabla 26. Beneficio General Anual del proyecto	266
Tabla 27. Proyección del beneficio obtenido en la vida útil del proyecto por cada año.	267
Tabla 28. Flujo de caja neto para el cálculo del VAN	267

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grupos de plásticos.....	15
Cuadro 2. Termoplásticos comunes y aplicaciones.	17
Cuadro 3. Ejemplos de termoplásticos amorfos y cristalinos.	20
Cuadro 4. Aplicaciones de los plásticos termoestables.....	21
Cuadro 5. Procesos para conformado de polímeros termoplásticos.	22
Cuadro 6. Simbología de la estructura modular del sistema.	49
Cuadro 7. Documento de especificación del producto.	78
Cuadro 8. Matriz morfológica – ventajas y desventajas de las alternativas de Energizar el Circuito de Potencia.	82
Cuadro 9. Matriz morfológica – ventajas y desventajas de las alternativas de Acondicionamiento de Sensores.	91
Cuadro 10. Problemas y acciones correctivas para el módulo “Inyectar material plastificado”	101
Cuadro 11. Descripción de los gabinetes eléctricos.....	184

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre la automatización y repotenciación de una máquina inyectora de plástico de 60 gramos que se encontraba fuera de servicio. Esta máquina basa su funcionamiento en un sistema hidráulico. Como elementos principales para la automatización se utilizó un PLC SIEMENS S7-1200 con un panel táctil SIMATIC KTP600 SIEMENS. Cada capítulo representa los pasos que se siguió para llevar a cabo esta tarea. Primero, se plantean los objetivos para este proyecto y se analiza el funcionamiento general de las inyectoras de plástico. Luego, se realiza un reconocimiento exhaustivo de la máquina, para lo cual se utiliza el Diseño Modular. Se determina el funcionamiento de la máquina a detalle, y se evalúa cada módulo para establecer los cambios que se deben realizar y las acciones correctivas. En base a los requerimientos del cliente y requerimientos técnicos, se proponen alternativas de solución a los problemas encontrados en cada módulo; y posteriormente, se elige la solución más adecuada en base a estos requerimientos. En los capítulos posteriores, se detallan las acciones que se llevaron a cabo en el área mecánica, eléctrica, y de control para poner en marcha a la máquina inyectora. Dentro estas acciones se pueden destacar las siguientes: reparación de todo su sistema mecánico, diseño e implementación de un sistema de enfriamiento, diseño de moldes, diseño del sistema eléctrico de potencia y control, diseño del sistema de control de temperatura del cañón dividido en tres zonas y diseño de la interfaz hombre máquina. Y para finalizar, se realiza un análisis económico del proyecto, para determinar el tiempo de recuperación de la inversión. En la sección de Anexos se encuentran los planos de los diseños elaborados, la programación del PLC, el manual de usuario y mantenimiento, entre otros.

PALABRAS CLAVE: AUTOMATIZACIÓN, REPOTENCIACIÓN, INYECTORA DE PLÁSTICO, SISTEMA HIDRÁULICO, PANEL TÁCTIL.

ABSTRACT

This project is about automating and repowering a plastic injection molding machine out of service, which has an injection capacity of 60 grams. This machine operation is based on a hydraulic system. The main elements for automation were a PLC SIEMENS S7-1200 and a SIMATIC KTP600 SIEMENS touch panel. Each chapter of this project shows the steps followed for achieve this task. First of all, we establish the objectives of the project and analyze the general operation of this type of machines. Then, a comprehensive survey of the machine is determined in detail, and each module is evaluated to define what changes and corrective actions should be done. Based on customer and technical requirements, alternatives of solution to the problems encountered in each module are proposed; and then the best solution is chosen according to the requirements. In next chapters, the actions carried out in the mechanical, electrical and control area to reactivate the injection machine are detailed. Some of these actions are: repairing of the whole mechanical system, designing and implementing of a cooling system, injection mold design, designing of the electrical power and control system, designing and implementation of a temperature control system divided into three zones, designing of a HMI. Finally, an economic analysis of the project is carried out to define the recovery time of the investment. Also, in Annex section, there are the design schemes and sketches, PLC programming, and user and maintenance manual.

KEYWORDS: AUTOMATION, REPOWERING, INJECTION MOLDING MACHINE, HYDRAULIC SYSTEM, TOUCH PANEL

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

El desarrollo de nuevos materiales a partir de la edad industrial, ha dado lugar al nacimiento de materiales más baratos, y con características suficientes para llevar a cabo su cometido. Uno de los materiales más utilizados hoy en día son los polímeros, su ventaja es que son de fácil moldeo; además de ofrecer aislamiento térmico, eléctrico y presentan una gran resistencia a los ácidos y álcalis. (ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA, 2007)

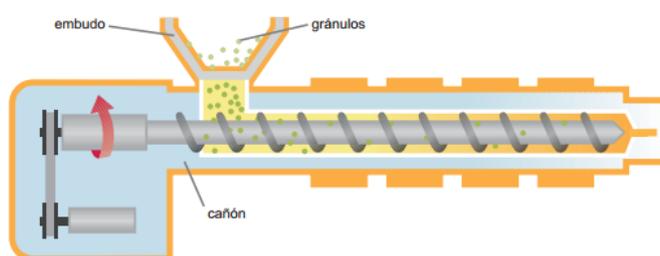
El plástico se obtiene mediante la reacción química de los derivados del petróleo y adquiere la forma deseada mediante el moldeo con calor o presión. En el proceso de fabricación, unos se vierten en moldes, donde se endurecen, y otros se prensan cuando ya son rígidos.

Existen varios procesos para la manufactura de los plásticos. Para termoplásticos están: inyección (ver **Figura 1**), extrusión, termoformado; y para termoestables: compresión, moldeo por transferencia, colada, espumado y calandrado.

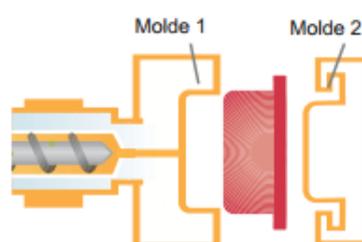
De estas técnicas de trabajo del plástico, el moldeo por inyección, es uno de los más usados debido a la capacidad de producir en grandes cantidades partes complicadas de un modo preciso. Este proceso requiere de la fundición del plástico, por lo que la materia prima en forma de granos pequeños se introduce por una tolva en un cañón calentado, donde un tornillo sinfín la transporta a lo largo del tubo. El material se va fundiendo y sale por un extremo (boquilla) y es inyectada a presión en moldes, en el cual toma la forma y se solidifica. El molde está formado por dos mitades, que se separan cuando el material se ha solidificado para retirar el objeto elaborado.

En lo referente a la modernización en la industria, el costo de producción y la competitividad en el mercado actual han obligado a las industrias a tener

que escoger entre dos opciones: reemplazar la maquinaria antigua por una de última generación, o automatizar y modernizar los equipos antiguos. La primera opción representa una gran inversión y el desecho de la máquina antigua; para la segunda opción se requiere personal capacitado para llevar a cabo tal proceso. Por tal motivo, se debe incurrir en un análisis de tipo costo-beneficio para determinar qué opción es la más adecuada.



a)



(b)

Figura 1. a) Esquema de extrusión. b) Moldeo de Inyección.

Fuente: Recuperado de <http://aula2.elmundo.es/aula/laminas/lamina.pdf>

En el Ecuador, las empresas tradicionalmente no han fijado como prioridad el mejoramiento de la maquinaria, conservando máquinas antiguas, sin modernizarlas y sin un adecuado mantenimiento. Actualmente se están efectuando avances en este campo, demostrando así este hecho con el índice de competitividad y el puesto en el que nuestro país se encuentra respecto a otros del mundo. La competitividad de la industria ecuatoriana según el índice de competitividad global (ICG) del foro mundial se ubica en el puesto 85 entre 144 países. Pese a que ha mejorado según los reportes

del 2011 que ubicaban al Ecuador en el puesto 101, se evidencia una falta de mejoras a nivel tecnológico.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se propone como proyecto realizar la modernización y repotenciación de una máquina que se encuentra fuera de servicio por alrededor de 3 años, la cual se encontraba dada de baja por daños en sus sistemas, tanto mecánicos como eléctricos y de control, los cuales deben ser evaluados, corregidos o sustituidos para que la inyectora pueda volver a producir y a trabajar de una manera adecuada.

La máquina mencionada es una inyectora de plástico horizontal que basa su funcionamiento en accionamientos hidráulicos, marca BJC, de aproximadamente 60 gramos de capacidad de inyección, motor de 15 HP marca Siemens. La inyectora trabaja con un voltaje 220 VAC para la parte de potencia, y con un voltaje 24VDC para la parte de control y señales de fines de carrera.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Actualmente se ha podido apreciar una importante mejora en el desempeño de la industria nacional. Este hecho se da por dos razones principales, la primera es gracias a la globalización que ha permitido la difusión de la tecnología en el país; y la segunda, es la necesidad de aumentar la competitividad y productividad para no quedar atrás respecto a otros países sudamericanos. Esta última gracias a las nuevas políticas de estado, que han dado pasos favorables en el ámbito industrial, sobre todo a la pequeña y mediana empresa.

En Ecuador, la mayoría de empresas e industrias de diferentes áreas, no están dispuestas a invertir en maquinaria nueva; por lo que cuentan con equipos donde los costos de mantenimiento e incluso los de operación llegan a superar la relación de costo-beneficio.

La razón que prevalece para que en la industria ecuatoriana no se dé la compra de nueva maquinaria o inversión en tecnología, es por los costos

que ésta representa frente a las ganancias que se pueda obtener. Por tal razón, se conserva maquinaria obsoleta que no trabaja a la misma capacidad de cuando se compró, o incluso que dejaron de cumplir su función.

Es por ello, que en el país, para abaratar costos y ya que actualmente no existe desarrollo de maquinaria, se ve la necesidad de invertir en la modernización de maquinaria y mantenimientos constantes de las mismas. Una de las aplicaciones de la Ingeniería Mecatrónica es la modernización y automatización de procesos y maquinaria de cualquier tipo de industria, optimizar su funcionamiento y mejorar su producción. La modernización de una máquina debe contemplar análisis de toda índole, esto es, su funcionamiento mecánico, eléctrico, electrónico, estudio económico, seguridad y todas sus mejoras en las mismas áreas, es aquí donde la Mecatrónica puede, y debe, desenvolverse.

La importancia del proyecto, radica no sólo en poner en marcha nuevamente esta máquina, sino de mejorarla. Así, se logrará un proceso más óptimo, un control más adecuado. Para la modernización y automatización de equipos antiguos de baja producción, como es el caso de la inyectora mencionada, se requiere un sistema de control donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos, entre los cuales se tiene principalmente un PLC (Controlador Lógico Programable), sensores y un interfaz HMI.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control necesarios para la reactivación, repotenciación y automatización de la máquina de inyección horizontal de marca “BJC” de husillo reciprocante con cierre tipo rodillera doble de 4 puntos de 60 gramos de capacidad para polímeros termoplásticos, en la empresa “ISISTEM”.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los problemas inherentes a los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control que presenta la máquina de inyección.
- Sugerir diversas alternativas de solución para los problemas encontrados en la máquina de inyección y elegir la más conveniente mediante el análisis de los requerimientos del cliente.
- Establecer los nuevos diseños para los sistemas que conforman la máquina respaldados en planos, cálculos y/o simulaciones, y ensayos.
- Especificar y detallar todos los documentos necesarios para la implementación de los sistemas que se requieren para la reactivación, repotenciación y automatización de la máquina.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto, tiene como finalidad la reactivación de la máquina de inyección horizontal de husillo reciprocante con cierre tipo rodillera doble de 4 puntos de 60 gramos de capacidad para polímeros termoplásticos, la reparación del sistema hidráulico, su automatización con respecto al proceso de inyección y al control de su temperatura con la implementación de un PLC, la modernización de la interfaz operador-máquina, el mejoramiento del sistema eléctrico de potencia y control y la implementación de un nuevo sistema de enfriamiento.

En la **Figura 2**, **Figura 3**, **Figura 4** y **Figura 5** se puede apreciar de forma general el estado de la máquina de inyección.

Según cada sistema, esto es mecánico, eléctrico y de control, se pretende realizar las siguientes implementaciones.

1.5.1 SISTEMA MECÁNICO

- Se diseñará e implementará el sistema de calentamiento de las niquelinas para la fusión del plástico, para ello se pretende utilizar las niquelinas originales de la máquina que son de tipo abrazadera.
- Se diseñará e implementará un sistema de enfriamiento basado en recirculación de agua, utilizando el intercambiador de calor del sistema original y las tuberías internas que posee la máquina.
- Se realizará un análisis para optimizar el tiempo de llenado de la cavidad mediante la mejor distribución de los canales con la ayuda de los sistemas CAD-CAM.
- Se establecerá un análisis de temperaturas a lo largo del cilindro tomando en cuenta los sistemas de CAD-CAM para tener aproximaciones de los parámetros de inyección.
- También se realizarán manuales de mantenimiento y operación que ayudarán a los usuarios de la máquina para preservar su buen funcionamiento, detectar posibles daños y dar solución a éstos de una manera eficaz.



Figura 2. a) y b) Vistas de la máquina.

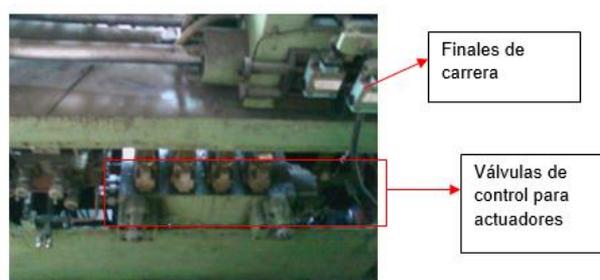


Figura 3. Sistema de válvulas de control (manifold).

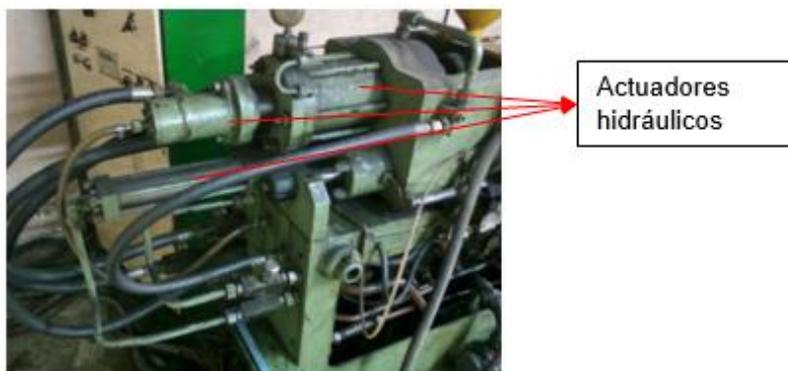


Figura 4. Mangueras de distribución hacia actuadores hidráulicos.



Figura 5. Niquelinas de calentamiento para la boquilla.

1.5.2 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

- Se realizará el diseño e implementación del circuito, cableado y disposición de los elementos eléctricos y electrónicos en un gabinete para las conexiones de potencia, control y alimentación de la máquina inyectora tomando en cuenta el voltaje, corriente o tipo de carga según sea el caso .
- Se etiquetarán todos los cables y los elementos eléctricos y electrónicos para su fácil distinción y una buena presentación del gabinete.
- Se diseñarán y construirán los circuitos de acondicionamiento para los sensores de temperatura dispuestos en el sistema de calentamiento.



Figura 6. Vista Frontal del Panel de Control.

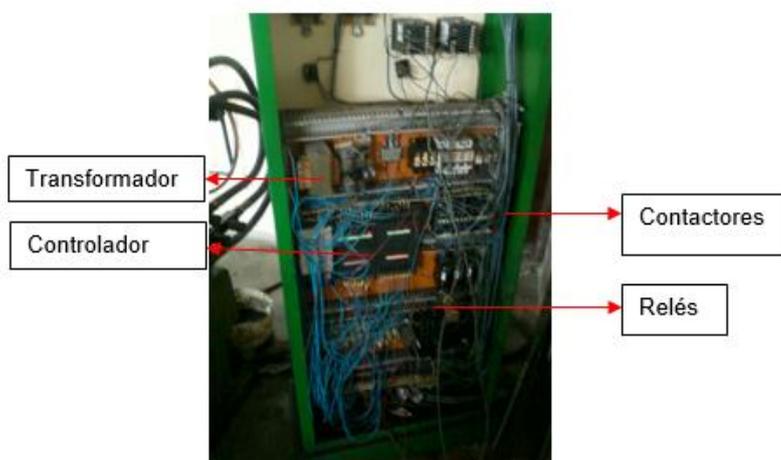


Figura 7. Vista Posterior del Panel de Control (gabinete).

En la **Figura 6** se indica el estado de la parte frontal del gabinete, mientras que en la **Figura 7** se muestra su conexionado.

1.5.3 SISTEMA DE CONTROL

- Se va a cambiar el controlador antiguo por un PLC nuevo, el cual se dimensionará según las entradas y salidas que se necesitan, y el tipo de control a realizar.
- Para el manejo y establecimiento de parámetros de la máquina se instalará un Touch Panel en el gabinete que reemplazará a la mayoría de indicadores, pulsadores y switches, para el control y monitoreo del sistema por parte del operador.
- La inyectora de plástico, va a contar con dos modos de operación: manual y automático. Estos sistemas deben ser diseñados e

implementados con la idea de mejorar la productividad y también, deben ser de fácil operación en cada uno de sus modos. Para esto, se diseñará un HMI en un Touch Panel cumpliendo con la norma Gedis, además de la posibilidad de manejo por medio de botones auxiliares ubicados en la máquina.

- Se van a cambiar los sensores antiguos de temperatura por termopares nuevos y se implementará su circuito de acondicionamiento de ser necesario.
- La variable a controlar es la temperatura de las niquelinas. El tipo de control tentativo podría ser un ON-OFF o un PID, esto depende de la rapidez del proceso de calentamiento y si es necesario o no exactitud en la temperatura de fusión del polímero.

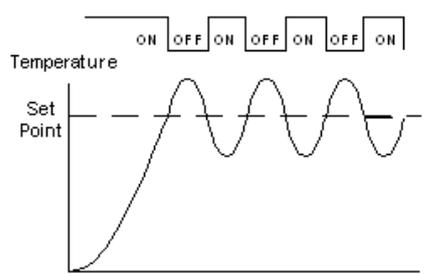


Figura 8. Esquema del Control On-Off.

Fuente: Recuperado de <http://www.unitronics.com.htm>

En la **Figura 8** se indica el comportamiento de una señal con un control ON-OFF, en la **Figura 9** se muestra un diagrama de bloques de un control PID y en la **Figura 10** se observa un panel táctil.

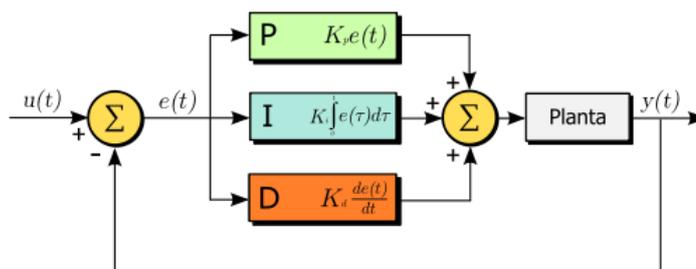


Figura 9. Diagrama de bloques de un control PID.

Fuente: Recuperado de <http://555riente.blogspot.com/2012/07.html>



Figura 10. Touch-Panel (Siemens).

Fuente: Recuperado de <http://432502198901180060.en.ec21.com>

1.6 EL PLÁSTICO

1.6.1 GENERALIDADES

El plástico es uno de los materiales más utilizados en nuestro medio, si se observa alrededor se puede ver que muchas de las cosas que se utilizan están hechas con este material. Carcasas de computadoras, de celulares, partes automotrices, aparatos domésticos, calculadoras, fundas, ropa, adornos, peinillas y un sin fin de objetos más (ver **Figura 11**).

Cuando el plástico se calienta se forma un material ligero, resistente y de fácil moldeado, esta es una de sus principales ventajas y el porqué de sus variados usos. Con este material, se pueden realizar formas intrincadas, objetos de una buena resistencia para su peso, buenos aislantes térmicos y eléctricos.



Figura 11. Aplicaciones del plástico.

Fuente: Recuperado de <http://www.plastcom.com.mx/>

Se conoce a simple rasgos lo que es el plástico como material y sus aplicaciones, pero: ¿Qué es el plástico?. Los plásticos son un gran grupo de materiales orgánicos que contienen como elemento principal el carbono, combinado con otros ingredientes como el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (proviene de los polímeros). Es sólido en su estado final, pero en alguna etapa de su manufactura es suficientemente suave para ser moldeado por muchos sistemas por medio de calor y/o presión (Cornish) .

La fabricación del plástico se resume básicamente en cuatro pasos, estos son los que siguen a continuación:

- Obtención de las materias primas
- Síntesis del polímero básico
- Obtención del polímero como un producto utilizable industrialmente
- Moldeo o deformación del plástico hasta su forma definitiva

La materia prima, se obtiene actualmente en su mayoría de derivados del petróleo, estas son baratas y abundantes. Antiguamente, se obtenía plástico de resinas de origen vegetal, como la celulosa del algodón, de la cáscara de avena, aceites y semillas, derivados del almidón o del carbón.

Todas las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores.

- Tiempo
- Temperatura
- Deformación

La operación más común para dar acabado al plástico, es la extrusión. Existe también el moldeo por soplado, moldeo por inyección, moldeo por compresión, calandrado entre las más conocidas.

1.6.2 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

A breves rasgos se ha analizado la obtención del plástico, su uso y características. Para entender la importancia de este material en la industria

y el porqué ha venido remplazando a otros materiales, es necesario que se conozca un poco más acerca de sus características.

La principal característica del plástico es su facilidad de manipulación al momento en el que este se calienta para utilizarse en varias aplicaciones, como ya se ha analizado con anterioridad.

El plástico, además, proporcionan un balance de características que otros materiales no pueden cumplir, estos son:

- Poco peso
- Tacto agradable
- Resistencia a la degradación ambiental y biológica
- Fáciles de trabajar y moldear
- Bajo costo de producción
- Baja densidad
- Impermeables
- Buenos aislantes eléctricos
- Aceptables aislantes acústicos
- Buenos aislantes térmicos
- Resistentes a la corrosión

Los plásticos terminados, según su tipo, pueden tener una resistencia a la compresión de 500 a 2500 Kg/cm². Y una resistencia a la tracción que varía entre los 350 y 550 Kg/cm². Se puede determinar que la resistencia a la tracción es mucho menor a la resistencia a la compresión en los plásticos.

La resistencia a la tracción o a la compresión, dependen del tipo de moldeo del plástico, así como a la temperatura ambiente y la humedad del medio.

No existe una generalidad con respecto a la dureza de los plásticos, se sabe que los plásticos son más fuertes que muchas maderas, pero no se pueden comparar con el vidrio o el acero.

Los rangos de densidades de los plásticos son muy bajos, varían entre 0.9 y 2.3 g/cm³. Esto se debe a que los átomos que componen los plásticos, como Carbono, Hidrógeno Oxígeno y Nitrógeno; tienen un bajo peso atómico.

Tabla 1. Densidades de algunos plásticos.

Material	Densidad g/cm ³
ABS	1.04 - 1.06
Acetato de celulosa	1.25 - 1.35
SAN	1.06 - 1.10
PA 6	1.12 - 1.15
PA 66	1.13 - 1.16
PAN	1.14 - 1.17
PEBD	0.89 - 0.93
PEMD	0.93 - 0.94
PEAD	0.94 - 0.98
PET	1.38 - 1.41
PP	0.85 - 0.92
PS	1.04 - 1.08
PTFE	2.10 - 2.30
PVC Rígido	1.38 - 1.41
PVC (40% plastificante)	1.19 - 1.35
PMMA	1.16 - 1.20
Polycarbonato de Bisfenol A	1.20 - 1.22

Fuente: Recuperado de <http://www.estrucplan.com.ar/IDArticulo=605>

En la **Tabla 1** se indican algunos valores de densidades de muchos tipos de plásticos, temas posteriores indican las normas para identificar a los diferentes tipos de plásticos.

Los plásticos, son muy malos conductores eléctricos. Es por ello que suelen usarse como aislantes en aparatos eléctricos, recubiertos de cables, terminales de cables, cintas aislantes, entre otras aplicaciones que aprovechan su mala conductividad eléctrica.

Los plásticos, son malos conductores del calor, es por ello que suelen emplearse como aislantes térmicos en muchas aplicaciones. Cabe recalcar que la temperatura que soportan no es demasiada alta.

La variedad de plásticos es bastante extensa en el mercado, para identificar los diferentes tipos de plásticos existe la norma ISO 1043, la cual identifica el tipo de polímero de la siguiente manera:

- Primeras letras indican la estructura molecular.
- Luego del guión se indica características especiales del material.

Existen algunos grupos de plásticos, los cuales son utilizados para diferentes aplicaciones y tienen diferente nomenclatura y su número de grupo en el medio del símbolo internacional de reciclado. En la **Figura 12** se presentan algunos de estos grupos, sus aplicaciones y su nomenclatura.

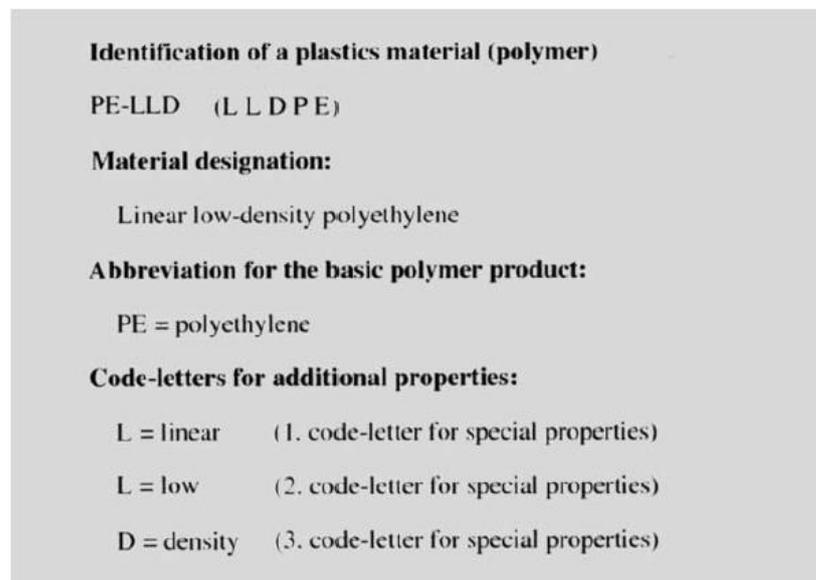


Figura 12. Codificación de plásticos.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretzschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

En el **Cuadro 1** se pueden apreciar algunos grupos de los plásticos más conocidos, sus símbolos con su significado. Además se puede encontrar las propiedades y los usos comunes de cada uno de éstos.

1.6.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

Para la clasificación de los plásticos, muchos autores proponen diferentes tipos de clasificación para este tipo de materiales tomando en cuenta ciertas características. Por ejemplo:

- Según el monómero base
- Según el comportamiento frente al calor
- Según la reacción de síntesis
- Según la estructura molecular

Cuadro 1. Grupos de plásticos.

Símbolo	Tipo de Plástico	Propiedades	Usos Comunes
 PET	PET PolietilenoTereftalato (Polyethylene Terephthalate)	Contacto alimentario, resistencia física, propiedades térmicas, propiedades barreras, ligereza y resistencia química.	Bebidas, refrescos y agua, envases para alimentos (aderezos, mermeladas, jaleas, cremas, farmacéuticos, etc.)
 HDPE	HDPE Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)	Poco flexible, resistente a químicos, opaco, fácil de pigmentar, fabricar y manejar. Se suaviza a los 75°C	Algunas bolsas para supermercado, bolsas para congelar, envases para leche, helados, jugos, shampoo, químicos y detergentes, cubetas, tapas, etc.
 PVC	PVC Policloruro de vinilo (Plasticised Polyvinyl Chloride PCV-P)	Es duro, resistente, puede ser claro, puede ser utilizado con solventes, se suaviza a los 80°C. Flexible, claro, elástico, puede ser utilizado con solventes.	Envases para plomería, tuberías, "blister packs", envases en general, mangueras, suelas para zapatos, cables, correas para reloj.
 LDPE	LDPE Polietileno de baja densidad (Low density Polyethylene)	Suave, flexible, translucido, se suaviza a los 70°C, se raya fácilmente.	Película para empaque, bolsas para basura, envases para laboratorio.
 PP	PP Polipropileno (Polypropylene)	Difícil pero aún flexible, se suaviza a los 140°C, translucido, soporta solventes, versátil.	Bolsas para frituras, popotes, equipo para jardinería, cajas para alimentos, cintas para empacar, envases para uso veterinario y farmacéutico.
 PS	PS Poliestireno (Polystyrene)	Claro, rígido, opaco, se rompe con facilidad, se suaviza a los 95°C. Afectado por grasas y solventes.	Cajas para discos compactos, cubiertos de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos.
 PS-E	PS-E Poliestireno Expandido (Expanded Polystyrene)	Esponjoso, ligero, absorbe energía, mantiene temperaturas	Tazas para bebida calientes, charolas de comida para llevar, envases de hielo seco, empaques para proteger mercancía frágil
 OTHER	OTHER Otros (SAN, ABS, PC, Nylon)	Incluye de muchas otras resinas y materiales. Sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.	Auto partes, hieleras, electrónicos, piezas para empaques.

Fuente: Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/>

Ya que el presente trabajo, tiene como objetivo principal la automatización y repotenciación de una máquina inyectora de plástico, es indispensable entender el comportamiento del plástico frente al calor.

Los materiales poliméricos, muestran diferentes características cuando son calentados. Estas características dependen de varios factores, incluidos la estructura molecular del polímero y el tipo de fuerzas intermoleculares. (Michaeli, Greif, Kretschmar, & Ehrig, 2001)

Por estas razones, los plásticos pueden ser divididos en tres grupos principales: termoplásticos, termoestables y elastómeros (ver **Figura 13**). Donde se toma en cuenta su estructura molecular y su reacción frente al calor.

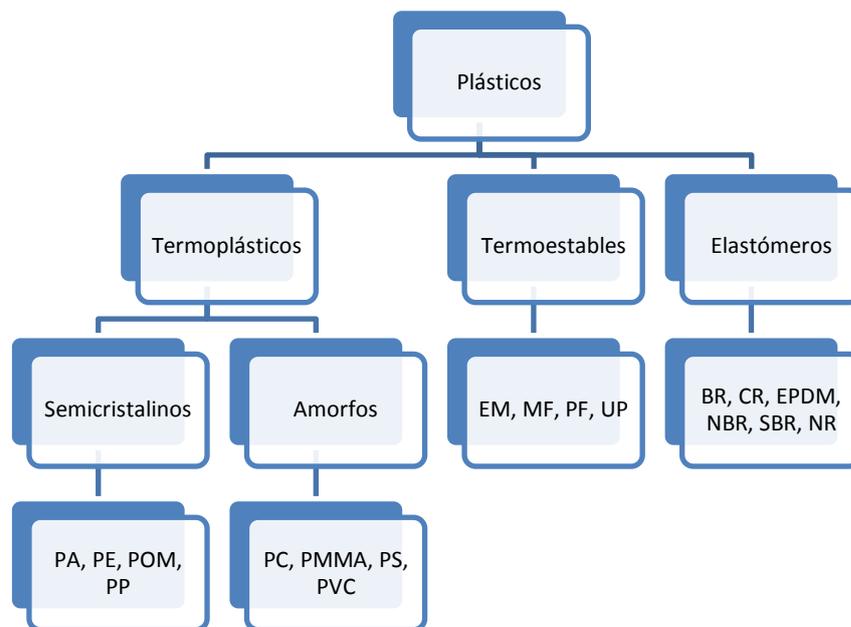


Figura 13. Clasificación de los materiales poliméricos, y algunos ejemplos.

1.6.3.1 TERMOPLÁSTICOS

Los termoplásticos al ser calentados, tienen la capacidad de fundirse y de fluir; al enfriarse estos se vuelven sólidos. En consecuencia, este tipo de material puede ser recalentado y tener la habilidad de fluir nuevamente. Esta es una ventaja al momento de reciclar, ya que se puede fundir el material, ser reprocesado y darles nuevas formas según su aplicación.

La mayor parte de los termoplásticos, son polímeros de un alto peso molecular las cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas de Van der Waals débiles (la fuerza atractiva o repulsiva entre moléculas).

Los termoplásticos se utilizan para hacer objetos como: botellas, fundas, tarros. En el **Cuadro 2** se indica algunos termoplásticos y sus aplicaciones en el medio.

Cuando los termoplásticos se solidifican, pueden tomar dos diferentes estructuras moleculares: estructura amorfa o estructura semicristalina. La presencia de cristales en algunos polímeros termoplásticos dependen fundamentalmente en su historia térmica (si el material se ha fundido varias veces y vuelto a enfriar) y de las condiciones que se le ha dado a este material al momento de ser trabajado, esto es a la etapa del enfriamiento de la pieza formada; y también depende de la estructura molecular del plástico.

Cuadro 2. Termoplásticos comunes y aplicaciones.

Polímero termoplástico	Abreviatura	Aplicación
Polietileno de alta densidad	HDPE	Empaquetar, tubería, tanques, botellas, cajas
Polietileno de baja densidad	LDPE	Empaquetar, bolsas, juguetes, tapas
Polipropileno	PP	Tapas, recipientes de yogurt, maletas, tubos, cubos, alfombras, cajas de batería
Poliestireno	PS	Artículos transparentes, recipientes de yogurt, empaquetado de comida rápida, cassettes
Poliamida	PA	Cojinetes, engranajes, tornillos, ruedas de skate, sedales
Polietileno terephthalato	PET	Botellas para bebidas
Clohidrato de polivinilo	PVC	Envasado de alimentos, calzado, material para pisos

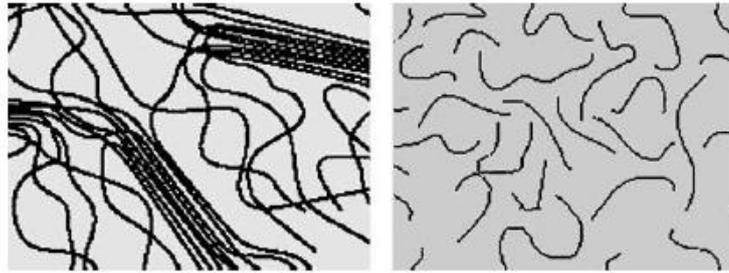


Figura 14. Estructura semi-cristalina (izquierda), y amorfa (derecha)

Fuente: Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Shawbury: Rapra Technology Limited.

En general, cuando los plásticos logran cristalizarse obtienen una mayor densidad, por su arreglo molecular ordenado y más compacto que la estructura de los polímeros termoplásticos que tienen disposición amorfa.

El comportamiento frente al calor de los termoplásticos semicristalinos, y de los amorfos son diferentes (ver **Figura 14**), esto se debe a la estructura molecular. Además las fuerzas intermoleculares son mucho mayores en el estado semicristalino que en el estado amorfo.

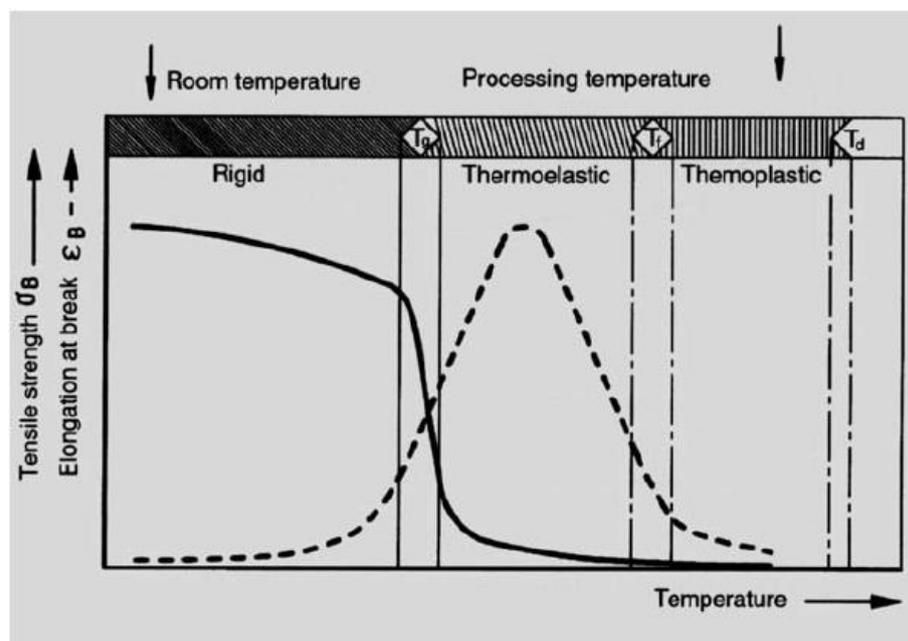


Figura 15. Deformación de termoplásticos amorfos.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

En la **Figura 15**, se puede observar tres diferentes zonas que los termoplásticos amorfos llegan a tener conforme se aumenta la temperatura. El plástico se mantiene rígido hasta alcanzar la temperatura T_g (temperatura de transición vítrea), es aquí cuando el material empieza a volverse elástico, muy parecido a una goma. Si se continúa calentando, hasta alcanzar la temperatura T_m (temperatura de fusión), el plástico empieza a derretirse, y se convierte en un líquido espeso (termoplástico), aquí las fuerzas intermoleculares son casi nulas.

Cuando el material alcanza la temperatura T_d (temperatura de degradación), este se destruye.

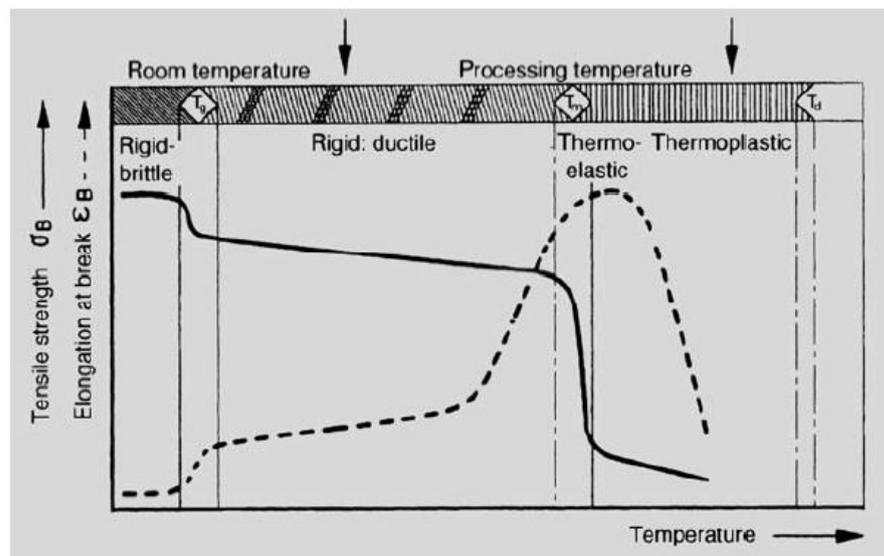


Figura 16. Deformación de termoplásticos semi-cristalinos.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretzschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

En la **Figura 16** se muestra el comportamiento de los termoplásticos semicristalinos con respecto al calor, que entregan cuatro zonas distintivas. El material permanece completamente rígido hasta alcanzar la temperatura T_g , a partir de este momento la elasticidad del material aumenta en pequeñas porciones, esto se debe a que los enlaces intermoleculares son más fuertes por su disposición ordenada. Cuando el material alcanza la temperatura T_m , se llega a la zona termoelástica, donde el material se

asemeja a una goma, al igual que ocurre en los termoplásticos amorfos, de una manera rápida el material alcanza la zona termoplástica, convirtiéndose en un líquido espeso. Al alcanzar la temperatura T_d , el material se destruye.

Cuadro 3. Ejemplos de termoplásticos amorfos y cristalinos.

Amorfos	Semi-Cristalinos
PVC	PE
PS	PP
PC	PA
PMMA	POM
ABS	PETP, PBTP
PPO	PTFE, PFA, FEP y ETFE

Fuente: Crawford, R. J. (2002). Plastics Engineering. In R. J. Crawford, Plastics Engineering (p. 530). Oxford: Butterworth Heinemann.

En el **Cuadro 3** se muestran algunos ejemplos de termoplásticos amorfos y cristalinos.

1.6.3.2 TERMOESTABLES

Los plásticos termoestables, se producen por una reacción química la cual tiene dos etapas. La primera etapa resulta en la formación de largas cadenas de moléculas similares a las presentes en los termoplásticos, pero todavía capaces de realizar una reacción. La segunda etapa (curado) de la reacción toma lugar durante el moldeo, usualmente bajo la aplicación de calor y presión, durante esta etapa las largas cadenas de moléculas se interconectan por fuertes lazos que no pueden volver a separarse así se aplique temperatura. Si se excede en calor, el material se degradará. (Crawford, 2002)

Los plásticos termoestables se utilizan usualmente cuando se necesita fuerza y durabilidad en sus aplicaciones, algunos ejemplos se muestran en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Aplicaciones de los plásticos termoestables.

Polímero termoestable	Aplicación
Epoxy	Adesivos, aislantes eléctricos
Melamina	Superficies resistentes al calor, accesorios de cocina
Fenoles	Partes resistentes al calor; para planchas, tostadoras, cocina
Poliuretano (PU)	Espumas flexibles o rígidas para mantener calor
Poliésteres insaturados	Particiones, lados tostadora, antenas parabólicas

Fuente: Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Shawbury: Rapra Technology Limited.

1.6.3.3 ELASTÓMEROS

De acuerdo con la sociedad americana de prueba de materiales (ASTM), un polímero elastómero está definido como un material que a temperatura ambiente, puede ser estirado varias veces y que por lo menos al segundo ciclo, conserve su longitud original al ser soltado retornando con fuerza. (Goodship V. , 2004)

Un ejemplo común en nuestro medio, puede ser una liga, o el caucho. Polímeros que cumplen con la característica que define a los elastómeros.

Los elastómeros, siempre han sido pertenecientes al tipo de polímeros termoestables, teniendo el problema de no poder ser reciclados, como por ejemplo el caucho natural. Por estas razones se desarrolló el tipo de elastómeros termoplásticos las cuales poseen algunas ventajas considerables frente a los elastómeros tradicionales.

- Costos menores, por la baja densidad de los materiales
- Soportan ciclos más rápidos
- Reciclables
- Pueden pintarse

1.6.4 MOLDEO Y CONFORMADO DE PLÁSTICO

Existen diferentes métodos para el conformado de los plásticos, dependiendo si éstos son polímeros termoplásticos o termoestables.

Los polímeros termoplásticos suelen conformarse previamente fundidos por acción simultánea de calor, presión y esfuerzos de cizalla (Rodríguez, Castro, & Juan, 2006). En el **Cuadro 5** y **Figura 17** se muestran los procesos más utilizados.

Cuadro 5. Procesos para conformado de polímeros termoplásticos.

PROCESO	CARACTERÍSTICAS
Moldeo por Inyección	El material fluye a través de una boquilla, se va fundiendo y sale por un extremo. Luego es inyectado a presión en moldes.
Extrusión	El material fluye a través de una boquilla en donde se funde y es forzada a pasar por un dado que le proporciona una forme definida.
Calandrado	Es un proceso similar al de la laminación de metales, donde se utilizan rodillos.
Termoconformado	Láminas de plástico se calientan para luego entrar en moldes a presión.
Soplado	Sobre un molde se introduce aire a presión en el polímero para que tome la forma deseada.

Los polímeros termoestables se conforman, en general, por moldeo por compresión o por moldeo por transferencia, son procesos en los que se carga con la resina, el catalizador o agente de curado y los aditivos y se les aplica calor para facilitar las reacciones de curado. También se pueden utilizar las técnicas de los polímeros termoplásticos siempre y cuando las reacciones de polimerización o vulcanización sean lo suficientemente lentas como para que la reacción se produzca cuando se desea. (Rodríguez, Castro, & Juan, 2006)

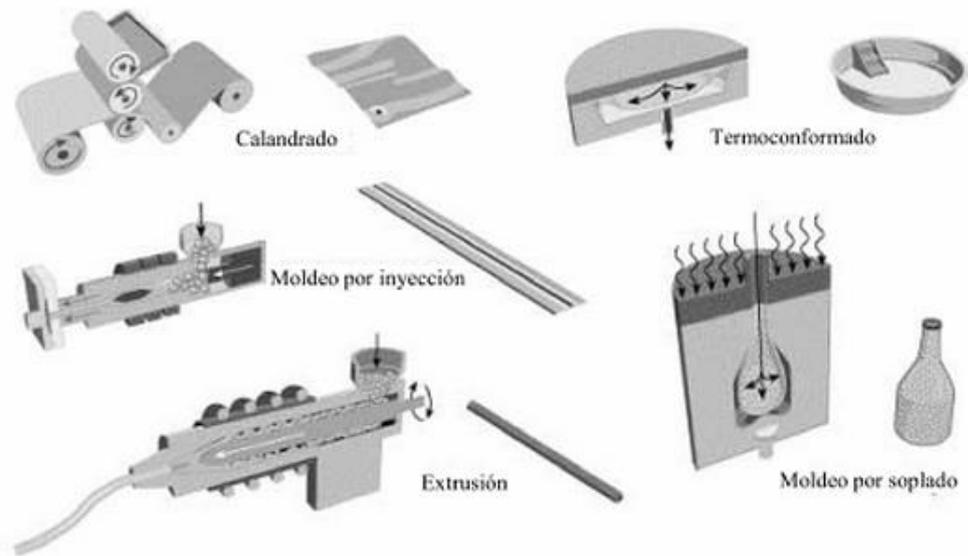


Figura 17. Procesos para conformado de polímeros termoplásticos.

Fuente: Rodríguez, J., Castro, L., & Juan, d. R. (2006). Procesos industriales para materiales no metálicos. Madrid: Vision Net.

1.6.4.1 EXTRUSIÓN

Es el proceso más importante de obtención de formas plásticas, en volumen de producción (Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Facultad Ingeniería Industrial, 2007). Este proceso es continuo, se usa generalmente para la producción de varillas, tubos, láminas, recubrimientos de cables, etc. El material polimérico fundido por la acción de la temperatura y fricción, es obligado a fluir por un dado que le proporciona las dimensiones finales mientras se enfría y adquiere la consistencia necesaria para ser manipulado.

La materia prima en forma de partículas se colocan en una tolva, y esta a su vez alimenta al cañón del extrusor. El cañón posee un tornillo sinfín que mezcla y transporta el material hasta llegar a una boquilla. El plástico fundido es forzado a pasar a través de un dado, matriz o hilera en un proceso parecido al de la extrusión de metales.

En la **Figura 18** se puede observar cómo está formada la máquina extrusora de plástico, y sus partes más importantes, en la **Figura 19** se

puede observar algunos ejemplos de productos obtenidos mediante la extrusión de plásticos.

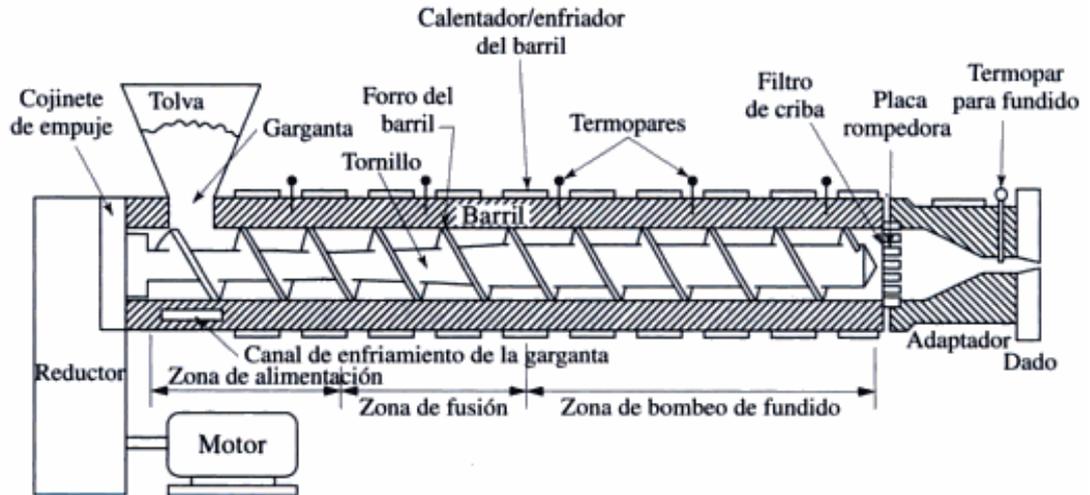


Figura 18. Esquema de una máquina de extrusión.

Fuente: Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). Manufactura, Ingeniería y Tecnología. México: Pearson Educación.



Figura 19. Ejemplos de productos obtenidos mediante extrusión.

Fuente: Díaz, F. (2012). Conformado de Materiales Plásticos. México.

1.6.4.2 CALANDRADO

Es un proceso de transformación de polímeros termoplásticos para la fabricación de láminas flexibles. Este método consiste en hacer pasar el material por dos o tres cilindros dispuestos por sus ejes paralelos, que mediante presión dan a lugar a láminas de plástico flexibles de diferente

espesor. En la **Figura 20** se observan los rodillos de la máquina de calandrado.



Figura 20. Rodillos de calandrado.

Fuente: Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/calandrado.html>

En el calandrado, se funde el material, y cuando tiene la consistencia de pasta, se pasa entre pares de rodillos calientes muy pulimentados y bajo elevada presión. Para la producción de película delgada se utilizan series de pares con una reducción gradual de la separación de los rodillos a medida que el material progresa a lo largo de la máquina.

1.6.4.3 TERMOCONFORMADO

El termoconformado, también llamado formado en caliente, se emplea para dar forma a láminas de plástico sobre un molde, aplicando presión y calor. En la **Figura 21** se observan algunos productos elaborados por termoconformado. Los pasos del proceso son los siguientes:

- El material de partida es una lámina o film. Se calienta la lámina en un horno para lograr su ablandamiento.
- Se extrae la lámina del horno y se coloca sobre un molde, en donde se estira y adopta la forma.
- Se enfría y se deja endurecer.
- Se dan los acabados a las piezas; es decir los recortes de bordes y eliminación de rebabas.

Un tipo de termoformado, denominado termoformado al vacío (Ver **Figura 22**) se usa una presión negativa para adherir la lámina caliente a la cavidad del molde.



Figura 21. Productos elaborados por termoconformado.

Fuente: <http://www.plastunivers.com/gif/pc/Revista/38/r38s3f02.jpg>

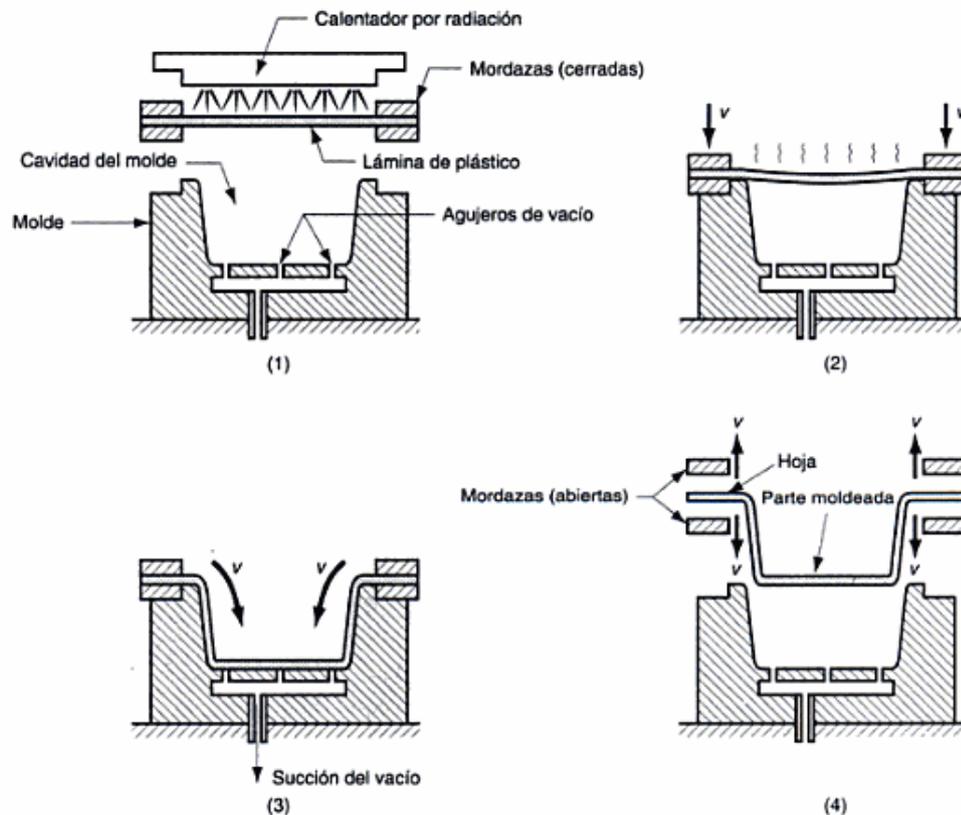


Figura 22. Termoformado al vacío.

Fuente: Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Prentice-Hall.

Otro tipo de termoformado conocido como el termoformado a presión, que se indica en la **Figura 23**, involucra presión positiva para forzar al plástico caliente dentro de la cavidad del molde. La ventaja de éste sobre el formado al vacío radica en que se pueden desarrollar presiones más altas, ya que en el método anterior este parámetro se limita a un máximo teórico de una atmósfera. Se utilizan presiones de formado de tres a cuatro atmósferas. (Groover, 1997)

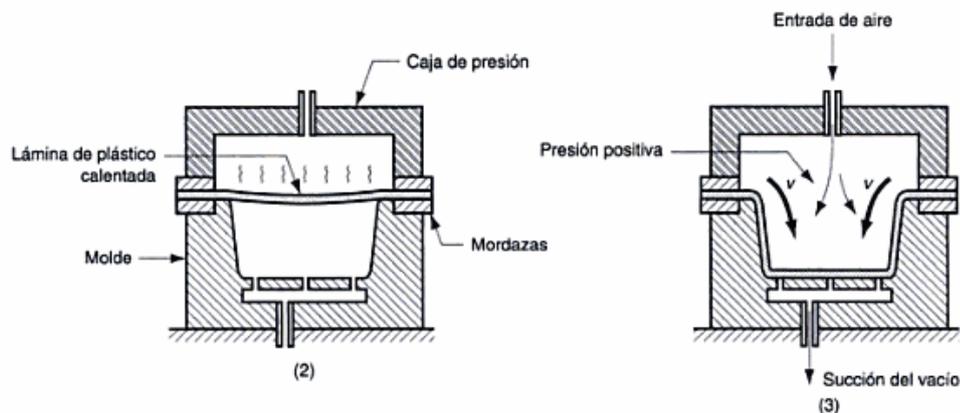


Figura 23. Termoformado a presión. La secuencia es similar a la de termoformado al vacío, la diferencia está en (2) y (3).

Fuente: Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Prentice-Hall.

1.6.4.4 SOPLADO

El moldeo por soplado es un proceso que utiliza presión de aire para realizar productos huecos inflando el plástico contra las superficies internas de un molde. Este proceso permite elaborar partes de plástico huecas de una sola pieza con paredes delgadas, como por ejemplo: botellas para productos del hogar y cuidado personal, productos lácteos y bebidas carbonatadas, pequeños contenedores para sustancias químicas, tanques de combustible, etc.

En la **Figura 24** se muestran algunos productos elaborados mediante moldeo por soplado.



Figura 24. Productos elaborados mediante moldeo por soplado.

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_gLqOGz9sLho/TM-D5-UQn.jpeg

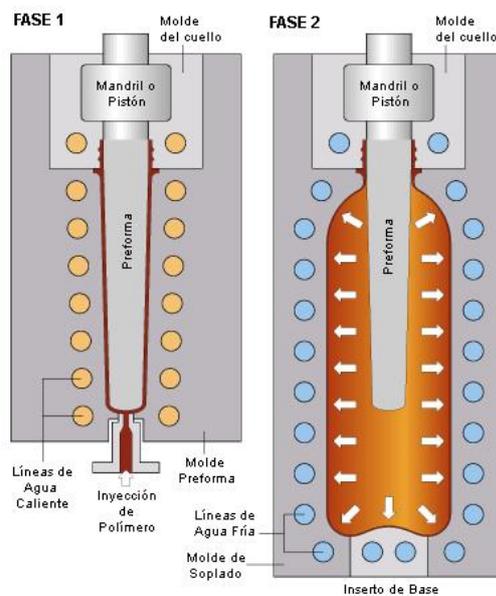


Figura 25. Moldeo por soplado-inyección.

Fuente: Recuperado de <http://mundoplasticos.files.wordpress.com/2010/06/soplado.jpg>

1.6.4.5 MOLDEO POR INYECCIÓN-SOPLADO

El moldeo por inyección-soplado inicia con una preforma elaborada por inyección, la misma que es calentada y soplada en un molde hasta que se obtiene la geometría final de la pieza.

Este proceso es muy utilizado en plantas de embotellado, ya que estas plantas compran las preformas, como las de la **Figura 25** y es allí en donde se les da la forma final antes del llenado. Esto permite un gran ahorro de costes, ya que si hubiese que transportar el envase final, sería muy costoso debido a su mayor volumen. (Rodríguez, Castro, & Juan, 2006)

1.6.4.6 MOLDEO POR EXTRUSIÓN-SOPLADO

En este proceso la preforma es una manga tubular, conformada por extrusión, el cual se cierra por la parte inferior de forma hermética debido al pinzamiento que ejercen los moldes al cerrarse. Posteriormente, se sopla, y el material llena la cavidad del molde. Las presiones que se utilizan van de 350 a 700 kPa (50 a 100 psi).

Los moldes se cierran en torno al tubo, cierran ambos extremos (rompiendo así el tubo para formar tramos) y después se alejan a medida que se inyecta aire a la pieza tubular. Luego se enfría y se expulsa la pieza. Este proceso se muestra en la **Figura 26** (Kalpakjian & Schmid, 2002)

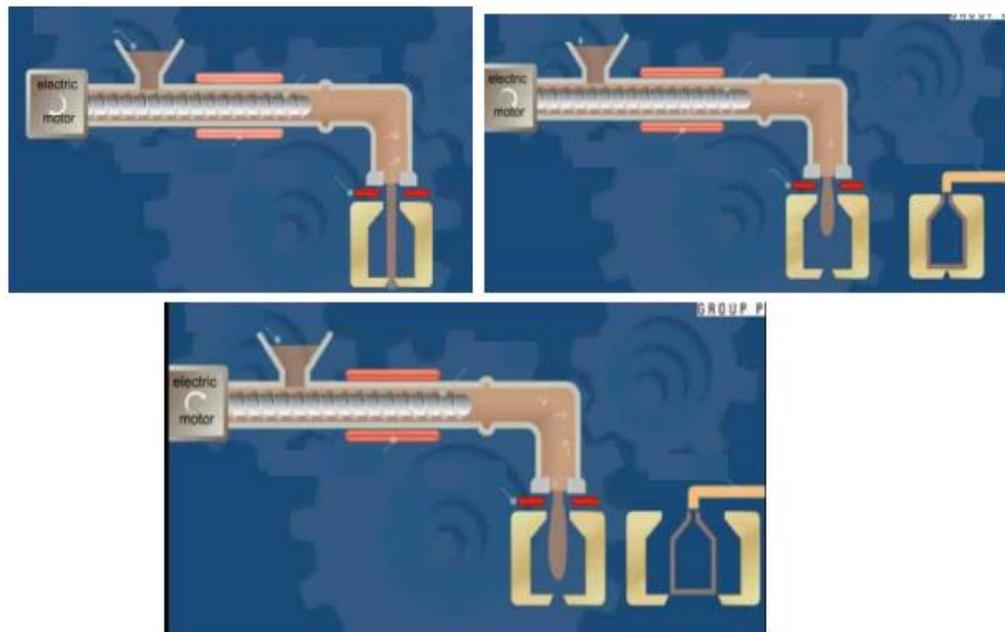


Figura 26. Proceso de moldeo por extrusión- soplado.

Fuente: Díaz, F. (2012). Conformado de Materiales Plásticos. México.

1.6.5 MOLDEO POR INYECCIÓN

El moldeo por inyección es uno de los procesos más comunes para producir partes plásticas. Se trata de un proceso cíclico de llenado rápido de un molde, seguido de enfriamiento y expulsión de la parte. La materia prima, en forma de partículas (“pellets”) o granos alimenta a un cañón calentado, y la masa fundida es forzada a pasar a la cavidad de un molde bajo altas presiones (500-1500 bar).

Las máquinas de moldeo por inyección, como el de la **Figura 27**, se especifican por su fuerza de prensado y la capacidad del molde. En la mayor parte de ellas, esta fuerza va de 0.9 a 2.2 MN (100 a 250 ton).

La ventaja de éste método es la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, altos niveles de producción y bajos costos, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas. Además, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, buena tolerancia dimensional y con diferentes colores.

Los productos característicos del moldeo por inyección son tazas, recipientes, cajas, mangos de herramienta, perillas, juguetes y conexiones de plomería. Para los polímeros termoplásticos, los moldes están relativamente fríos; pero los polímeros termofijos son moldeados en moldes calentados donde se efectúa la polimerización y el enlace cruzado. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

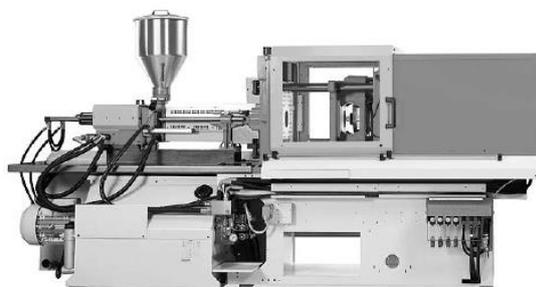


Figura 27. Máquina de Inyección de plástico.

Fuente: Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Shawbury: Rapra Technology Limited.

1.6.5.1 PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN

El ciclo del proceso de inyección de plástico para todos los tipos de máquinas que existen se puede dividir en tres operaciones básicas:

I. **Plastificación:** Se produce el calentamiento del material que se da gracias a las niquelinas que se encuentran en el cañón. La velocidad de flujo del polímero depende de las condiciones de procesamiento del material en el estado de plastificación: una combinación entre la reología del material, temperatura del cañón, presión y velocidad del tornillo (Goodship V. , 2004).

II. **Inyección:** El material fundido en el interior del cañón, se transfiere (se inyecta) a través de una boquilla hacia un molde, en donde llena toda su cavidad para tomar la forma del producto final. La velocidad de inyección debe ser igual en cada ciclo, ya que ligeros cambios pueden producir variaciones en la pieza.

III. **Sostenimiento y Solidificación:** Una vez terminada la inyección del material, el tornillo sinfín se mantiene adelante aplicando una presión de sostenimiento para contrarrestar la contracción de la pieza durante el enfriamiento. Luego de un tiempo para enfriamiento, se da lugar a la apertura del molde con la pieza conformada. El ciclo de inyección no es secuencial, debido a que mientras se da el enfriamiento de la pieza en el molde, comienza la plastificación del material para una nueva inyección.

1.6.5.2 TIPOS DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN

El procesamiento de los polímeros termoplásticos por lo general implica el uso de máquinas de inyección horizontales, como la de la **Figura 28**. Debido a que el plano de partición entre los moldes es vertical, las piezas elaboradas pueden caer en un contenedor cuando se liberen del molde. (Michaeli, Greif, Kretzschmar, & Ehrig, 2001)

En las máquinas de inyección vertical, como la de la **Figura 29**, el plano de partición de los moldes está en sentido horizontal. Este tipo de máquina se usa para fabricar piezas pequeñas, con tolerancias estrechas, y para moldeo por inserto.



Figura 28. Máquina de inyección de plástico horizontal.

Fuente: Recuperado de <http://www.injectionmachinecn.es/5-injection-molding-machine/1-1-1.jpg>



Figura 29. Máquina de inyección de plástico vertical.

Fuente: Recuperado de http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/maquina-de-inyeccion-vertical-hidraulica-20394-3851773.jpg

1.6.5.3 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN

Los principales módulos que son comunes para cualquier máquina de inyección se muestran en la **Figura 30** son los siguientes:

- Unidad de inyección y plastificación
- Unidad de cierre
- Sistema de control eléctrico e hidráulico

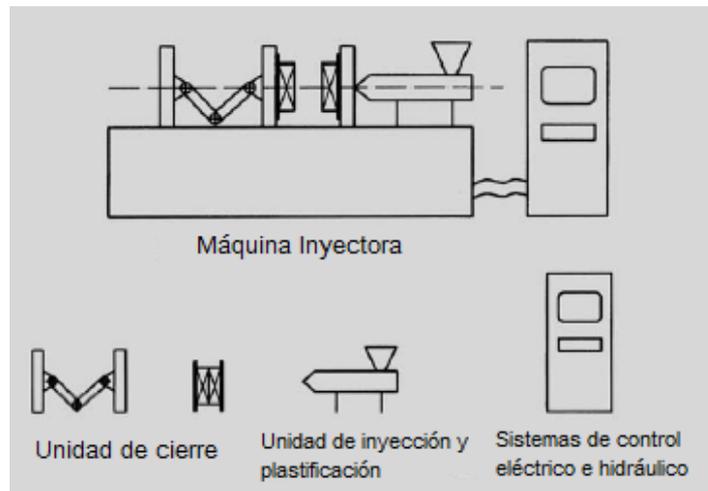


Figura 30. Principales módulos de una máquina de inyección.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretzschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

1.6.5.3.1 UNIDAD DE INYECCIÓN Y PLASTIFICACIÓN

Esta unidad cumple las funciones de cargar y plastificar el polímero sólido mediante el giro del tornillo para producir una masa homogénea. También se encarga de inyectar el material plastificado hacia las cavidades del molde mediante el movimiento axial del tornillo.

1.6.5.3.1.1 TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La materia prima se coloca en la tolva de alimentación. Ésta debe ser diseñada de tal forma que la gravedad permita bajar libremente a las partículas de polímero hacia el cilindro. Además debe tener rejillas para evitar que partículas muy grandes entren al sistema de alimentación. Es necesario mantener frío el sistema de alimentación, ya que si el material comienza a fundirse en la tolva, este se pegará en las paredes y podría bloquear el paso hacia el cilindro.

1.6.5.3.1.2 TORNILLO RECIPROCANTE

El tornillo recíprocante realiza un movimiento rotatorio para transportar el material fundido hacia la boquilla. Este movimiento permite que mientras el material avanza, también esté en contacto con las paredes del cañón

(cilindro) que se encuentran a altas temperaturas. Una gran parte de la energía necesaria para la plastificación del plástico se debe al calor por fricción, suministrado al material por el motor del tornillo a través del giro de éste. Los parámetros importantes para el tornillo son:

- El diámetro del tornillo y su relación entre diámetro y longitud (L/D)
- Capacidad de inyección: es la cantidad en peso o volumen que se puede inyectar al molde mediante el tornillo.
- Capacidad de plastificación: es la tasa a la que la unidad de inyección puede entregar material polimérico fundido.

1.6.5.3.1.3 RELACIÓN L/D

Esta es la especificación más importante para el tornillo, L/D significa la relación entre la longitud del tornillo y su diámetro. Para polímeros termoplásticos este valor debe ser de al menos de 20:1. Para termoestables y elastómeros, la relación debe ser de aproximadamente 14:1.

A lo largo del tornillo su diseño va cambiando. Generalmente son diseñados con tres regiones distintas: alimentación, compresión o plastificación y dosificación como se indica en la **Figura 31**. El tamaño de estas secciones variará dependiendo de las características del material polimérico para el cual fue diseñado. (Goodship V. , 2004)

También existe otro parámetro conocido como la relación de compresión, que se define como la relación entre las profundidades del canal en la zona de alimentación y la de la zona de dosificación.

Una relación de compresión estándar puede ser de aproximadamente 2:1 para termoplásticos. La relación de compresión de 1:1 se utiliza para procesar materiales como los elastómeros, cauchos y siliconas. (Michaeli, Greif, Kretschmar, & Ehrig, 2001)

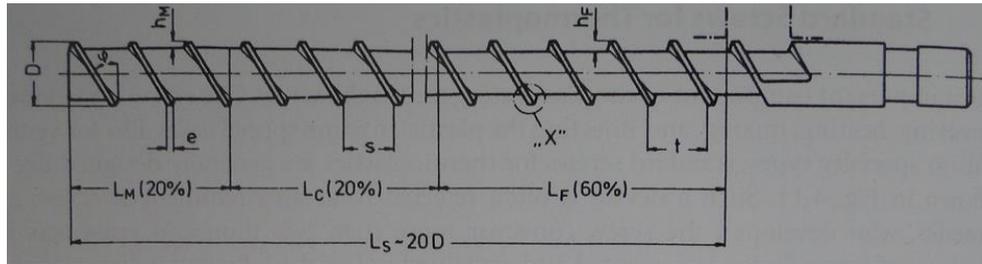


Figura 31. Partes del tornillo recíprocante.

L_S : longitud eficaz del tornillo; **L_F** : longitud de la zona de alimentación; **L_C** : longitud de la zona de compresión; **L_M** : longitud de la zona de dosificación; **h** : profundidad del canal; **h_f** : profundidad del canal en la zona.

Fuente: Recuperado de <http://www.dakumar.com/blog/the-reciprocating-screw-336.html>

1.6.5.3.1.4 CILINDRO DE INYECCIÓN

La unidad de inyección consta de un cilindro o barril de acero que es capaz de soportar altas presiones, éste va cubierto de bandas calefactoras (niquelinas) para aportar calor por conducción a las paredes del cilindro y por ende al material polimérico. El cilindro, al igual que el tornillo, es generalmente dividido en tres zonas para el calentamiento:

- La zona de alimentación, en la cual el material es alimentado desde la tolva.
- La zona de compresión, en la que el material es comprimido y derretido como resultado del decrecimiento de la profundidad del canal.
- La zona de dosificación o descarga, en donde se la homogenización del material.

1.6.5.3.1.5 VÁLVULA ANTIRRETORNO

La función de esta válvula es esencialmente dejar pasar el material libremente desde el husillo a la cámara de fundido durante el proceso de

dosificación y evitar que el material fundido regrese hacia el husillo durante el proceso de inyección.

El correcto funcionamiento de esta válvula es esencial para tener un proceso estable, ya que si se tiene fugas de material de la cámara de dosificación hacia los filetes del husillo ocasionará una variación considerable en el volumen inyectado al molde, esto por supuesto que tendrá severas repercusiones en el peso y calidad de la pieza moldeada.

Hay varios diseños para la válvula antirretorno de la máquina de inyección, los mismos que se observan en la Figura 32.

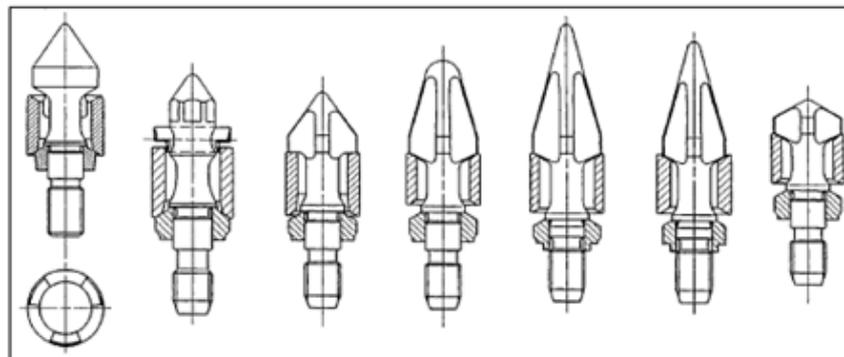


Figura 32. Tipos de válvula antirretorno.

Fuente: Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Shawbury: Rapra Technology Limited.

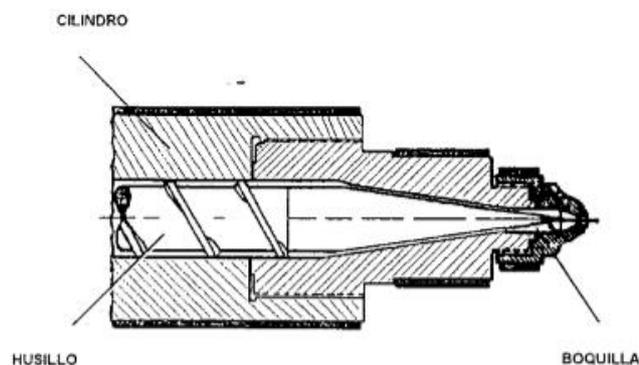


Figura 33. Boquilla.

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com>

1.6.5.3.1.6 BOQUILLA

Es el canal de dosificación del material fundido, desde el cañón hacia el bebedero del molde. Esta parte se observa en la **Figura 33**.

La importancia de este elemento radica en tener que resistir la presión con la que se recarga contra el molde sin sufrir desgastes.

1.6.5.3.2 UNIDAD DE CIERRE

La unidad de cierre, que se muestra en la **Figura 34**, es la encargada de mantener firmemente cerrados los moldes durante el proceso de inyección y evitar sobrantes o rebabas del material. Además, la unidad de cierre debe ser capaz de cuidar la integridad del molde, es decir, evita los cierres bruscos o presiones excesivas.

Debido a que el proceso de inyección es usado para la manufactura de varias partes en un lapso de tiempo corto, se necesita que el movimiento de la unidad de cierre sea lo más rápido posible y con mucha precisión.

La unidad de cierre en una máquina de inyección usa la fuerza hidráulica.

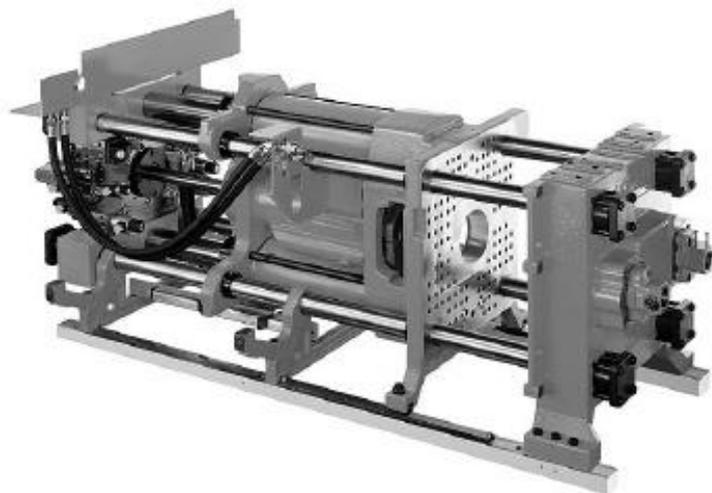


Figura 34. Ejemplo de unidad de cierre.

Fuente: Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Shawbury: Rapra Technology Limited.

Existen dos tipos de unidad de cierre: la unidad mecánica y la unidad hidráulica. Los cuales se explican a continuación:

- La unidad de cierre mecánica, que se indica en la **Figura 35**, funciona como una prensa mediante el movimiento de un husillo. Este no es un sistema puramente mecánico, ya que también usa la fuerza hidráulica.
- La unidad de cierre hidráulica, como el de la **Figura 36**, se basa en el movimiento de un cilindro para la apertura y cierre de los moldes.

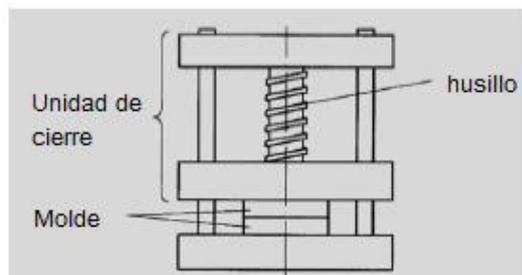


Figura 35. Unidad de cierre mecánica.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

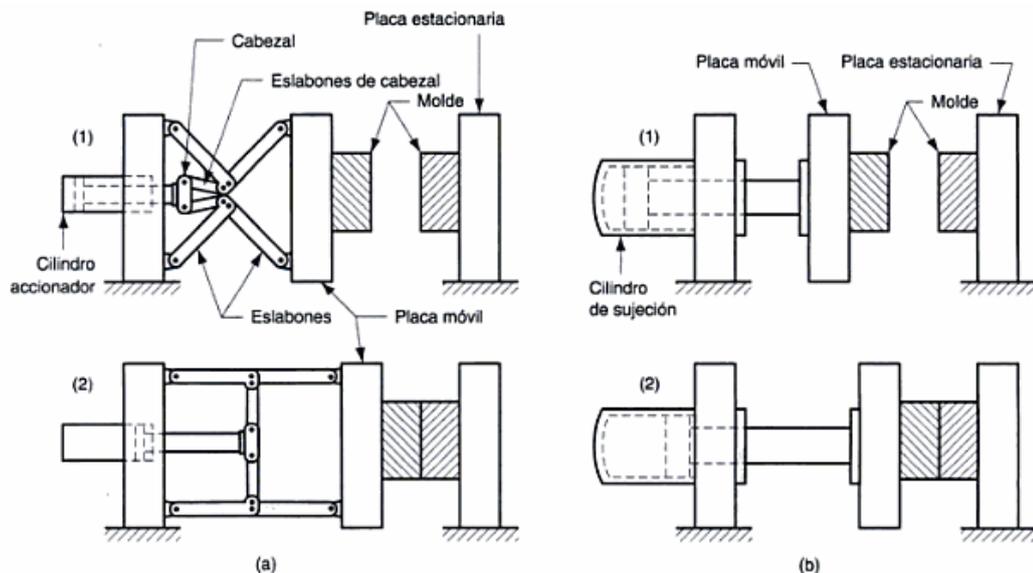


Figura 36. Unidad de cierre hidráulica. a) Sujeción articulada; b) Sujeción simple.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

1.6.5.3.2.1 MOLDES

Los moldes de inyección tienen la función de alojar el plástico fundido que envía el cilindro de inyección, enfriarlo, darle forma y extraerlo cuando haya solidificado. Los materiales utilizados para su fabricación son aceros que se escogen según el material que va a ser moldeado. El diseño estándar para los moldes de inyección son los de dos placas.

1.6.5.3.2.1.1 MOLDE DE DOS PLACAS

Consiste en dos mitades sujetas a dos placas de la unidad de cierre de la máquina. Cuando la unidad de cierre se abre, las dos mitades del molde también se abren. La característica más obvia del molde es la cavidad, a la cual se le da forma generalmente por remoción de metal del par de superficies. Los moldes pueden contener múltiples cavidades para producir más de una pieza en cada ciclo. El plano de partición es la superficie en donde se abre el molde para remover la pieza.

El molde debe tener un canal distribuidor por donde fluye el polímero fundido de la boquilla del cilindro a la cavidad del molde.

Para expulsar las piezas terminadas en el molde, es necesario un sistema de eyección. Los pernos eyectores se localizan en la estructura del molde, de tal forma que cuando los platos se abren, dichos pernos sobresalen y empujan a las piezas formadas fuera del molde.

Los moldes requieren también un sistema de enfriamiento. Éste consiste en canales internos de circulación de agua para extraer el calor del plástico fundido. Además los moldes también presentan claros en los pernos eyectores para permitir el escape de aire de la cavidad hacia el exterior.

Este tipo de moldes se puede observar en la **Figura 37**.

1.6.5.3.2.1.2 OTROS TIPOS DE MOLDE

Una alternativa al molde de dos placas es el molde de tres placas, como el de la Figura 38. La ventaja de éste último es que al abrir el molde se divide en tres partes con dos aberturas entre ellas. Esto fuerza la separación

de las partes del canal alimentador, las cuales caen por gravedad en diferentes recipientes debajo del molde. (Groover, 1997)

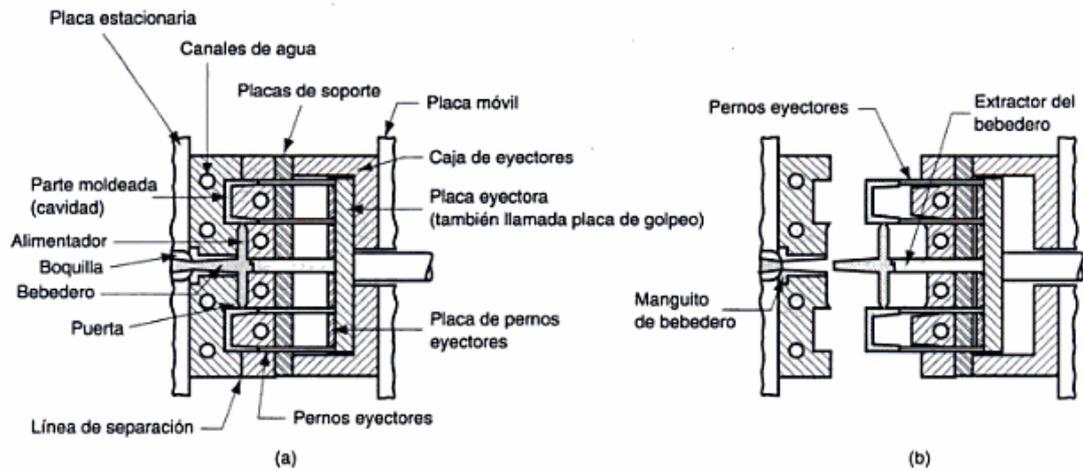


Figura 37. Partes de un molde de dos placas a) cerrado y b) abierto.

Fuente: Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Prentice-Hall.

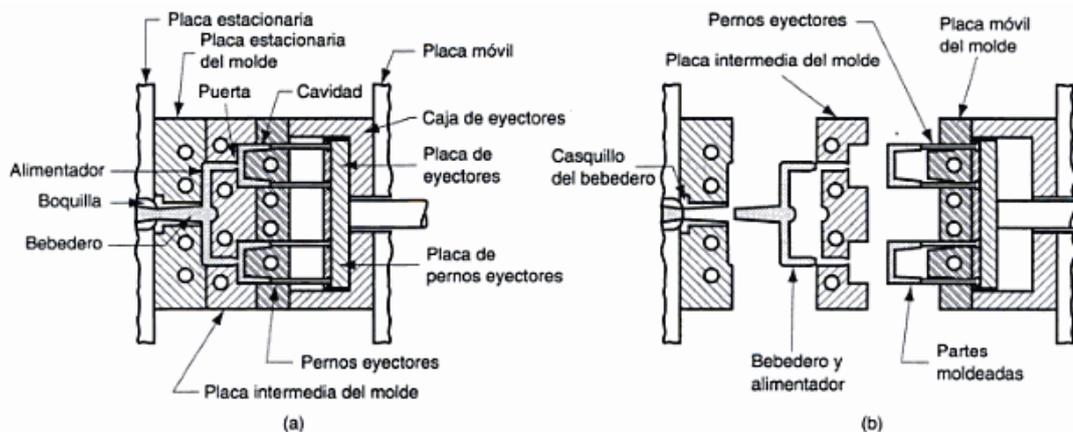


Figura 38. Molde de tres placas a) abierto y b) cerrado.

Fuente: Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Prentice-Hall.

1.6.5.3.3 SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO E HIDRÁULICO

1.6.5.3.3.1 SISTEMA HIDRÁULICO

Los movimientos tanto lineales como rotacionales, de una máquina de inyección, son ejecutados mediante actuadores hidráulicos como pistones y motores. Asimismo, estos movimientos de los componentes hidráulicos, son controlados por válvulas direccionales que distribuyen aceite presurizado a uno u otro lado del pistón. En la **Figura 39** se indica un ejemplo de accionamiento mediante actuadores hidráulicos.

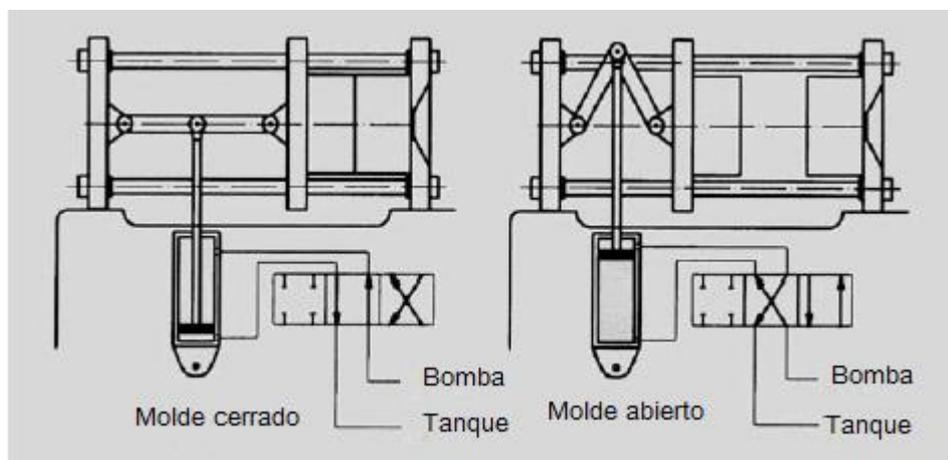


Figura 39. Accionamiento de la unidad de cierre mediante actuadores hidráulicos.

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretzschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

Estas válvulas direccionales son operadas mediante la energización de sus electroimanes o solenoides, que hacen que la válvula cambie de una posición a otra.

1.6.5.3.3.2 CONTROL ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

El control de la máquina de inyección se da desde un gabinete ubicado cerca de la misma. Éste proporciona la ejecución manual y automática de todas las operaciones relacionadas con el moldeo por inyección. Para ello debe ser capaz de controlar las variables del proceso, como temperaturas

adecuadas para cada polímero, tiempo de sostenimiento, conteo de producción, tiempos de enfriamiento, protección para los operarios, etc.

1.6.5.4 CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE INYECCIÓN

Dependiendo del polímero con el que se esté trabajando, se debe aplicar cierta temperatura en cada una de las zonas del tornillo recíprocante. El número de regiones mínimo a controlar según Goodship (2004) es de tres, es decir las zonas de:

- Zona de alimentación: Usualmente el 60% de la longitud del tornillo.
- Zona de plastificación: Usualmente el 20% de la longitud del tornillo.
- Zona de dosificación: Usualmente el 20% de la longitud del tornillo.

La temperatura que se controla es la temperatura del cañón de inyección, el material dentro de éste, puede estar a una temperatura un tanto mayor.

1.6.5.4.1 COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DENTRO DEL MOLDE

El ciclo de inyección, se da cuando el cañón se acerca hacia el molde, y por medio del pistón de inyección se empuja el material hacia los moldes por un conducto hasta los canales de alimentación, y así se llena la cavidad del molde.

Cuando polímero fundido ingresa al molde y toca las paredes frías de este, el plástico se enfría rápidamente, por lo que la pieza moldeada tiene sus paredes externas frías, y su centro más caliente, lo que produce que la pieza se contraiga, para ello se debe tener en cuenta un tiempo de sostenimiento de la presión de inyección, para evitar fallas de este tipo.

La circulación de líquido refrigerante (generalmente agua), ayuda a que la pieza se enfríe de manera uniforme, ayudando a reducir los tiempos de producción y la calidad de las piezas inyectadas.

En este proceso se pueden distinguir tres etapas, como se puede observar en la **Figura 40**. En el proceso de llenado, el material entra hacia el

molde, y la presión aumenta conforme este llenado. En la etapa de compactación, el material empieza a solidificarse, este es el denominado tiempo de "*holding pressure*" donde se mantiene la presión dentro del molde por medio de la acción del cilindro de inyección. En la fase de enfriamiento, se retira el cañón de inyección, y la pieza moldeada se enfría gracias a la circulación de agua por los canales, por la conducción a través de las paredes de los moldes, y por radiación hacia el ambiente.

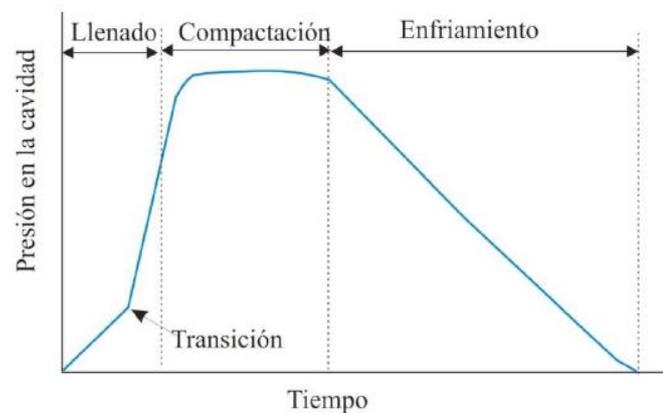


Figura 40. Presión en el molde durante un ciclo típico de moldeo.

Fuente: Beltrán, M. (s.f.). Tecnología de polímeros.

Los canales de enfriamiento juegan un papel importante en el proceso de inyección. Éstos deben permitir un enfriamiento uniforme de las piezas, lo que genera una buena calidad de las piezas, una mejor producción, y menos desechos. En la **Figura 41**, se observa un ejemplo de ubicación de canales de enfriamiento.

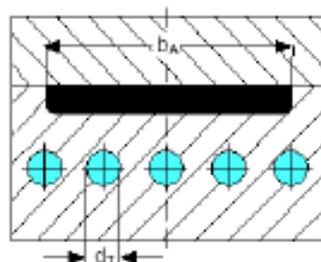


Figura 41. Posición de los canales de enfriamiento.

Fuente: Rosato, D., Rosato, D., & Rosato, M. (2000). Injection Molding Handbook. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

1.6.6 PROGRAMACIÓN DEL PLC EN TIA PORTAL

La programación del PLC, se llevará a cabo con el programa TIA Portal de Siemens, este programa ofrece la ventaja de poder trabajar con la programación del PLC y el diseño del HMI.

El TIA Portal permite crear una solución de automatización siguiendo los siguientes pasos:

- Creación del proyecto.
- Configuración del hardware.
- Conexión de los dispositivos.
- Programación del controlador.
- Configuración de visualización.
- Carga de los datos de configuración.
- Uso de las funciones online y diagnóstico.

Anteriormente, se necesitaban dos programas independientes para poder programar el PLC y preparar el HMI, estos eran el Step 7, y el WinCC. Ahora en el TIA Portal se juntan estos dos programas en uno solo.

De esta manera se pueden tener una gestión de datos centralizada, Por ejemplo, las variables se pueden manejar con el mismo nombre, en diferentes dispositivos.

1.6.6.1 VISTAS DEL TIA PORTAL.

La siguiente información se ha extraído del manual de TIA Portal STEP 7 Basic V10.5 de SIEMENS.

El software ofrece dos tipos de vistas, éstas son:

- **Vista del portal:** la vista del portal soporta la configuración orientada a las tareas.
- **Vista del proyecto:** la vista del proyecto soporta la configuración orientada a los objetos.

1.6.6.1.1 VISTA DEL PORTAL

El objetivo de esta vista del portal es facilitar la navegación por las tareas y los datos del proyecto. En la **Figura 42** se puede observar esta vista.



Figura 42. Vista del portal.

Fuente: Manual TIA Portal de SIEMENS.

En la cual se puede distinguir las siguientes funciones:

- I. Portales para las distintas tareas.
- II. Acciones del portal seleccionado.
- III. Ventana de selección de la acción seleccionada.
- IV. Cambiar a la vista de proyecto.
- V. Indicación del proyecto abierto actualmente.

1.6.6.1.2 VISTA DEL PROYECTO

La vista del proyecto ofrece una vista estructurada de todos los componentes de un proyecto. En la vista del proyecto hay distintos editores que ayudan a crear y editar los respectivos componentes del proyecto.

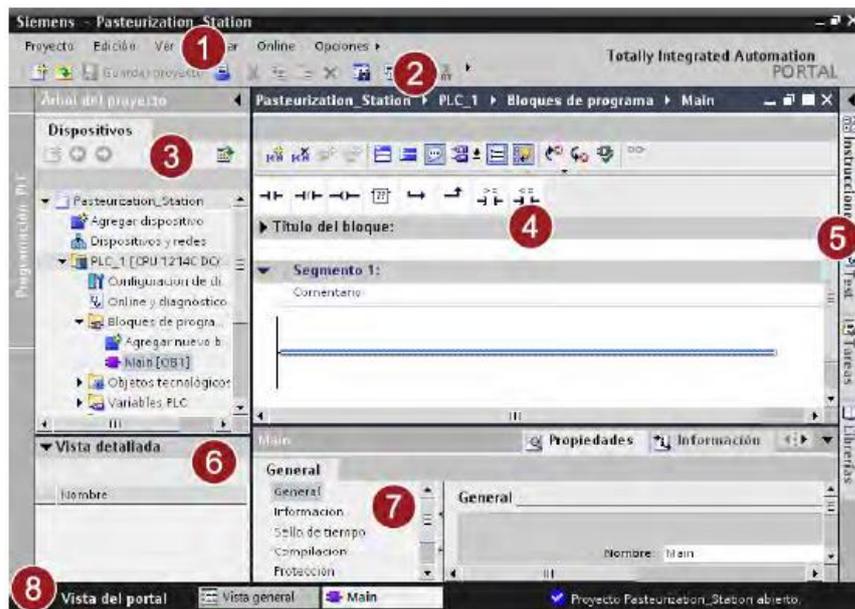


Figura 43. Vista del proyecto.

Fuente: Manual TIA Portal de SIEMENS.

En la **Figura 43**, se puede observar esta vista, y a continuación se enuncia las partes importantes.

- I. Barra de menús.
- II. Barra de herramientas.
- III. Árbol de proyecto.
- IV. Área de trabajo.
- V. Task cards.
- VI. Vista detallada.
- VII. Ventana de inspección.
- VIII. Cambiar a la vista de portal.

CAPÍTULO II

RECONOCIMIENTO DE LA MÁQUINA

2.1 GENERALIDADES

Para el diseño e implementación del sistema automático que se pretende efectuar en la inyectora de plástico a la que se hace referencia, es necesario primero el reconocimiento general del estado actual de dicha máquina. Es así que en este capítulo se van a identificar y analizar los problemas que presenta la máquina de inyección, para posteriormente plantear las alternativas de solución.

En la primera visita que se realizó para el reconocimiento de la máquina se pudo observar que una vez energizada, el PLC se prendía; sin embargo, la inyectora no realizaba ninguna función. La máquina mostraba el precario estado en el que se encontraba, tanto su sistema mecánico como el gabinete de control, y sus conexiones eléctricas.

Con respecto al sistema mecánico, los mecanismos estaban trabados, existían fugas de líquido hidráulico, y los actuadores como cilindros y motores no realizaban ningún movimiento. En cuanto al sistema eléctrico, se observó que el conexionado ha sido cambiado y adecuado a las necesidades que se presentaban, por lo que carecía de etiquetas y de una norma técnica en su implementación. El sistema de calentamiento del cañón utilizado para la fusión del plástico estaba en mal estado, y el sistema de enfriamiento adaptado no era el apropiado para el proceso de inyección. En lo concerniente al sistema de control, consistía en un PLC antiguo y controladores de temperatura con salida a relé, los mismos que encendieron pero no realizaron ninguna operación.

Por medio de observación, investigación bibliográfica y de la explicación de los operadores de la máquina; se comprendió el proceso de inyección que se debe llevar a cabo y se determinó el funcionamiento en conjunto que deben realizar los elementos de la máquina.

Entonces, se decidió elaborar un Diagrama Modular del proceso de inyección de plástico, el cual permitirá desglosarlo por funciones, para luego determinar el estado de la máquina e identificar los problemas referentes a cada módulo de una manera ordenada, y que entregará una mejor visión de las acciones que se deben efectuar.

2.2 ESTRUCTURA MODULAR DEL PROCESO

Actualmente es muy importante concebir y diseñar los productos y procesos según una pauta modular. Los productos modulares son aquellos que están organizados por un arreglo de bloques constructivos, mismo que tiene la finalidad de establecer distintas funciones y de facilitar las operaciones de descomposición del producto o proceso. Cada bloque representa un módulo, y su organización se conoce como estructura modular.

La estructura modular empieza desde la identificación de la función global del sistema que representa el “Nivel 0”, y a partir de este bloque se desglosan los subsistemas funcionales.

Existen dos tipos de módulos:

- **Módulos funcionales:** son bloques que describen una o más funciones del producto o proceso, que toman en consideración las conexiones como flujos de señales, de energía y material.
- **Módulos constructivos:** son bloques que ayudan a estructurar la composición de un producto, es decir que se enfocan a la fabricación y producción. (Riba, 2002)

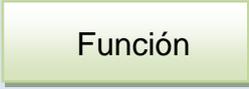
En vista de que lo que se va a realizar es la automatización y repotenciación de la máquina, la mejor opción es usar los módulos funcionales. La descripción de los diferentes conceptos se efectúa de la siguiente forma:

- **Funciones:** Son acciones que se definen con un verbo seguido de un predicado.
- **Flujos:** Se indican con flechas, y su objeto se coloca encima de éstas.

- Módulos y subsistemas: Se indica con un polígono que los delimita.

La simbología utilizada se muestra en el **Cuadro 6**.

Cuadro 6. Simbología de la estructura modular del sistema.

Símbolo	Representación
Funciones	
Flujo de material y dirección	
Flujo de energía y dirección	
Flujo de señal y dirección	

2.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

La función global es la tarea principal que va a realizar el producto. Para esto se asume que el sistema es una caja negra que presenta entradas y salidas, es decir, que no interesa como se constituye internamente sino sólo se toma en cuenta lo que entra y lo que se obtiene del bloque.

La tarea principal del sistema es: Moldear por inyección de plástico, y para ello se necesita de la materia prima (pellets), energía eléctrica y manual para el funcionamiento y operación de la máquina, y las señales de operador que permitan configurar los parámetros de funcionamiento.

Con referencia a la máquina de inyección de plástico, la función global del sistema es la mostrada en la **Figura 44**.

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS FUNCIONALES

Una vez identificada la función global, se puede descomponer la misma en subsistemas funcionales. Para esto se debe tomar en consideración la secuencia del proceso de inyección de plástico descrito en el capítulo anterior. Es así, que se tiene en orden las siguientes subfunciones: 1) Alimentación del material, 2) Encendido de la máquina, 3) Configuración y

control de parámetros de funcionamiento, 4) Plastificación de la materia prima, 5) Inyección del material. Determinado esto, la representación del “Nivel 1” se puede observar en la **Figura 45** .

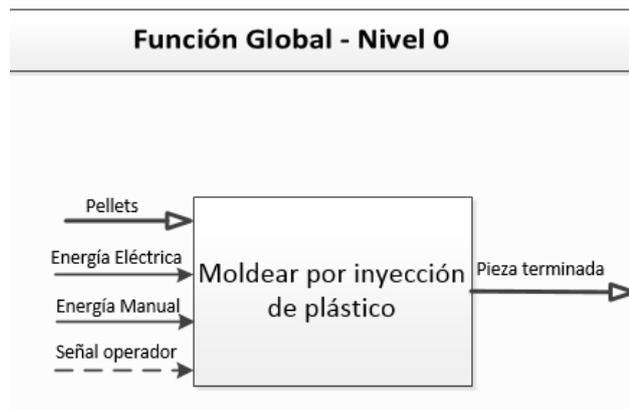


Figura 44. Función global del sistema.

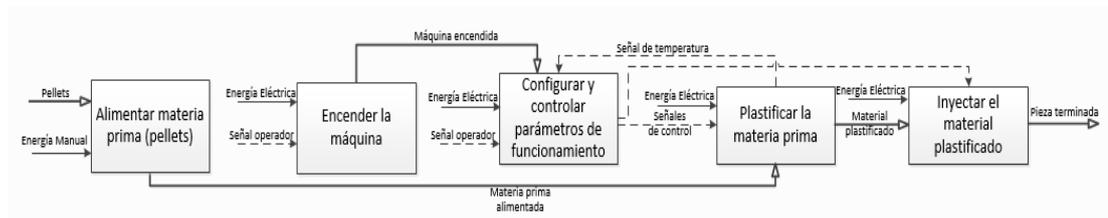


Figura 45. Diagrama modular- Nivel 1.

Al avanzar en el establecimiento de la estructura funcional, es factible subdividir los bloques del “Nivel 1” en sus subfunciones técnicas. En el caso de las funciones “Alimentar materia prima” y “Plastificar materia prima” se consideró que no era necesaria su subdivisión, por lo que quedan de la misma manera en el “Nivel 2” de la estructura modular. Con esto, la representación del sistema del “Nivel 2” se puede apreciar en el Anexo A.

2.3 ANÁLISIS DE LA MÁQUINA POR MÓDULOS

Con la estructura modular funcional desarrollada hasta el “Nivel 2”, es factible desarrollar el proceso de reconocimiento de la máquina, para posteriormente realizar el diseño conceptual.



Figura 46. Tolva de alimentación de material.

2.3.1 MÓDULO “ALIMENTAR MATERIA PRIMA”

El material es alimentado hacia el cañón por medio de una tolva. Ésta se encuentra asegurada mediante pernos a la estructura que soporta el cilindro de inyección del material. La alimentación de materia prima en la tolva la hace el operador de la máquina de forma manual. En la **Figura 46** se puede reconocer la tolva de alimentación.

El módulo de alimentación de materia prima se halla en óptimas condiciones.

2.3.2 MÓDULO “ENCENDER LA MÁQUINA”

Este módulo consta de dos subfunciones: “Energizar circuito de potencia” y “Energizar circuito de control”.

2.3.2.1 ENERGIZAR CIRCUITO DE POTENCIA

Al gabinete de control de la inyectora llegan tres fases que son las que alimentan a la máquina. Luego de pasar por un switch principal, las fases están protegidas por fusibles y breakers. Estos componentes se encontraban en óptimo estado, ya que al parecer no tenían mucho tiempo de haber sido colocados. Sin embargo, las borneras de entrada de las fases mostraban haber sufrido cortocircuitos y estaban destruidas, lo que las hace inservibles como se puede observar en la **Figura 47**.

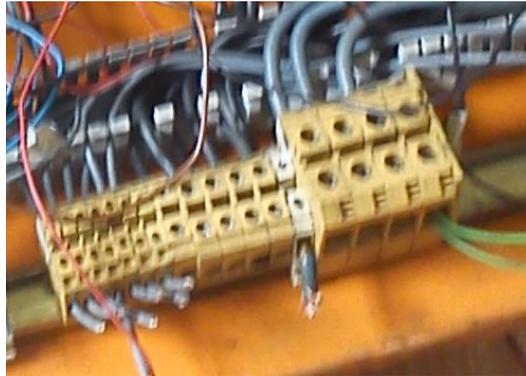


Figura 47. Borneras en mal estado.

Con respecto al motor eléctrico de la bomba hidráulica, éste tiene una potencia de 15 HP (11 kW) y trabaja con un voltaje trifásico. Para su arranque se tienen tres contactores que realizan el cambio estrella-triángulo. Estos contactores se encuentran en muy mal estado, ya que están rotos y con restos de aceite en su interior, como se indica en la **Figura 48**. Además, al examinar las conexiones se verificó que el motor realizaba el arranque directamente en delta, lo que ocasionaba una corriente excesiva al energizar el motor. Con esto se comprobó que las conexiones de la máquina han sido alteradas varias veces debido al daño y deterioro de componentes eléctricos. En la **Figura 49** se muestra el motor y la conexión de los devanados.

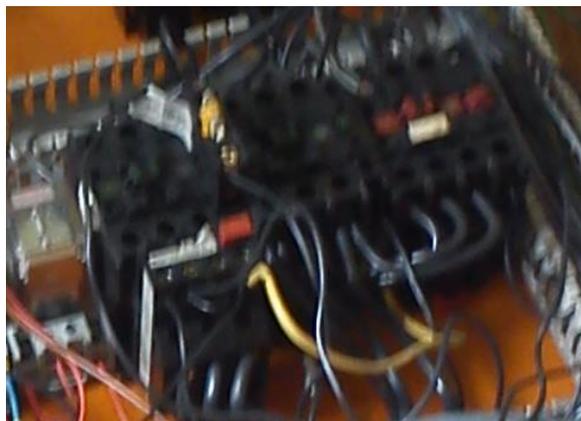


Figura 48. Contactores deteriorados para arranque estrella-triángulo.



Figura 49. Conexión de los devanados del motor eléctrico.

En lo que respecta al conexionado de las niquelinas, se pudo determinar en la etiqueta grabada que cada una trabaja con un voltaje de 220 VAC. Para el funcionamiento de éstas, existen tres contactores trifásicos, mismos que pese al paso del tiempo se han conservado en buen estado. Observe la **Figura 50**, donde se muestran los contactores de las niquelinas.



Figura 50. Contactores de niquelinas.

El cableado de las niquelinas en el cañón estaba inservible en su totalidad, ya que con el calor que se produce al plastificar el polímero, todo el recubrimiento protector del cable se ha destruido, por lo que el cable presentaba varias grietas y cortes como se puede observar en la **Figura 51**. Además la conexión eléctrica no era la adecuada, ya que en la máquina se controlaba dos zonas; lo cual es incorrecto; ya que, como se mencionó en el

capítulo anterior, se debe controlar como mínimo tres zonas del cañón en el proceso de plastificación de material.



Figura 51. Cableado de las niquelinas.

En cuanto a las electroválvulas, se determinó que también operan con 220 VAC. Para su cableado con el gabinete de control existe una manguera metálica, la cual se encuentra doblada y rota en su mayor parte, como se observa en la **Figura 52**.



Figura 52. Mangueras para cables de electroválvulas.

Asimismo, las borneras montadas en la máquina para dichas electroválvulas están llenas de aceite y con varios cables sueltos que impiden identificar el conexionado original de las electroválvulas con el gabinete de control, como se puede observar en la **Figura 53**.

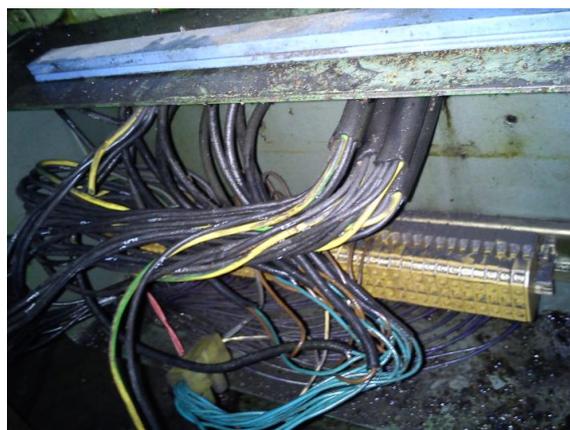


Figura 53. Gabinete para borneras de electroválvulas y finales de carrera.

Tabla 2. Elementos del módulo Energizar Circuito de Potencia

MÓDULO: ENERGIZAR CIRCUITO DE POTENCIA			
CANTIDAD	ELEMENTO	ESTADO	CARACTERÍSTICA TÉCNICA
1	Borneras tipo G para cable alimentación	Destruído	-
1	Switch de encendido general	Óptimo	Tres fases, dos posiciones
3	Fusibles para protección motor	Óptimo	50 A
3	Breakers protección de contactores y niquelinas	Óptimo	K60N C10 230/400VAC
3	Juego de borneras tipo G para arranque motor	Óptimo	-
3	Contactores arranque Y-Delta	Destruído	-
1	Relé térmico	Destruído	-
3	Contactores trifásico para niquelinas	Óptimo	Telemecanique 3~ 220V 3KW 25 A
2	Mangueras para cableado	Destruído	Mangueras de 3/4 "

En la **Tabla 2**, se muestra el estado de cada uno de los elementos de éste módulo con sus respectivas características.

2.3.2.2 ENERGIZAR CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control de la máquina de inyección funciona con 24 VDC, que pasan a través de fusibles antes de alimentar a los componentes eléctricos/electrónicos. Con este voltaje se energiza el PLC y los finales de carrera de los cilindros hidráulicos (entradas del PLC). Este voltaje es

proporcionado por una tarjeta rectificadora, que tiene como entrada un transformador de 220/48 VAC y a la salida presenta un filtro LC; este conjunto descrito se puede observar en la **Figura 54**. En vista de que se desconocía el estado de la fuente de corriente continua, se comprobó con un multímetro que efectivamente su salida era de 24 voltios DC.



Figura 54. Transformador, tarjeta rectificadora y filtro.

Los fines de carrera de los cilindros son de marca “Telemecanique”, a los cuales se les hizo pruebas de continuidad con multímetro y se constató que estaban en buenas condiciones. Éstos se pueden apreciar en la **Figura 55**.

Las salidas del PLC están conectadas a una serie de relés para aislar el circuito de control del de potencia, las bobinas de los mismos son de 24 VDC y sus contactos de 220 VAC. Se probaron los relés uno por uno y se verificó que todos funcionaban correctamente. Al realizar esta tarea se constató además, que se energizaban algunas de las electroválvulas y se pudo determinar la tarea cada relé. En la **Figura 56** se puede observar el conjunto de relés.

En la **Figura 57**, se puede observar cómo se encuentra la conexión dentro del gabinete de control. En ésta se aprecia que las conexiones se encuentran desordenadas; además, existen muchas adaptaciones implementadas que tuvieron la finalidad de lograr que la máquina vuelva a funcionar.



Figura 55. Conexiones de finales de carrera.

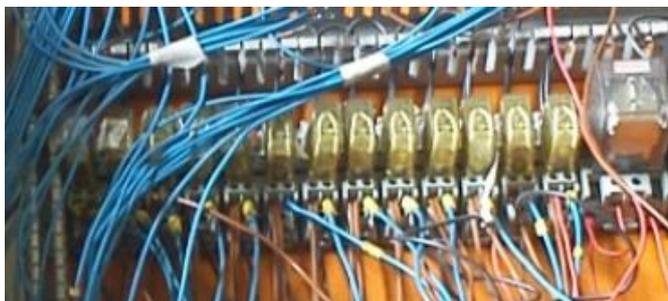


Figura 56. Relés de control.



Figura 57. Conexión del gabinete de control.

En la **Tabla 3** se pueden observar los elementos de este módulo con sus respectivas características.

Tabla 3. Elementos del módulo Energizar Circuito de Control.

MÓDULO: ENERGIZAR CIRCUITO DE CONTROL			
CANTIDAD	ELEMENTO	ESTADO	CARACTERÍSTICA TÉCNICA
1	Transformador	Óptimo	220/48 VAC 10A
1	Placa rectificadora	Óptimo	48 VAC/ 24 VDC
1	Filtro LC	Óptimo	-
3	Fusibles	Óptimo	5A
5	Finales de carrera tipo rodillo	Óptimo	Telemecanique XCK-M 1NO/1NC 10A
13	Relés 24V	Óptimo	Bobina 24V 2NO/1NC 7A 240VAC

2.3.3 MÓDULO “CONFIGURAR Y CONTROLAR PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO”

Éste módulo tiene las siguientes subfunciones: “Permitir ingreso de parámetros de funcionamiento” y “Controlar sistema”.

2.3.3.1 PERMITIR INGRESO DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

La máquina inyectora utiliza la energía proporcionada por una bomba hidráulica para realizar sus movimientos, por lo que el encendido de ésta es el primer paso para el funcionamiento de la máquina. En el gabinete de control se encuentran dos pulsadores con sus respectivos indicadores para la puesta en marcha y paro del motor eléctrico de la bomba. Se pudo comprobar que los pulsadores estaban en correcto estado, pero las luces indicadoras estaban quemadas.

Para el ingreso de la temperatura deseada, se observa que existen adaptaciones al control propio de la máquina. Al parecer, los parámetros de funcionamiento se ingresaban mediante un teclado a una pequeña pantalla conectada al PLC, y mediante perillas que se encuentran en la parte frontal del gabinete de control. La última adaptación válida que se realizó para controlar la temperatura según se observó, fue la utilización de dos controladores individuales de temperatura (sólo se controlaban dos zonas) conectadas a dos sensores tipo J y K respectivamente. De estos dos

controladores, sólo funcionaba uno; y el ingreso de los parámetros de temperatura se realizaba directamente en éstos.

Se pudo apreciar que existían dos potenciómetros que servían para la regulación de tiempos de enfriamiento, los cuales ya no cumplían su función. En el gabinete también se encontró una serie de interruptores de dos y tres posiciones que permitían el ingreso de ciertos parámetros como: encender las niquelinas, con/sin retorno de boquilla; así como perillas de uso desconocido. Todos los interruptores se encontraban en perfectas condiciones. En la **Figura 58** se pueden identificar cada uno de los elementos del gabinete de control.



Figura 58. Descripción del gabinete de control.

En la máquina también existen mandos locales (montados en la máquina) que tienen pulsadores e interruptores para funciones como: paro de emergencia, tipo de funcionamiento (manual o automático), abrir/cerrar platos, inyectar, acercar/alejar boquilla y cargar el material. Se inspeccionó el cableado de estos mandos y se encontró varios cables sueltos, luego se verificó el funcionamiento de cada mando y se comprobó que funcionaban de buena manera. Estos se pueden observar en la **Figura 59**.



Figura 59. Mandos locales de la máquina inyectora.

Tabla 4. Elementos del módulo Ingresar Parámetros de Funcionamiento.

MÓDULO: INGRESAR PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO		
CANTIDAD	ELEMENTO	ESTADO
1	Ingreso de parámetros de funcionamiento	Destruído
1	Ingreso de temperatura a controlar	Destruído
1	Mandos locales	Óptimo
1	Botonera y perillas sobre tablero	Óptimo

En la **Tabla 4** se muestra un resumen del estado de los elementos de este módulo.

2.3.3.2 CONTROLAR SISTEMA

El sistema de control es realizado por un controlador lógico programable (PLC) antiguo cuya marca se desconoce. El PLC era el encargado de activar los movimientos de los actuadores y de controlar la temperatura de las niquelinas; además tenía la posibilidad de funcionamiento manual y automático. Pero, la instalación de los controladores de temperatura debido al daño del teclado, conllevó a que el PLC ya no intervenga en el control de temperatura y además esto desembocó en que ya no exista el modo automático, ya que sin teclado es imposible ingresar los parámetros de funcionamiento. En cuanto al estado del PLC, cuando se energizó éste, se encendió un LED rojo; pero como se indicó antes, no se produjo ningún

movimiento de los actuadores. Se desconoce cómo es la programación del PLC antiguo, por lo que no se puede determinar si está en buen estado o no. A este PLC se lo puede observar en la **Figura 60**.

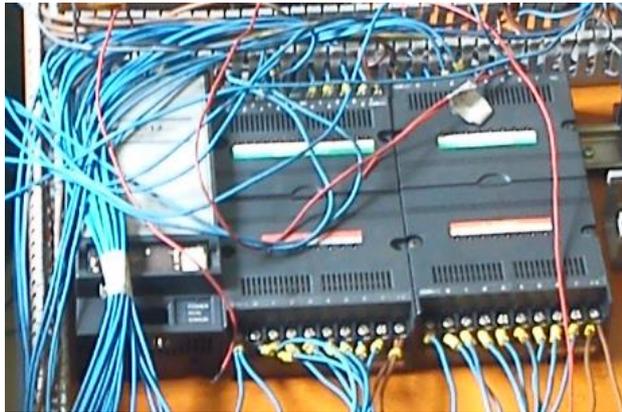


Figura 60. PLC antiguo de la máquina de inyección.

En lo que respecta a los sensores de temperatura, éstos son dos termocuplas de tipo J y K. Éstos generan una señal en milivoltios y la envían a los controladores de temperatura. Se determinó que los sensores trabajaban correctamente, por lo que podrían ser reutilizados. En la **Figura 61** se muestra la ubicación de las dos termocuplas antes mencionadas.



Figura 61. Termocuplas.

Tabla 5. Elementos del módulo Controlar Sistema.

MÓDULO: CONTROLAR SISTEMA			
CANTIDAD	ELEMENTO	ESTADO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Termocupla J tipo bayoneta	Óptimo	-
1	Termocupla K tipo bayoneta	Óptimo	-
1	Controladores de temperatura	Óptimo	Controlador ON/OFF salidas 110VAC 1NO/1NC
1	Controladores de temperatura	Destruído	Controlador ON/OFF salidas 110VAC 1NO/1NC
1	PLC	Destruído	Alimentación 24DC, salidas digitales lógica inversa

En la **Tabla 5** se expone el estado y las características de los elementos de este módulo.

2.3.4 MÓDULO “PLASTIFICAR LA MATERIA PRIMA”

Para la plastificación de la materia prima se necesita aporte de calor, lo cual se realiza por medio de niquelinas dispuestas a lo largo del cañón, las mismas que son de tipo abrazadera. Como se aprecia en la **Figura 62**, existen varias niquelinas que se encuentran quemadas, llenas de óxido, y con residuos de material plastificado. En total son ocho niquelinas, de las cuales seis son parte del cañón y dos corresponden a la boquilla. De éstas son recuperables cinco que todavía cumplen su función, mientras que las tres restantes (dos correspondientes a la boquilla y una al cañón) se necesitan reemplazar.



Figura 62. Niquelinas dispuestas en el cañón.

2.3.5 MÓDULO “INYECTAR EL MATERIAL PLASTIFICADO”

Este módulo está formado por seis subfunciones que constituyen el proceso de inyección: “Trasladar material plastificado hasta la boquilla”, “Inyectar material plastificado en el molde cerrado”, “Enfriar pieza”, “Abrir los moldes”, “Expulsar pieza” y “Enfriar sistema”.

Debido a que éste módulo engloba a todos los actuadores de la máquina, por lo que se necesita que funcione la bomba que energiza el circuito hidráulico para poder identificar el estado de cada actuador.

Inicialmente, se procedió a realizar la conexión directa en delta del motor, con lo que se pudo determinar que su funcionamiento era óptimo. Asimismo, se observó que la bomba hidráulica estaba también en buen estado.

El siguiente paso fue intentar hacer funcionar las válvulas electrohidráulicas montadas en el manifold de la inyectora. Para esto, se desconectaron todos los cables que corresponden a las salidas del PLC con el fin de aplicar 24 VDC directamente a cada cable; y con esta señal poder activar los relés, cuyos contactos energizan las electroválvulas a 220 VAC. Hecho esto, se pudo constatar que todas las válvulas funcionaban adecuadamente pese a que la máquina no realizó todos sus movimientos por problemas a nivel hidráulico y mecánico.

2.3.5.1 TRASLADAR MATERIAL PLASTIFICADO HASTA LA BOQUILLA

Esta función se conoce como “carga del material”. Esta tarea la cumple el tornillo recíprocante (husillo) mediante el giro del mismo. En la inyectora a la que se hace referencia, se encontraba una gran cantidad de material plastificado en el interior del cañón, lo que impedía la extracción del tornillo para comprobar su estado. Entonces, primero se quitaron los pernos que sujetaban al tornillo con el cilindro de inyección. Luego se extrajo todo el cañón (incluidos tornillo y boquilla), se calentó éste junto con la boquilla con suelda autógena para quitar los residuos de plástico y lograr que ceda el roscado para la extracción de la boquilla y del husillo. Una vez hecho esto,

ya con el tornillo fuera, se pudo determinar que sus canales estaban desgastados en ciertos sectores. Además, la punta del tornillo estaba rota y carecía de la válvula antirretorno que presentan este tipo de inyectoras. En la **Figura 63** se puede observar los componentes de este módulo, desmontados.



Figura 63. Cañón, tornillo y boquilla.

El giro del tornillo recíprocante lo produce un motor hidráulico, que se indica en la **Figura 64**, que genera el par suficiente para transportar el material plastificado hasta la boquilla. Para el manejo del motor se utiliza una válvula electrohidráulica 3/2. Cuando la máquina realizó éste movimiento, se pudo observar que había vibración en el momento del giro del tornillo; esto debido al desgaste de chavetas, chaveteros y al mal ajuste de los prisioneros.



Figura 64. Motor hidráulico

2.3.5.2 INYECTAR MATERIAL PLASTIFICADO EN EL MOLDE CERRADO

Para realizar la inyección del material, la máquina presenta un cilindro hidráulico que es el encargado de empujar al tornillo recíprocante y llevar el material plastificado al interior del molde (inyectar). Hay que considerar también para la inyección que la boquilla de la máquina debe acercarse al molde, por lo que aquí interviene otro cilindro hidráulico. Estos cilindros presentan sus respectivos fines de carrera.

Se comprobó que el movimiento de la boquilla se desempeñaba de buena forma; pero, en cuanto al movimiento de inyección del material plastificado, no se lo pudo comprobar inmediatamente. Después de varias pruebas se determinó que el movimiento de inyección tenía que hacerse a la par de la carga del material; es decir, se debían activar las dos electroválvulas para que se produzca la inyección del material. En esta etapa se constató que todos los movimientos de la máquina se efectuaban, aunque se identificó la falta de presión en los actuadores, lo mismo que desembocó en movimientos lentos y sin fuerza.

En la **Figura 65** se puede identificar el cilindro de inyección de material así como el cilindro que permite el avance o retroceso de la boquilla.

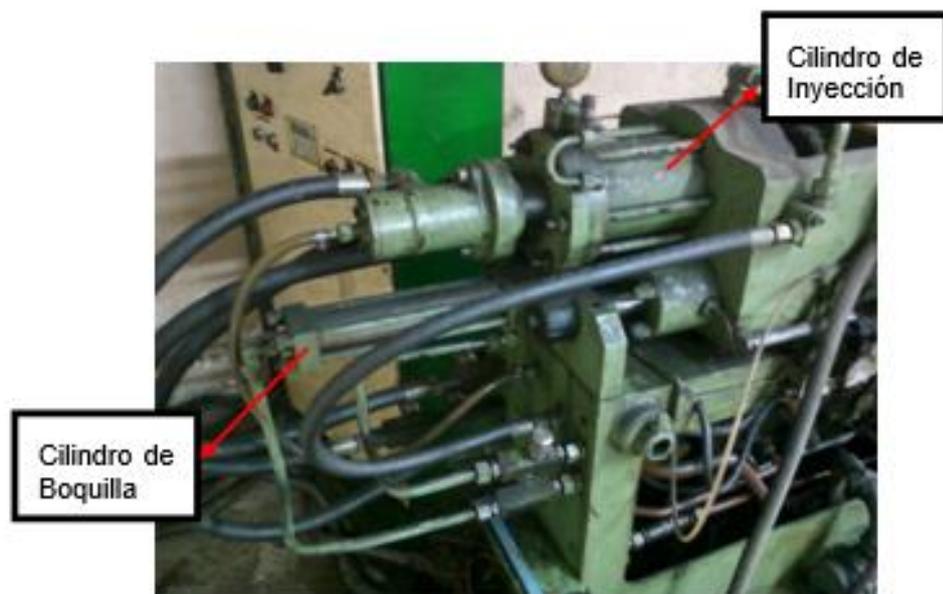


Figura 65. Cilindro de inyección y de boquilla

2.3.5.3 ENFRIAR PIEZA

Para el enfriamiento de la pieza terminada, se necesita que los moldes permanezcan cerrados durante cierto tiempo hasta que el material solidifique por completo.

En esta tarea también colabora un sistema de enfriamiento que se detalla más adelante, que se encarga de circular agua en el interior de los moldes para que el enfriamiento de la pieza se dé con mayor rapidez.

El diseño de los moldes, incluye un sistema que permite enfriar la pieza de una manera más rápida. Generalmente, dentro del molde se crea canales por donde circula líquido refrigerante para realizar esta tarea; sin embargo, no todos los moldes poseen en sus diseños estos canales. Como ejemplo, observe la **Figura 66**.

En la máquina, se utilizaba el agua como líquido de enfriamiento, que viene de la toma común por medio de una manguera. El agua no era recirculada, sino que era desechada, lo que producía un desperdicio del recurso innecesario.

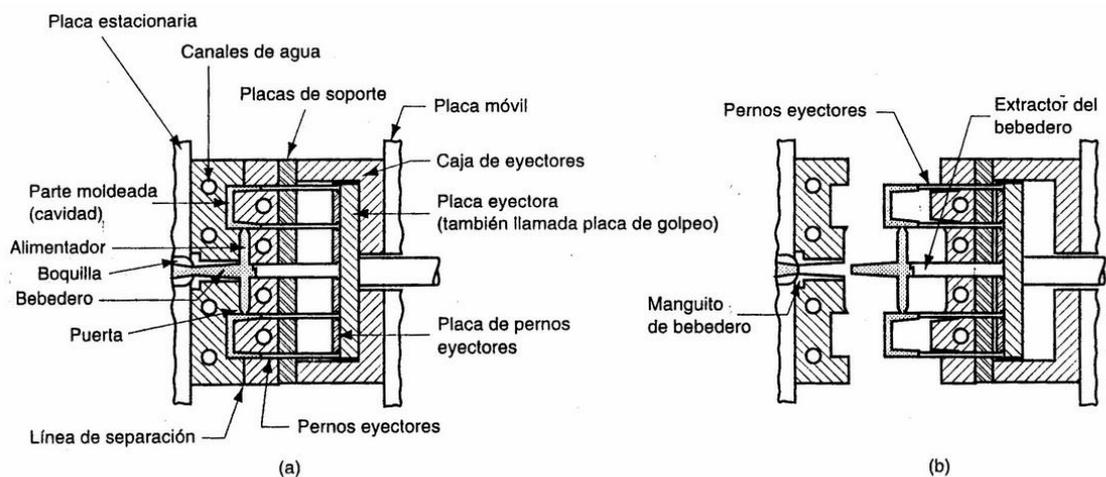


Figura 66. Vista en sección del molde.

Fuente: Recuperado de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/inyeccion/molde.bmp>

2.3.5.4 ABRIR LOS MOLDES

Las funciones de “Abrir moldes” y “Expulsar pieza” trabajan prácticamente como una sola. Una vez lista la pieza, se procede a la apertura del molde.

En la **Figura 67** se puede observar el mecanismo de apertura y cierre de moldes en el que se tiene una parte fija y otra parte móvil. En la parte izquierda se encuentra la parte fija, mientras que en la derecha, gracias a un mecanismo donde se utiliza un cilindro hidráulico para moverlo, se encuentra la otra parte del molde.



Figura 67. Mecanismo de apertura y cierre de moldes

Cuando el cilindro realiza su carrera positiva, cierra los platos, y cuando realiza su carrera negativa, los abre. Para el manejo de este cilindro se utiliza una válvula electrohidráulica 4/3 que se encuentra montada sobre el manifold.

En la **Figura 68** se puede observar la válvula y el cilindro que comandan la función de abrir y cerrar platos. Los elementos de este módulo, se encuentran en buen estado.

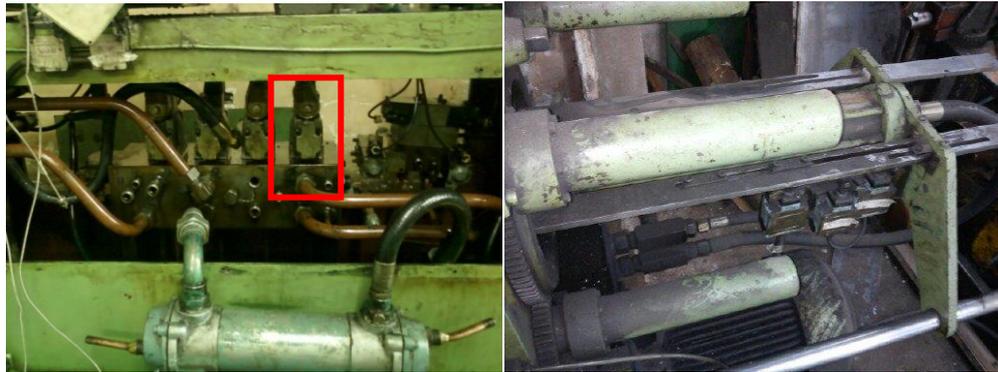


Figura 68. Válvula electrohidráulica 4/3 montada en el manifold (izq) y cilindro de apertura de platos (der)

2.3.5.5 EXPULSAR PIEZA

Para expulsar la pieza terminada, existe un eyector regulable ubicado de tal manera que cuando se abren los platos, éste empuje al mecanismo dentro de los moldes, que hace que expulse la pieza. Este eyector se regula dependiendo del tipo de molde que se vaya a utilizar. Observe la **Figura 69**.



Figura 69. Eyector regulable.

2.3.5.6 ENFRIAR SISTEMA

El sistema hidráulico, al estar sometido a presión, se calienta y cambia así las propiedades del aceite hidráulico; disminuye su viscosidad e impide una buena transferencia de energía hacia los actuadores. Por lo tanto el sistema pierde presión.

La máquina, posee un intercambiador de calor de tubo y carcasa ubicado en el retorno a tanque general de la máquina, que se muestra en la **Figura 70**. Éste está bastante corroído por dentro, ya que el agua que se utilizaba

para el enfriamiento provenía del sistema de agua común que tiene sales y minerales.



Figura 70. Intercambiador de calor de la inyectora.

Originalmente, la máquina se encontraba conectada a un distribuidor de agua, para dirigir el líquido hacia las diferentes entradas de los moldes. Además se constató indicadores de caudal y de temperatura sobre este distribuidor. Lamentablemente, ésta parte debe ser reemplazada en su totalidad por los daños que posee. Observar en la **Figura 71**.



Figura 71. Indicadores de temperatura de refrigerante.

El enfriamiento del sistema diseñado originalmente, conecta un circuito de fluido frío cerca de la zona de alimentación de materia prima. Este circuito permite que el calor no sea transferido hacia el material en la tolva. De esta manera se evita que el plástico se derrita y cierre el conducto entre la tolva y el cañón.

2.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA HIDRÁULICO ÍNTEGRO

El módulo “Inyectar el material plastificado”, y todas sus subfunciones, conllevan la necesidad de analizarlos en conjunto ya que confluyen en el sistema hidráulico.

Al comprobar el estado de cada módulo o función, se determinó en primera instancia el funcionamiento hidráulico de la máquina. Ésta posee un motor eléctrico que permite el funcionamiento de una bomba hidráulica (**Figura 72**), que luego de filtrar el aceite del reservorio, lo conduce hacia el manifold. En éste último se encuentran todas las válvulas que según su activación manejan los diferentes actuadores.



Figura 72. Bomba hidráulica.

Cuando se forzó el movimiento de los actuadores, se pudo determinar que la máquina no tenía la suficiente presión para mover tanto cilindros, como el motor hidráulico de una manera adecuada. Además, el aceite se encontraba contaminado con elementos como piezas metálicas, limallas, pellets, basura, entre otros.



Figura 73. Manifold y reguladores de presión.

En la **Figura 73** se puede observar el manifold con dos válvulas de alivio (reguladoras de presión), las mismas que ayudan a ajustar la presión general del sistema. La perilla de la izquierda permite calibrar la presión de entrada hacia los actuadores encargados de: acercar/alejar boquilla, cargar material, abrir/cerrar platos; mientras que el regulador de la derecha sirve para calibrar la presión del movimiento de inyección. La válvula de alivio de la derecha, se encuentra trabada; es decir, no se puede regular la presión.

Existen fugas en las válvulas montadas sobre el manifold, así como en las tuberías que conducen el aceite hacia los actuadores.

En la parte izquierda del manifold, existe un conjunto de cuatro válvulas direccionales y dos reguladoras entre las cuales se encuentra la válvula piloto (**Figura 74**). Para entender el funcionamiento de esa parte del circuito hidráulico, fue necesario desmontar este bloque. Se puede observar en la **Figura 75** el conjunto de válvulas, ya desmontado de la máquina.



Figura 74. Conjunto de válvulas reguladora y piloto montada



Figura 75. Conjunto de válvulas reguladoras y piloto desmontada.

Se pudo determinar, que dos de las electroválvulas direccionales, no cumplían ninguna función; ya que sus vías de trabajo estaban tapadas y servían como paso hacia los retornos a tanque. Esta disposición permitía una facilidad en torno a ocupar poco espacio.

La válvula piloto al ser activada, hace que el aceite no fluya hacia el tanque, lo que permite que la presión en los actuadores sea la necesaria para poder moverlos cuando se active su correspondiente electroválvula. (Ver Anexo B)

2.4.1 SISTEMA HIDRÁULICO ABRIR/CERRAR PLATOS Y AVANZAR/RETROCEDER BOQUILLA

Para la activación de los dos pistones, tanto el de abrir/cerrar platos, y el que controla la boquilla, están comandados por una electroválvula 4/3 con centro cerrado.

Estos cilindros tienen reguladores de presión (válvulas reguladoras de caudal antirretorno) para controlar su velocidad tanto en su carrera positiva, como negativa. En la **Figura 76** se puede observar el esquema de la disposición de los componentes de esta parte del sistema hidráulico.

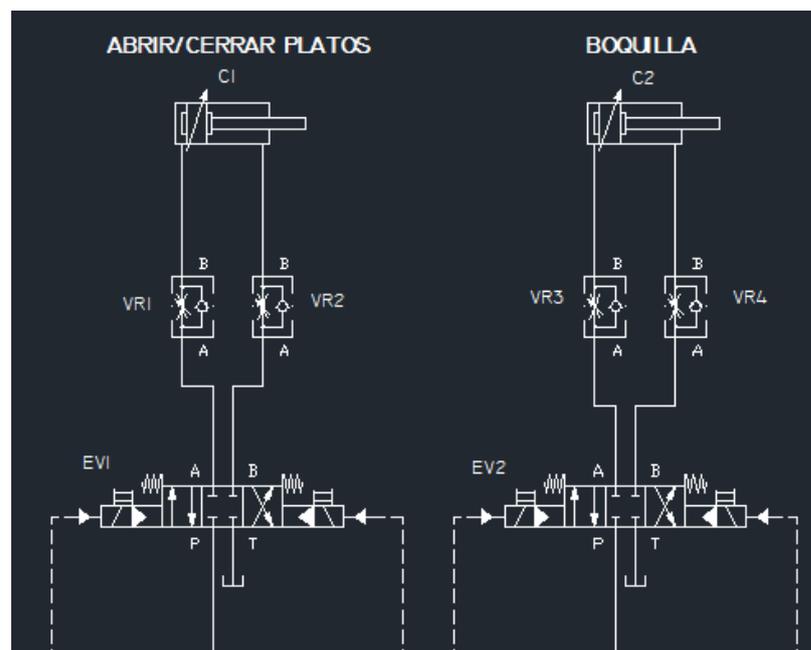


Figura 76. Diagrama hidráulico de los cilindros “Abrir/cerrar platos” y “Boquilla”.

2.4.2 SISTEMA HIDRÁULICO INYECCIÓN

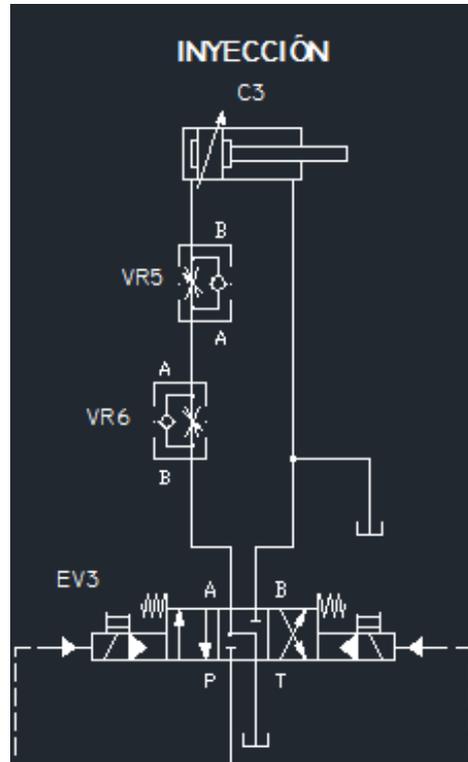


Figura 77. Diagrama hidráulico del cilindro "Inyección".

El pistón de inyección, es comandado por una válvula 4/3 con un centro que permite que la presión se alivie (retorno a tanque), para que cuando en la punta de la boquilla exista presión ejercida por la carga y plastificación del material, el pistón de inyección retorne a su posición inicial.

En el proceso de inyección de plástico, no es necesaria la activación de esta electroválvula para el retorno del pistón, ya que la presión en la boquilla provoca el retorno del tornillo.

El pistón de inyección, no puede ser activado si el motor de carga no ha sido energizado (EV4).

En la **Figura 77** se aprecia el circuito hidráulico de este actuador.

2.4.3 SISTEMA HIDRÁULICO PARA MOTOR DE CARGA

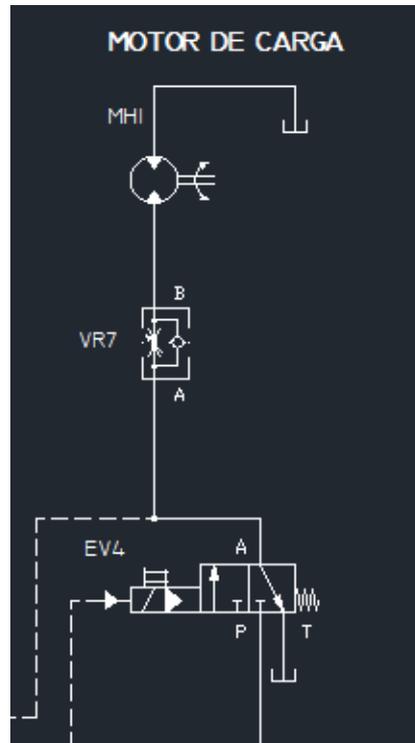


Figura 78. Diagrama hidráulico del motor de carga.

El motor de carga es pilotado por una válvula 3/2 con retorno a muelle (EV4). El motor es unidireccional y su velocidad puede ser regulada. Cuando este motor se activa, permite que el tornillo gire en sentido de las manecillas del reloj que tiene como objetivo el transporte de material plastificado hasta la boquilla.



Figura 79. Motor de carga y pistón de inyección

En la **Figura 78**, se puede identificar el funcionamiento de este actuador. En la **Tabla 6** se puede observar el estado y las características técnicas de los actuadores del sistema hidráulico.

Tabla 6. Características de los actuadores.

CARACTERÍSTICAS DE ACTUADORES			
CANT.	ELEMENTO	ESTADO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Pistón Inyección	Óptimo	Carrera: 5cm, D: 10cm d=6.5 cm, mangueras: 3/4 "ida y 1/2"vuelta
1	Pistón Abrir/cerrar platos	Óptimo	Carrera: 26cm, D: 7cm d=3.5 cm, mangueras: 3/4 "ida y 1/2"vuelta
1	Pistón acercar/alejar boquilla	Óptimo	Carrera: 27cm, D: 5cm d=1.5 cm, mangueras: 1,5cm ida y 1,5cm vuelta
1	Motor hidráulico carga	Reparar	Manguera: 3/4" ida y 3/4" vuelta
1	Válvula electrohidráulica inyección	Óptimo	4/3 posición inicial central por muelle con una vía de trabajo a tanque; piloto manual, eléctrico e hidráulico a ambos lados; 210 bar
2	Válvula electrohidráulica para platos y boquilla	Óptimo	4/3 posición inicial central por muelle con centro bloqueado; piloto manual, eléctrico e hidráulico a ambos lados; 210 bar
1	Válvula electrohidráulica motor hidráulico carga	Óptimo	3/2 piloto manual, eléctrico e hidráulico y retorno por muelle; 210 bar

CAPÍTULO III

DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 GENERALIDADES

Ante la necesidad de realizar la automatización para la repotenciación de la máquina de inyección mencionada, es fundamental el establecimiento de los requerimientos que se deben satisfacer con el diseño a realizar. Es así, que en referencia al diagrama modular funcional, se planteará las diferentes alternativas de solución para cada módulo, las cuales serán sometidas a ciertos criterios de ponderación para poder determinar la mejor opción a ser desarrollada.

Se tomó como referencia el libro “Diseño Concurrente” de Carles Riba para la realización de este capítulo.

3.2 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

Para especificar los requerimientos del cliente, fue necesario un diálogo con el dueño de la máquina y con el operador, con el fin de determinar exactamente cuáles son las necesidades o condiciones a satisfacer. Éstas se detallan de manera general en la **Tabla 7**.

Cabe recalcar que el requerimiento de mayor importancia para el cliente fue que el proyecto se realice al menor costo posible, lo que involucra la reutilización o incluso reparación de los componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y de control de la máquina; pero sin perder la confiabilidad y robustez del sistema.

3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CLIENTE

A más de los requerimientos de forma general del cliente, se necesitan también las especificaciones técnicas del producto o proyecto a desarrollar. Éstas envuelven un conjunto de características, funciones o prestaciones que se deben tomar en cuenta para el diseño e implementación de la máquina.

Tabla 7. Requerimientos del cliente.

N°	Requerimientos del cliente
1	Seguridad para el operario
2	Fácil manejo
3	Sistema automático (ciclo continuo) y manual
4	Sistema de control de temperatura adecuado para el proceso
5	Sistema robusto y eficiente
6	Menor costo posible

3.3.1 DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN

Para la elaboración del proyecto es conveniente desarrollar una lista con todas las especificaciones de forma organizada, a ésta se la conoce como documento de especificación.

En este documento deben constar los requerimientos y deseos del cliente.

- **Requerimiento (R):** Es toda especificación sin la cual la máquina pierde su objetivo.
- **Deseo (D):** Es toda especificación que, sin ser estrictamente necesaria para el objetivo de la máquina, mejoraría ciertos aspectos de ella. (Riba, 2002)

En el **Cuadro 7** se detalla el documento de especificación.

3.4 MÓDULOS: PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Una vez elaborado el documento de especificación, se va a considerar cada módulo del Capítulo II como un problema a resolver. Es así, que se van a abordar los módulos no resueltos con el fin de establecer sus posibles soluciones y escoger la mejor alternativa.

Los módulos que se van a tratar son los siguientes:

- Energizar circuito de potencia
- Permitir ingreso de parámetros de funcionamiento

Cuadro 7. Documento de especificación del producto.

Empresa Cliente: ISISTEM		Producto: Sistema automático para la repotenciación de la inyectora de plástico marca BJC		Fecha inicial: 10/04/13
Empresa de Ingeniería: ESPE				Última revisión: 24/09/13
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	10/04/2013	C	R	Sistema manual de inyección de plástico
		C	R	Sistema automático de inyección (ciclo continuo)
		C+I	R	Sistema de enfriamiento de máquina y de piezas
Energía	10/04/2013	C+I	R	Funcionamiento con corriente alterna de 60 Hz a 220V trifásico para potencia
Materiales	10/04/2013	C	R	Polímeros termoplásticos moldeables hasta 250 °C
Señales y control	10/04/2013	I	R	Control centralizado de la máquina
		C+I	R	Control de posición de máquina por fines de carrera
		C	R	Control del operador de tiempos de enfriamiento y valores de temperatura por zonas
		I	D	Control de temperatura de cañón hasta 350°C
		C	D	Operabilidad desde el panel y desde la máquina
Seguridad	10/04/2013	C+I	R	Desconectar el sistema si el operador abre la rejilla
		C+I	R	Parar todo el sistema con un botón de emergencia
		C	D	Manual de operación y solución a problemas
Costes	10/04/2013	C	D	Menor costo posible (reutilizar elementos en óptimo estado)
Vida útil y mantenimiento	10/04/2013	C+I	R	Máquina fiable, robusta
		C	D	Fácil mantenimiento
Impacto ambiental	10/04/2013	C	D	Reducción de desechos de plástico con la implementación del sistema automático

Propone: C=Cliente; I=Ingeniería

R/D: R=Requerimiento; D=Deseo

- Controlar sistema (Control del sistema y Acondicionamiento de sensores)
- Enfriar sistema
- Plastificar materia prima
- Inyectar el material plastificado
- Sistema hidráulico íntegro

Para cada módulo se desplegará una serie de alternativas para hacer su correspondiente evaluación. Cada alternativa será descrita de forma global, para luego elaborar una matriz morfológica que indique cuáles son las ventajas y desventajas de cada opción.

En la mayoría de los casos se utilizará el “Método ordinal corregido de criterios ponderados” para poder tomar la decisión sobre las distintas alternativas. Éste consiste en tomar en cuenta los criterios más importantes para la elección, ponderarlos numéricamente y luego evaluar cada alternativa respecto a estos criterios. Con esto se obtendrá una tabla en la que la alternativa con mayor puntaje será la opción más conveniente. Los valores que asigna este método son los siguientes:

- 1: Si el criterio o solución de la fila es superior o mejor al de las columnas.
- 0.5: Si el criterio o solución de las filas es equivalente al de las columnas.
- 0: Si el criterio o solución de las filas es inferior o peor que el de las columnas. (Riba, 2002)

3.4.1 MÓDULO “ENERGIZAR CIRCUITO DE POTENCIA”

Este módulo tiene como objetivo fundamental manejar dos tareas indispensables en el proceso de inyección del plástico:

- Energizar las niquelinas para el derretimiento del plástico
- Energizar el motor eléctrico para la bomba del sistema hidráulico y el motor de la bomba del sistema de enfriamiento.

Con respecto a las niquelinas, se necesita realizar un conexionado adecuado que permita controlar independientemente tres zonas del cañón. Para el sistema de enfriamiento, se necesita un motor eléctrico de baja potencia, por lo cual se diseñará el circuito eléctrico con arranque directo. En cuanto al arranque del motor del sistema oleohidráulico, se proponen las siguientes alternativas para su puesta en marcha.

- **Alternativa 1:** Diseñar un sistema de arranque estrella/delta por medio de tres contactores trifásicos.
- **Alternativa 2:** Diseñar un sistema de arranque suave por medio de un arrancador electrónico.

3.4.1.1 POSIBLES ALTERNATIVAS

a) ALTERNATIVA 1: ARRANQUE ESTRELLA/DELTA

La conexión estrella/delta, mostrada en la Figura 80, es utilizada para lograr un rendimiento óptimo en el momento de su arranque. Esto se utiliza cuando la carga mecánica es grande, y el motor para salir de su inercia necesita mayor corriente en sus bobinas. Esto puede causar desperfectos a nivel eléctrico, tanto en la red, como en elementos cercanos.

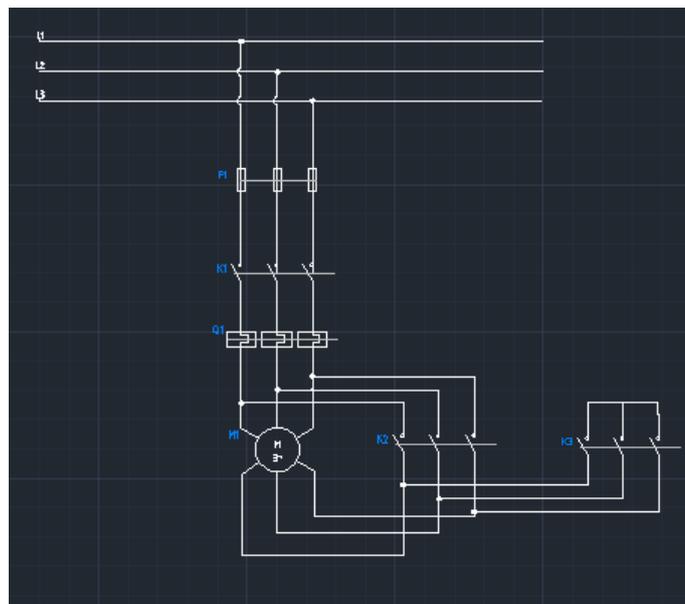


Figura 80. Esquema de conexión estrella/delta del motor.

La activación de cada una de las bobinas de los contactores debe ser comandada desde el control centralizado, que permitirá el cambio de estrella a delta con la activación correspondiente de cada contactor. Para el diseño es importante tomar en cuenta también el dimensionamiento de todas las protecciones convenientes.

b) ALTERNATIVA 2: ARRANCADOR ELECTRÓNICO

Los arrancadores reúnen los elementos necesarios para controlar y proteger los motores eléctricos. De la elección de éstos depende el rendimiento de toda la instalación.

Los arrancadores garantizan las siguientes funciones:

- Seccionamiento
- Protección contra cortocircuitos y sobrecargas
- Conmutación

Los arrancadores electrónicos, como el de la Figura 81, permiten la configuración de la aceleración al momento del encendido, así como la desaceleración al momento de la desconexión del motor. Además, existen muchos arrancadores suaves que en el caso de que exista algún tipo de falla eléctrica (bajo voltaje, sobrecorrientes, etc.) muestran el error y facilitan la detección del mismo.



Figura 81. Arrancador Electrónico.

Fuente: Recuperado de <http://www.solostocks.com/img/arrancadores-suaves-para-motore-trifasicos-de-15kw-a-400vac-30a-7619741z0.jpg>

3.4.1.2 MATRIZ MORFOLÓGICA

Ya presentadas las dos alternativas posibles para el diseño del módulo, es importante comparar tanto las ventajas como desventajas que éstas ofrecen, las mismas que se detallan en el **Cuadro 8**.

Cuadro 8. Matriz morfológica – ventajas y desventajas de las alternativas de Energizar el Circuito de Potencia.

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Arranque estrella/delta 	<ul style="list-style-type: none"> Menor precio 	<ul style="list-style-type: none"> Se necesita elementos adicionales para protección del motor Requiere mayor espacio en el tablero Mayor mantenimiento
Arrancador electrónico suave 	<ul style="list-style-type: none"> Conexión sencilla Aceleración y desaceleración calibrable Fácil localización de averías Protección contra fallos de fase, sobrecargas y sobrecalentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor costo que un sistema estrella/delta

3.4.1.3 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Los criterios de valoración que son determinantes para la selección de la mejor alternativa son:

- Costos de implementación
- Fiabilidad
- Facilidad de detección de averías

Cabe mencionar, que la alternativa 1: Arranque estrella/delta, necesita algunos componentes adicionales, como guardamotor y relé térmico, lo que implica que el costo de la alternativa 1 es mayor (340\$ aproximadamente), todavía menor al precio de un arrancador (400\$ aproximadamente). Estos precios fueron tomados del catálogo Schneider del Ecuador.

Para la selección de la mejor opción se utilizará la técnica de la ponderación, la cual se detalla en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Ponderación y selección de la solución para el módulo “Energizar circuito de potencia”. Método ordinal corregido de criterios ponderados.

a) Evaluación del peso específico de cada criterio

Costo = Fiabilidad > Detección averías					
Criterio	Costo	Fiabilidad	Detección averías	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	1	2,5	0,417
Fiabilidad	0,5		1	2,5	0,417
Detección averías	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

b) Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio

- Evaluación del peso específico del criterio **costo**

Alternativa 1 > Alternativa 2					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación	
Alternativa 1		1	2	0,667	
Alternativa 2	0		1	0,333	
			Suma	3	1,000

- Evaluación del peso específico del criterio **fiabilidad**

Alternativa 2> Alternativa 1				
Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
		Suma	3	1,000

- Evaluación del peso específico del criterio **facilidad de detección de averías**

Alternativa 2> Alternativa 1				
Detección averías	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,333
Alternativa 2	1		2	0,667
			3	1,000

- Resultados de la ponderación de las alternativas según los criterios

Solución	Costo	Fiabilidad	Detección averías
Alternativa 1	0,667	0,333	0,333
Alternativa 2	0,333	0,667	0,667

- Tabla de ponderación de alternativas tomando en cuenta el peso específico de cada criterio

Solución	Costo	Fiabilidad	Detección de averías	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,28	0,14	0,06	0,47	2
Alternativa 2	0,14	0,28	0,11	0,53	1

Después del análisis correspondiente, se puede concluir que la mejor alternativa es el uso de un arrancador por todos los beneficios que éste ofrece.

3.4.2 MÓDULO “PERMITIR INGRESO DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO”

Este módulo se refiere a la interfaz entre la máquina y el operador, donde éste último, controla el movimiento de la máquina y establece algunos parámetros de funcionamiento de la misma.

La inyectora de plástico debe funcionar con sus dos modos de operación, esto es manual y automático. El modo manual debe permitir al operador realizar el proceso de inyección del plástico sin ninguna restricción, pero también debe mantener la seguridad básica del sistema; es decir, si se abre la rejilla, parar el sistema; y si se presiona el botón de paro de emergencia, detener completamente la máquina.

En el modo automático, debe existir la posibilidad de configurar parámetros como: valores de temperatura de cada una de las zonas de plastificación del material, configuración de los tiempos de enfriamiento, número de ciclos, entre los más importantes.

En este módulo se cuenta con una botonera ubicada en la máquina, la cual el cliente requiere que funcione y se pueda manejar la inyectora tanto de estos mandos, como de los de panel.



Figura 82. Panel de control de la máquina de inyección.

El tablero original se muestra en la **Figura 82**, en éste no se puede determinar el uso de todas las perillas y selectores que se encuentran sobre el panel. Se leen opciones como "con/sin retro", "sin/ con exp.", "boquilla", "molde"; opciones que ni los operarios, ni el cliente recuerdan para que eran utilizados exactamente, ya que la máquina por mucho tiempo fue usada sólo en forma manual.

Es importante crear una interfaz que sea de fácil entendimiento y manejo, ordenada y segura para el operador.

Como se explicó en el alcance del proyecto, el ingreso de parámetros de funcionamiento y la operación de la máquina se realizará mediante un touch-panel o pantalla táctil dispuesta en el gabinete de control, y también será posible utilizar los mandos locales (botonera) para los movimientos de la máquina.

3.4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN: PANTALLA TÁCTIL Y BOTONERA DE LA MÁQUINA

Con el uso de una pantalla táctil se puede asegurar un entorno agradable, de fácil uso, y eficiente para el operador. Se puede incorporar un sinnúmero de opciones, así como observar gráficamente el estado de la máquina.

Generalmente, el uso del touch-panel en procesos industriales, viene a la par con el uso de un PLC de la misma marca, ya que de esta forma se facilita la comunicación entre componentes y se evita retardos durante la ejecución del programa.

Se utilizará un PLC Siemens S7-1200, entregado por la empresa auspiciante, para la implementación de este proyecto. Por tal motivo, es recomendable utilizar un touch-panel de la misma marca.

Es importante reiterar que el cliente ha solicitado que se mantenga el uso de la botonera montada sobre la máquina. Ésta puede ser utilizada para la operación en modo manual y el arranque de la secuencia automática.

- **Botonera sobre la máquina**

La botonera sobre la máquina cuenta con:

- 1 botón tipo hongo.
- 3 perillas de dos posiciones con neutro.
- 1 botón pulsador.
- 1 perilla de tres posiciones.

La asignación de funciones para cada botón va a conservar la disposición original, excepto la de la última perilla que era utilizada para la selección de los modos manual, automático y semiautomático. El modo de funcionamiento semiautomático será descartado, la máquina contará con los modos manual y automático. Las funciones asignadas para los botones se muestran en la Figura 83.

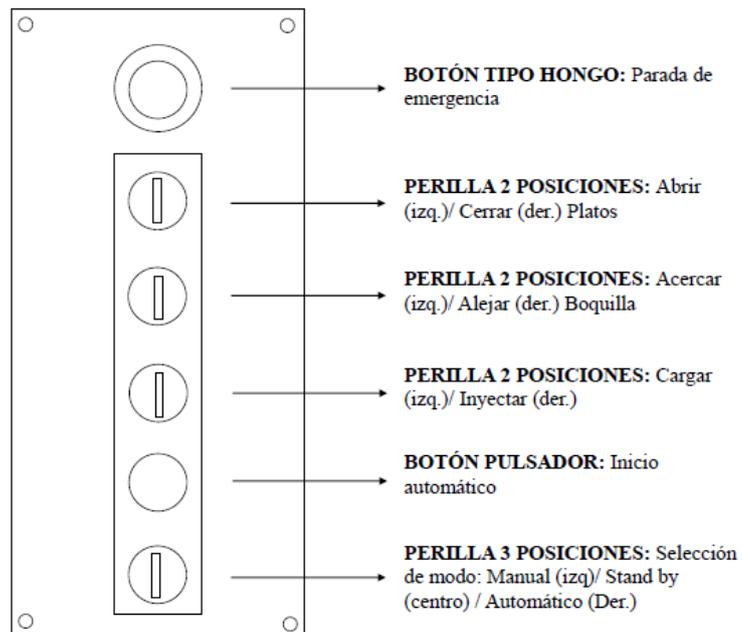


Figura 83. Posibles funciones de la botonera de la máquina.

- **Pantalla táctil**

En la **Figura 84** se muestra un diseño preliminar del panel, las opciones y parametrización del proceso de inyección serán implementadas en el touch-panel.

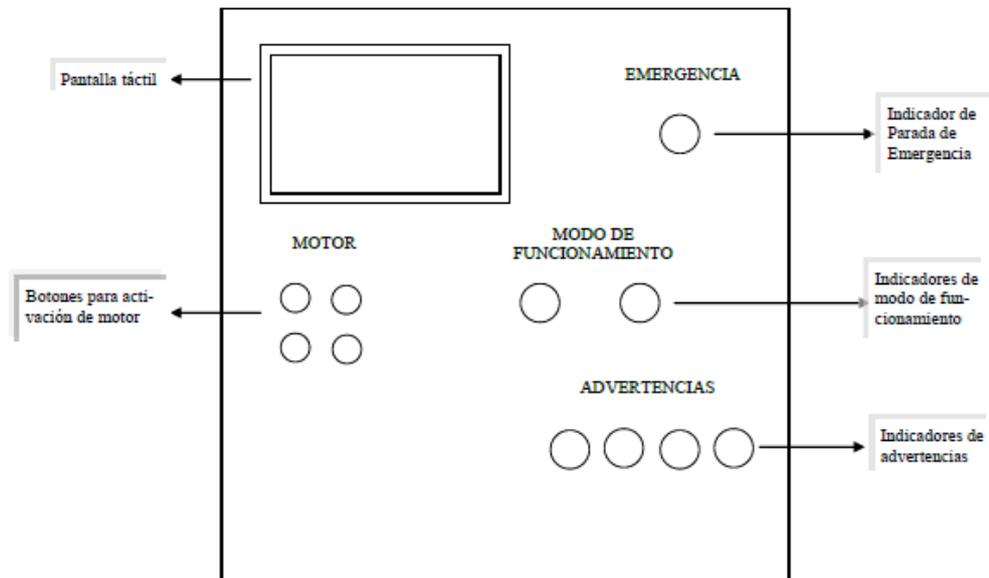


Figura 84. Diseño preliminar del panel de la máquina con pantalla táctil.

3.4.3 MÓDULO “CONTROLAR SISTEMA”

En este módulo se tratará sobre el control del sistema y el acondicionamiento de los sensores de temperatura que se utilizarán en la máquina de inyección.

3.4.3.1 CONTROL DEL SISTEMA

El sistema era controlado por un PLC antiguo, del cual no existen referencias ni manuales de funcionamiento. Por tal motivo se hace necesario la implementación de un nuevo controlador que se encargue de enviar las señales para la secuencia de movimientos de la máquina de inyección, así como también del control de temperatura de las niquelinas.

Como se mencionó anteriormente, se utilizará un PLC Siemens S7-1200, como el de la **Figura 85**, para el control del sistema, y se añadirán módulos digitales y/o análogos según sea necesario. Esto se detallará en el Capítulo Sistema Eléctrico.

3.4.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN: IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO PLC

La implementación de este dispositivo en la máquina de inyección conlleva la extracción del PLC antiguo junto con los controladores de

temperatura que se encuentran en el gabinete. Se realizará el cableado y conexión de los sensores fines de carrera para que proporcionen una entrada de 24 VDC al PLC. Asimismo, las salidas energizarán las bobinas de los relés para luego activar los diferentes actuadores.



Figura 85. PLC Siemens S7-1200.

Fuente: Recuperado de http://support.automation.siemens.com/dnl/DQ/DQyNjAwNTEA_52255887_Akt/S7-1200_Sys.jpg

3.4.3.2 ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES

Para determinar la temperatura a la cual las niquelinas plastifican la materia prima, se necesitan sensores que estén dispuestos en el cañón de la máquina de inyección. Los sensores que se utilizarán son las dos termocuplas instaladas anteriormente, además de una termocupla extra para monitorear las tres zonas necesarias.

Este tipo de sensores presentan una señal de salida del orden de los microvoltios y milivoltios, es así que surgen dos posibilidades para el tratamiento de esta señal que se describen a continuación.

3.4.3.2.1 POSIBLES ALTERNATIVAS

a) ALTERNATIVA 1: CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

Para amplificar la señal de salida de los sensores se podría implementar un circuito de acondicionamiento. La primera consideración que se debe hacer es determinar el rango de voltaje que pueden leer las entradas análogas del PLC; además, se debe tener en cuenta la tabla de valores de voltaje que proporcionan los termopares de acuerdo a la temperatura. Determinado esto, ya se pueden obtener las ganancias que necesitan los

sensores, por lo que es factible el diseño de un circuito con amplificadores para tener el rango de voltaje deseado a la salida.

Los amplificadores que se usarían para el circuito de acondicionamiento serían los de instrumentación, como los de la **Figura 86**, ya que éstos permiten amplificar con gran precisión las señales de muy bajo nivel en su entrada, mediante la eliminación de posibles señales interferentes y de ruido. Finalmente, la salida del circuito de acondicionamiento estaría conectado a la entrada análoga del PLC.

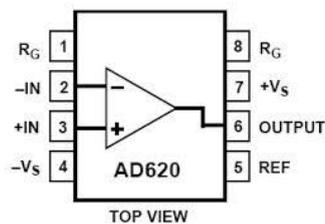


Figura 86. Amplificador de Instrumentación.

Fuente: Datasheet AD620

b) ALTERNATIVA 2: MÓDULO DE SEÑAL PARA TERMOPARES

Otra opción para el acondicionamiento de señal de los termopares es un módulo de PLC para este tipo de sensores. Estos módulos, como el de la **Figura 87**, son capaces de leer y procesar las señales en milivoltios que arrojan estos sensores. El módulo iría conectado al PLC, de forma física y también por software, para que el PLC pueda procesar las señales que recibe el módulo. Asimismo, las señales de los sensores se conectarían directamente a las entradas del módulo sin ningún tipo de acondicionamiento previo.



Figura 87. Módulo para termopar del PLC Siemens S7-1200.

Fuente: Recuperado de <http://www.directindustry.es>

3.4.3.2.2 MATRIZ MORFOLÓGICA

Las ventajas y desventajas de las respectivas soluciones se describen en el **Cuadro 9**.

Cuadro 9. Matriz morfológica – ventajas y desventajas de las alternativas de Acondicionamiento de Sensores.

Alternativas	Ventajas	Desventajas
<p>Circuito de acondicionamiento</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Flexibilidad • Confiable 	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño de la placa lleva tiempo
<p>Módulo de señal para termopares</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Los sensores se conectan directamente • Confiable 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo alto • Poco flexible

3.4.3.2.3 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes para este módulo fueron:

- **Bajo costo:** ya que es el requerimiento de mayor importancia para el cliente.
- **Flexibilidad:** es decir, que haya la factibilidad de variar el voltaje de la señal de salida.

En vista de que la matriz morfológica proporciona la información suficiente de las alternativas sobre los criterios mencionados, se decidió escoger la primera alternativa, que es la de realizar un circuito de acondicionamiento con las características antes descritas.

3.4.4 MÓDULO “ENFRIAR SISTEMA”

En general, las transmisiones oleohidráulicas, que son muy utilizadas en maquinaria pesada (como es el caso de la máquina de inyección), se caracterizan por el manejo de potencias elevadas gracias a un fluido de trabajo (aceite), que circula por un conducto a elevada presión y que consigue comunicar el movimiento al actuador correspondiente.

La acción de bombeo, el incremento brusco de la presión, la circulación por conductos, estrechamientos, válvulas reguladoras, y actuadores (cilindros, motores) da lugar a un incremento progresivo de la temperatura del fluido, bastante acusado en tiempos de operación altos. Por tal motivo, se hace indispensable disminuir la temperatura del aceite porque, caso contrario, sus propiedades cambian, se reduce su viscosidad y poder lubricante, además de calentar otros componentes de la máquina que pueden quedar afectados. Es así que se necesita un sistema de enfriamiento para mantener el fluido de trabajo de la máquina de inyección de plástico dentro de los niveles de temperatura óptimos que permitan evitar la degradación del aceite. (Mata, 2002)

Para este tipo de máquinas, se requiere la instalación de intercambiadores de calor que utilizan como refrigerante agua a temperatura ambiente (18 a 25°C). En casos especiales, puede ser suficiente un intercambiador aceite/aire. (Mata, 2002)

3.4.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN: EVALUACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR EXISTENTE

En la máquina de inyección se encuentra un intercambiador de calor de tubo y carcasa que se aprecia en la **Figura 89**, con el cual funcionaba anteriormente el enfriamiento del sistema. La primera opción es tratar de usar este mismo intercambiador para el diseño del sistema de enfriamiento, pero para esto se debe realizar antes un cálculo aproximado para determinar si efectivamente el intercambiador que se tiene es aplicable para el proceso.

Para el bombeo del líquido de refrigeración, se nos entregó una bomba por parte del dueño de la máquina, la cual debe ser evaluada y puesta a punto para su utilización.

- **INTERCAMBIADOR DE TUBO Y CARCASA**

En este dispositivo el fluido caliente que circula por la carcasa, alrededor de los tubos, transfiere el calor al fluido más frío a través de las paredes de los tubos. El fluido frío circula por los tubos y se retira del intercambiador a una temperatura superior a la que entró.

Este tipo de intercambiador, como el de la **Figura 88**, consta de una carcasa cilíndrica (1) que contiene un arreglo de tubos (2) paralelo al eje longitudinal de la carcasa. Los tubos están sujetos en cada extremo por láminas perforadas (3). Estos atraviesan a su vez a una serie de láminas llamadas deflectores (4), que al ser distribuidas a lo largo de la carcasa, sirven para soportar los tubos y dirigir el flujo que circula por la misma, de tal forma que la dirección del fluido sea siempre perpendicular a los tubos. El fluido que va por dentro de los tubos es dirigido por unos ductos especiales conocidos como cabezales o canales (6 y 7). (Gómez)

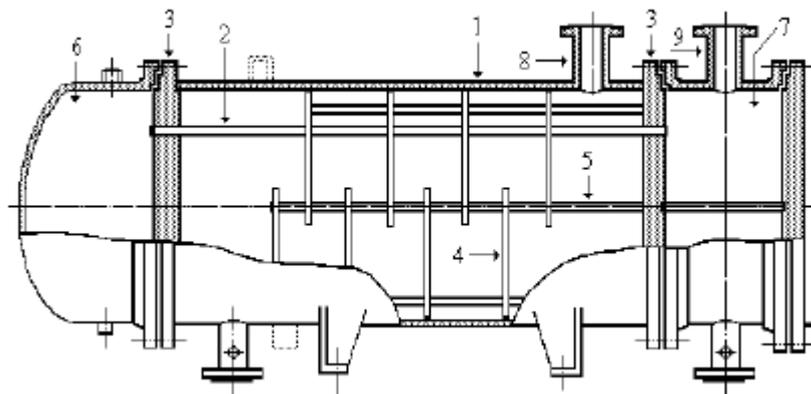


Figura 88. Esquema del intercambiador de tubo y coraza.

Fuente: González, D. (Marzo de 2002). Intercambiadores de Calor: Tipos Generales y Aplicaciones.



Figura 89. Intercambiador de calor de la máquina de inyección.

3.4.4.2 ENFRIAMIENTO DEL AGUA

Luego de que el líquido de enfriamiento pasa por todo el circuito, es necesario restablecer su temperatura lo más cercana a la temperatura ambiente para que esta vuelva a recircular.

Existen algunas posibilidades para llevar a cabo esta acción, para su selección debe tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura a la que el agua llegó a calentarse.
- Costos de implementación.
- Factibilidad de implementación.

3.4.4.2.1 POSIBLES ALTERNATIVAS

a) ALTERNATIVA 1: INTERCAMBIADOR ENFRIADO POR AIRE

Este tipo de intercambiador se muestra en la Figura 90, éste consiste en un arreglo rectangular de tubos situados en una corriente de aire, que puede ser forzada con ayuda de un ventilador. El fluido caliente es enfriado en cada tubo al soplar o succionar aire. Estos tubos suelen tener aletas para aumentar el área de transferencia de calor.

El aire en vez del agua, parecería una elección obvia a la hora de seleccionar un refrigerante, pero desafortunadamente el aire es un medio de transferencia de calor pobre en comparación al agua, que posee una conductividad térmica cerca de 23 veces mayor que el aire a 35°C. Por lo que, para una determinada cantidad de calor a transferir, se requiere una mayor cantidad de aire, aproximadamente 4 veces más en masa y 3200 en volumen. (Gómez)

Este tipo de intercambiador se utiliza cuando la diferencia de temperatura entre el líquido a enfriar y el aire es alta, caso contrario este tipo de intercambiador pierde su efectividad.

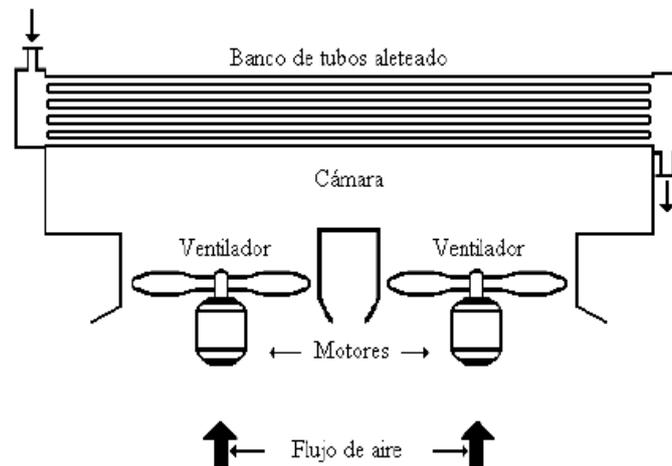


Figura 90. Intercambiador enfriado por aire.

Fuente: González, D. (Marzo de 2002). Intercambiadores de Calor: Tipos Generales y Aplicaciones.

b) ALTERNATIVA 2: TORRE DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se utilizan para enfriar agua que se encuentra a alta temperatura, dependiendo del tipo de torre de enfriamiento, puede enfriarse el líquido a temperaturas menores a las de la temperatura ambiente.

Este tipo de enfriamiento se utiliza en la industria como en plantas de energía, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, plantas de procesamiento de gas natural y otras instalaciones industriales.

Para este caso, se propone la construcción de un sistema con el principio de una torre de enfriamiento, donde el agua a enfriarse tome contacto con el aire del ambiente y pierda energía por su caída, como se puede observar en la **Figura 91**.

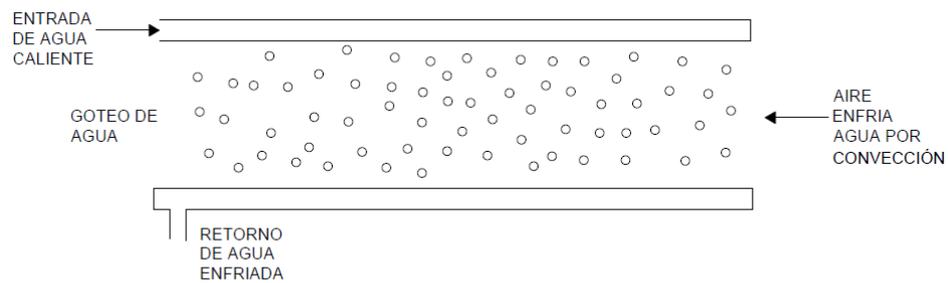


Figura 91. Sistema de goteo de agua para enfriamiento.

c) ALTERNATIVA 3: PISCINA DE ENFRIAMIENTO

La idea de esta propuesta, es que el líquido a ser enfriado, circule por una tubería que se encuentre sumergida en un líquido más frío, transfiriéndole calor. El inconveniente de esta alternativa es que el agua de la "piscina" puede llegar a calentarse, lo que obligaría a tener una piscina de dimensiones considerables, o en su defecto se debería reemplazar el agua que se calentó por agua a temperatura ambiente. Observe la **Figura 92**.

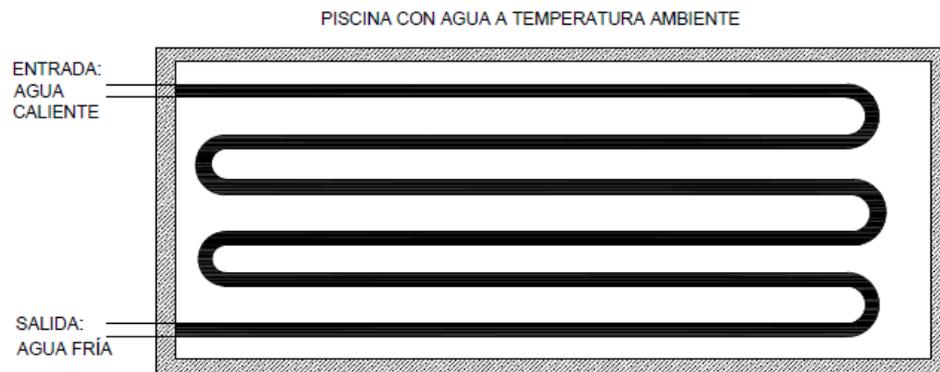


Figura 92. Piscina para intercambio de calor.

3.4.4.2.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Los criterios de valoración que son determinantes para la selección de la mejor alternativa son:

- Costos de implementación

- Facilidad de implementación
- Funcionalidad
- Mantenimiento

Para ello se debe analizar cada uno de estos aspectos y para la selección de la mejor opción se utilizará la técnica de la ponderación que se detalla en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Ponderación y selección de la solución para el módulo “Enfriar sistema”. Método ordinal corregido de criterios ponderados.

a) Evaluación del peso específico de cada criterio

Funcionalidad>Costo>Facilidad de implementación=Mantenimiento						
Criterio	Costo	Facilidad de implement.	Funcionalidad	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	0	1	3	0,333
Facilidad de implement.	0		0	0	1	0,111
Funcionalidad	1	1		1	4	0,444
Mantenimiento	0	0	0		1	0,111
Suma					9	1,000

b) Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio

- Evaluación del peso específico del criterio **costo**

Alternativa 2= Alternativa 3>Alternativa 1					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,417
Suma				6	1,000

- Evaluación del peso específico del criterio **facilidad de implementación.**

Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1					
Facilidad de implementación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		1	3	0,500
Alternativa 3	1	0		2	0,333
Suma				6	1,000

- Evaluación del peso específico del criterio **funcionalidad.**

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					
Funcionalidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
Suma				6	1,000

- Evaluación del peso específico del criterio **mantenimiento.**

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 1					
Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,417
Suma				6	1,000

- Resultados de la ponderación de las alternativas según los criterios

Solución	Costo	Facilidad de implement.	Funcionalidad	Mantenimiento
Alternativa 1	0,167	0,167	0,5	0,167
Alternativa 2	0,417	0,5	0,333	0,417
Alternativa 3	0,417	0,333	0,167	0,417

- Tabla de ponderación de alternativas tomando en cuenta el peso específico de cada criterio

Solución	Costo	Facilidad de implement.	Funcionalidad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,06	0,02	0,22	0,02	0,32	2
Alternativa 2	0,14	0,06	0,15	0,05	0,39	1
Alternativa 3	0,14	0,04	0,07	0,05	0,30	3

Después del análisis correspondiente, se puede concluir que la mejor alternativa es el uso de un sistema de enfriamiento que utilice el principio de las torres de enfriamiento.

Uno de los problemas que se puede tener al utilizar esta alternativa, es que el goteo de agua más el aire del medio, haga que en el lugar donde se instale este dispositivo, las gotas se dispersen provocando molestia en los operadores. Para ello se pensó en implementar un sistema como se muestra en la **Figura 93**.

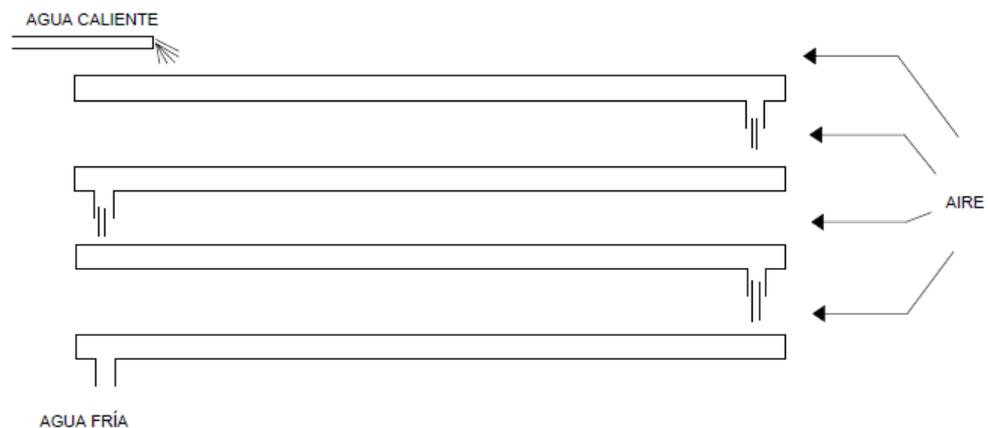


Figura 93. Sistema para enfriamiento de agua de recirculación.

Este sistema será implementado en una pared al interior de las instalaciones de la Mecánica, el número de caídas de agua se determinó por el espacio que se tenía disponible. En el Capítulo Sistema Mecánico se encontrará un detalle de las medidas y funcionamiento del sistema.

3.4.5 MÓDULO “PLASTIFICAR MATERIA PRIMA”

Para un correcto funcionamiento de este módulo, debe darse mantenimiento a las niquelinas que aún funcionan y remplazar las niquelinas dañadas por unas nuevas que conserven la potencia de las originales (550W).

La disposición de las niquelinas debe ser tal que:

- **Zona 1:** Zona de alimentación de material 60% del cañón, temperaturas menores a 60° C.
- **Zona 2:** Zona de compresión de material 20% del cañón.
- **Zona 3:** Zona de dosificación del material 20% del cañón.

Las temperaturas de cada zona dependen del tipo de material que vaya a ser utilizado. Este módulo debe trabajar en conjunto con el módulo de “Energizar circuito de potencia” y con el módulo de “Controlar sistema”; el cual, de acuerdo a las necesidades de temperatura de cada zona, activará el contactor correspondiente.

3.4.6 MÓDULO “INYECTAR MATERIAL PLASTIFICADO”

Este módulo, así como sus submódulos, comprenden la parte mecánica de la máquina y abarcan tanto mecanismos, como actuadores principales (pistones y motor hidráulico).

En este módulo no es necesario aplicar cambios significativos, más bien es indispensable la reparación y mantenimiento del sistema mecánico que conforma la máquina.

Los problemas que se pueden encontrar en este módulo y sus acciones correctivas se muestran en el **Cuadro 10**.

Al aplicar las acciones correctivas establecidas, se puede contar con un sistema mecánico totalmente funcional para realizar todas las tareas del módulo de manera apropiada. En la **Figura 94**, **Figura 95**, **Figura 96** y **Figura 97** se muestran los problemas que se indicaron en cuanto al módulo de “Inyectar material plastificado”.

Cuadro 10. Problemas y acciones correctivas para el módulo “Inyectar material plastificado”

Problemas	Acciones correctivas
Espiral de tornillo (canales) desgastados y picados	Enderezado del tornillo y refrentado del espiral
Válvula antirretorno y punta de tornillo dañados	Construcción de nueva punta
Eje de motor hidráulico trabado y con picaduras	Rectificado de chavetero y reemplazo de chaveta
Pistón de inyección trabado	Mantenimiento del pistón (cambio de retenedores, lubricación, refrentado para eliminar irregularidades en la superficie)
Reguladores de carrera de boquilla destruidos	Enderezado del eje y construcción de bocines nuevos
Pistones y mecanismos sucios	Limpieza y lubricación general
Válvulas de alivio dañadas	Inspección para posible reparación



Figura 94. Chavetero del eje del motor hidráulico.



Figura 95. Eje descentrado.



Figura 96. Reguladores de carrera destruidos.



Figura 97. Cañón, tornillo, válvula antirretorno y boquilla.

3.4.7 SISTEMA HIDRÁULICO ÍNTEGRO

La alimentación de aceite a todos los actuadores se debe dar de forma apropiada para un buen desempeño del sistema, para ello es necesario contar con un circuito hidráulico que no presente fallas.

Las fugas de aceite producen caídas de presión, además puede darse el ingreso de aire al sistema y de esta manera pueden existir fallas en las válvulas o en los mismos actuadores. El aire no permite que las válvulas direccionales se posicionen de manera correcta.

La calidad del aceite también afecta al trabajo de la máquina, éste pierde viscosidad con el tiempo, se vuelve espumoso y no es capaz de transportar la fuerza necesaria hacia los actuadores. Se pudo encontrar muchos sedimentos en el tanque, y el filtro de aceite se encuentra totalmente sucio tal como se muestra en **Figura 98**.



Figura 98. Filtro de aceite de la máquina.



Figura 99. Aceite contaminado.

Entonces, tanto el aire como la espuma y los sedimentos, reducen la capacidad de trabajo de la máquina. La presencia de aire en un fluido trae aparejado: cavitación de la bomba, vibraciones y con el consiguiente riesgo de falla mecánica y, finalmente, debido a que el aire es compresible, se tendrá un comportamiento irregular en la transmisión de potencia en los sistemas hidráulicos. (Echeverría)

El origen de la espuma en el fluido puede deberse a las siguientes causas:

- Presencia de agua en el fluido.

- Presencia de grasa en el fluido, estas generan alta cantidad de espuma.
- Presencia de polvo y suciedad en el fluido.
- Contaminación con otros lubricantes.

En la inyectora de plástico, se puede apreciar que el aceite es muy espumoso, existen muchos sedimentos, limallas metálicas, basura, pedazos de plástico.

Con el fin de tener un correcto funcionamiento del sistema hidráulico, se van a realizar las siguientes tareas:

- a) Identificación del circuito hidráulico.
- b) Vaciado y limpieza del tanque, y filtrado de aceite.
- c) Limpieza prolija de elementos: filtro, válvulas, manifold, mangueras y tuberías.
- d) Cambio de empaques en válvulas direccionales.
- e) Sangrado del sistema hidráulico.

Estas tareas aseguran un trabajo apropiado del sistema hidráulico, donde se pueda tener la presión necesaria para el proceso de inyección de plástico.

CAPÍTULO IV

SISTEMA MECÁNICO

4.1 GENERALIDADES

Este capítulo incluye tres partes importantes en cuanto al sistema mecánico de la máquina, esto es, la reparación de elementos defectuosos, la evaluación de cada uno de los actuadores del sistema hidráulico, y el diseño del sistema de enfriamiento de la máquina y de las piezas.

El sistema mecánico de la máquina inyectora de plástico incluye los siguientes módulos:

- “Alimentar materia prima”
- “Plastificar la materia prima”
- “Inyectar el material plastificado”, en el cual constan los submódulos para el enfriamiento de máquina y piezas.

En el Capítulo Reconocimiento de la Máquina se establecieron los problemas a nivel mecánico que posee la inyectora de plástico, y en el Capítulo Diseño Conceptual constan de manera resumida los problemas y sus respectivas acciones correctivas.

4.2 SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS MECÁNICOS

4.2.1 TORNILLO RECIPROCANTE

Cuando se desmontó el cañón de la máquina de inyección, se constató que el tornillo recíprocante se encontraba pandeado, y además los canales presentaban desgaste e incluso algunos estaban deformados y rotos. Estos problemas aparecen cuando se fuerza al tornillo a girar cuando aún el plástico no se encuentra totalmente fundido.

Entonces, la primera acción correctiva que se tomó fue mandar a realizar el enderezado del tornillo; con esto, se evitará la vibración del motor cuando el tornillo gire. En cuanto al daño de los canales, se mandó a rellenar los que

se encontraban rotos y a refrentar los que se encontraban deformados y desgastados. El tornillo con las reparaciones realizadas se aprecia en la Figura 100.



Figura 100. Tornillo recíprocante reparado.

4.2.2 EJE DEL MOTOR HIDRÁULICO

Al probar el funcionamiento del motor hidráulico, se pudo observar que éste cabeceaba, lo cual implica algunos riesgos en su puesta en marcha como: pandear el tornillo recíprocante, causar rozamiento entre piezas y desprendimiento de su acople.

Al desmontar el motor hidráulico se pudo determinar que el ajuste no era el adecuado, ya que el chavetero había perdido su forma por las fuerzas cortantes a las que se ve sometido en el momento del giro del motor. En la

Figura 101 se aprecia el daño en el chavetero.



Figura 101. Eje del motor hidráulico y su chavetero.

Además, para el centrado del motor hidráulico se utiliza un prisionero el cual este actuator a la máquina. El prisionero no se encontraba ajustado correctamente, lo que junto con el problema del chavetero causan el cabeceo del motor.

Para solucionar este problema, se hizo un chavetero de mayor ancho y se colocó una chaveta acorde. Al momento del montaje del motor, se ajustó de manera apropiada el prisionero y se comprobó el correcto funcionamiento del módulo “Trasladar el material plastificado hasta la boquilla”. En la **Figura 102** se muestra el rectificado de la chaveta para conseguir un buen acople, y en la **Figura 103** se aprecia el eje, y su nueva chaveta.



Figura 102. Proceso de rectificado de la chaveta.



Figura 103. Eje de motor hidráulico luego de reparación.

4.2.3 PISTÓN DE INYECCIÓN

Al momento de activar la electroválvula del pistón de inyección en una de las pruebas, éste se trabó, lo que produjo un gran esfuerzo sobre el eje del motor hidráulico y causó que éste se desprendiera junto con el pistón, del soporte del cilindro de inyección como se muestra en la **Figura 104** y **Figura 105**.



Figura 104. Motor hidráulico y pistón de inyección.



Figura 105. Desprendimiento del motor y pistón del soporte.

Entonces se procedió a la extracción del motor hidráulico y se quitaron los pernos que sujetaban al tornillo recíprocante para dejar aislado al pistón de inyección, como se aprecia en la **Figura 106**.

Se comprobó que la superficie del pistón de inyección se encontraba bastante irregular y con varias hendiduras debido al paso del tiempo y a los ciclos de trabajo realizados.



Figura 106. Pistón de inyección y tornillo recíprocante.

Por lo cual, se decidió hacer un refrentado del pistón (como se aprecia en la **Figura 107**) y el cambio de los retenedores que estaban desgastados. Una vez hecho esto, se volvió a montar todo el conjunto en la máquina.



Figura 107. Refrentado del pistón de inyección.

4.2.4 REGULADORES DE CARRERA DEL PISTÓN DE BOQUILLA

Los reguladores de carrera del pistón de boquilla, son utilizados para establecer la distancia hasta la cual la boquilla avanza o retrocede de los moldes. Esto permite que la punta del cañón no choque contra los moldes, o que éste se aleje demasiado.

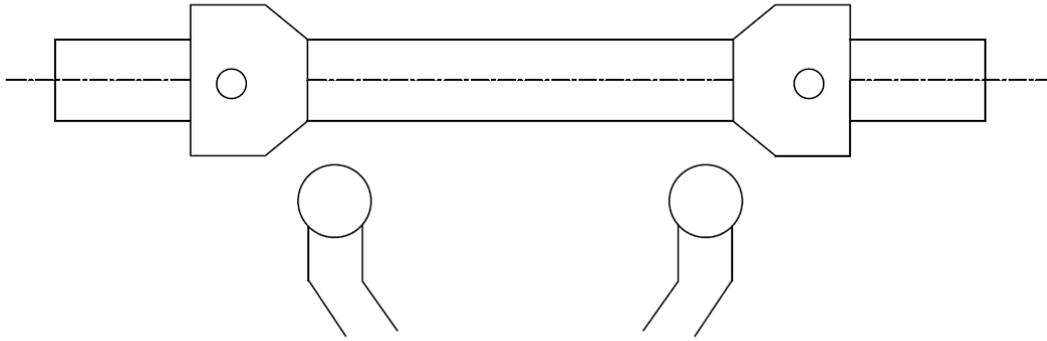


Figura 108. Eje para calibrar finales de carrera de boquilla.

En la **Figura 108**, se puede observar cómo funciona la regulación. Existen dos bocines que se mueven sobre el eje cuando se da el desplazamiento de la estructura que soporta al cañón. Cuando el bocín activa un final de carrera se envía una señal al PLC que indica que la boquilla ha llegado al tope de su carrera positiva o negativa.

Este eje se encuentra pandeado y los bocines se encuentran dañados, lo que impide una detección precisa de la posición de la boquilla. En la **Figura 109** se muestra el estado de estos reguladores.



Figura 109. Daños en el eje de regulación de finales de carrera



Figura 110. Eje reparado y bocines nuevos.

El eje se enderezó y se fabricaron nuevos bocines, en la **Figura 110** se muestra la implementación de esta solución.

4.2.5 VÁLVULAS DE ALIVIO

En el manifold de la máquina de inyección se encuentran dos válvulas de alivio, las mismas que eran incapaces de regular la presión del sistema hidráulico. Una válvula se encontraba totalmente trabada, y la perilla de regulación no giraba hacia ningún lado. La otra válvula no estaba trabada, sin embargo, tampoco cumplía su función.

Es así, que se tienen dos alternativas: la primera, es desarmar y reparar las válvulas; y la segunda es comprar válvulas nuevas para reemplazarlas. El costo de una válvula de características semejantes a la original tiene un costo de aproximadamente 600 dólares (Dato obtenido de “Hidromag”, empresa de productos y servicios en sistemas hidráulicos), sin tomar en cuenta que se necesitaban accesorios adicionales para el acople de las mismas al manifold. Por tal motivo, se decidió primero intentar la reparación de las mismas, a pesar de que en los lugares especializados en sistemas hidráulicos consultados, se nos informó que este tipo de válvulas no pueden ser reparadas luego de haber sufrido algún daño.

Entonces, se desarmaron las válvulas y se agregó lubricante WD-40 con el fin de destrabar los componentes. Además, se buscaron los datos técnicos de las válvulas con el número de serie con el fin de determinar cómo es su funcionamiento (Ver Anexo C). Al constatar en los documentos de información de las válvulas que no hacía falta ninguna pieza, surgió la

idea de que la falla podría estar en el resorte interno de la válvula, ya que por los ciclos de trabajo pudo haber perdido sus propiedades. Por esta razón, se mandó a elaborar dos resortes de igual medida y con el mismo material que los originales para reemplazarlos.

Finalmente, se comprobó el funcionamiento de las válvulas y se observó que cumplían su función correctamente. En la **Figura 111** se puede apreciar el resorte que se cambió de las válvulas reguladoras y permitió su correcto funcionamiento.



Figura 111. Válvulas reguladoras de presión

4.2.6 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Para solucionar los problemas del sistema hidráulico es necesario la realización de ciertas tareas en forma secuencial. Dichas tareas se enunciaron en el Capítulo Diseño Conceptual, por lo que a continuación se describirá cada una.

4.2.6.1 IDENTIFICACIÓN DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

En la ejecución de esta tarea fue necesario identificar cada elemento perteneciente al sistema hidráulico, incluyendo cada una de las mangueras y tuberías. Una vez hecho esto, se construyó un plano hidráulico de la máquina de inyección (Ver Anexo B).

Para determinar las características de cada elemento del circuito, se procedió a analizar las placas técnicas, y también los números de serie para la búsqueda de catálogos en internet de cada uno de éstos.

4.2.6.2 VACIADO Y LIMPIEZA DEL TANQUE, Y FILTRADO DE ACEITE

Se procedió a vaciar el tanque y a limpiarlo para extraer todas las partículas ajenas al sistema. Posteriormente, se realizó el filtrado del aceite de la máquina para luego colocarlo nuevamente en el tanque.



Figura 112. Filtrado del aceite hidráulico.

En la **Figura 112** se muestra el proceso de extracción del aceite del depósito para luego ser filtrado.

4.2.6.3 LIMPIEZA PROLIJA DE ELEMENTOS

Con el fin de realizar esta tarea, se desarmó el sistema hidráulico en su totalidad, de esta manera se pudo limpiar cada elemento y extraer todas las impurezas impregnadas en éstos. Se utilizó una pistola de lubricación para limpiar cada tubería y orificio que componen el sistema hidráulico. En la **Figura 113** y **Figura 114** se muestra la identificación de las tuberías y mangueras con sus respectivas conexiones al manifold. El estado del filtro de aceite y del manifold antes del mantenimiento se muestra en la **Figura 115** y **Figura 116** respectivamente.



Figura 113. Identificación de tuberías y mangueras.



Figura 114. Identificación conexiones en manifold.



Figura 115. Estado del filtro de aceite antes de su mantenimiento.



Figura 116. Mantenimiento del manifold

4.2.6.4 CAMBIO DE EMPAQUES EN VÁLVULAS DIRECCIONALES

Las válvulas direccionales montadas sobre el manifold poseían fugas, por lo cual se decidió desmontarlas y cambiar sus empaques, para asegurar un buen sello entre las uniones de las válvulas y el manifold. En la **Figura 117** se indica la ejecución de esta tarea.



Figura 117. Cambio de empaques en válvulas direccionales.

4.2.6.5 SANGRADO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

Al momento de completar el re-armado del circuito hidráulico es importante sangrar el sistema, esto es, quitar el aire atrapado en las tuberías y en los elementos para evitar caídas de presión y fallas en el sistema.

En las uniones de mangueras, tubos, manifold, y en los canales de alimentación de aceite de los pistones y motor, se procedió a aflojar los conectores, y luego se puso en marcha a los actuadores; con esto, el aire

poco a poco salió del sistema. Este proceso se debe realizar de una manera ordenada para asegurarse que el aire se encuentra totalmente fuera del circuito hidráulico.

4.3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

4.3.1 GENERALIDADES

El diseño de este sistema, comprende el enfriamiento tanto para la máquina como para los moldes y también la entrada de material desde la tolva hasta el cañón.

El sistema de enfriamiento será cambiado por completo, solamente se utilizará el intercambiador de calor de tubos y carcasa original de la máquina luego de haberlo evaluado y comprobar que éste sea aplicable para el proceso.

Antes de diseñar la configuración de los elementos y de las tuberías que comprenden el sistema de enfriamiento, es indispensable analizar las características de transferencia de calor del sistema en sus puntos críticos.



Figura 118. Ciclo del aceite hidráulico en la máquina de inyección.

En la **Figura 118**, se muestra el ciclo por el cual el aceite hidráulico fluye desde su entrada a la bomba, hasta su retorno al tanque.

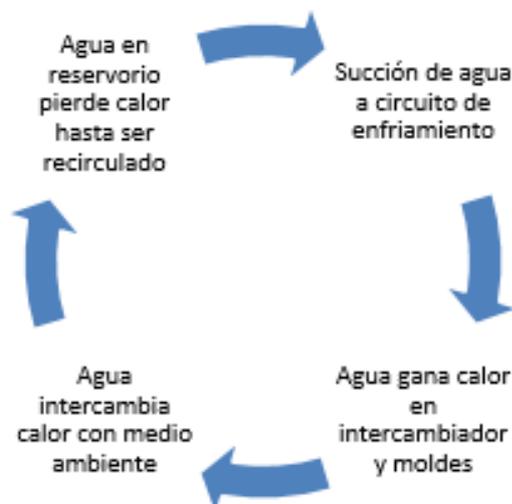


Figura 119. Ciclo del agua en el sistema de enfriamiento.

El proceso de circulación del agua como se muestra en la **Figura 119**, es la que se propone como diseño. Para esto, se necesitan realizar los respectivos cálculos y/o simulaciones para determinar las características que la bomba debe tener; y además, comprobar que el caudal de agua de la bomba suministrada por el cliente sea suficiente para el enfriamiento del sistema y moldes.

El diseño del circuito del agua para enfriamiento debe ser pensado de tal manera que el agua llegue a la temperatura más baja hacia los tres componentes a enfriar. Esto implica que se necesita un sistema en paralelo; es decir, que el caudal máximo que la bomba provea, debe ser dirigido hacia todas las partes a una temperatura homogénea. Es así que se dispuso que la mitad del caudal de la bomba sea dirigida hacia el intercambiador, mientras que la otra mitad, hacia los moldes y al enfriamiento de la entrada de alimentación hacia el cañón.

Originalmente en la máquina existía un distribuidor de agua que tenía como objetivo conducir el flujo de agua hacia los moldes y hacia la entrada del cañón. El sistema se conservará construyendo un distribuidor diferente, pero que cumpla con el mismo objetivo.

El circuito que se implementará se muestra en la **Figura 120**. El circuito empieza en el reservorio de agua, y para hacer circular el agua de

enfriamiento se utilizará la bomba suministrada por el dueño de la máquina. A continuación, se colocará una válvula tipo bola para cerrar o abrir el paso del líquido hacia el sistema. Esto permitirá realizar mantenimientos, o detener la circulación del fluido si existe algún problema.

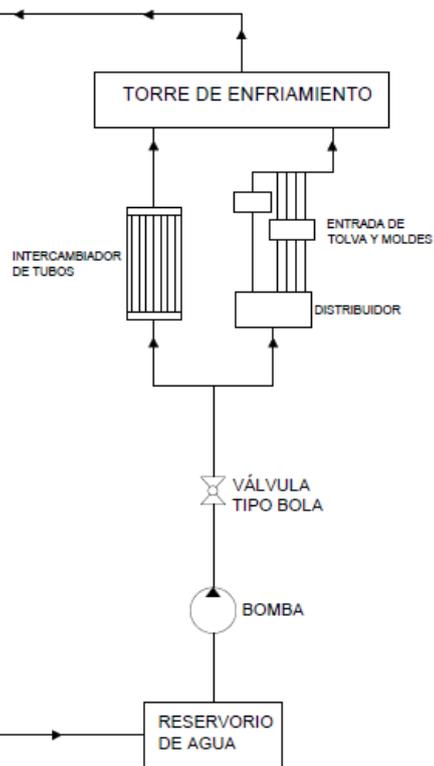


Figura 120. Circuito de enfriamiento.

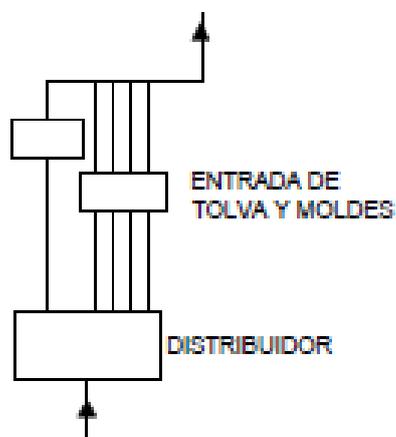


Figura 121. Distribuidor para moldes y entrada de tolva.

Luego, se colocará el distribuidor, el cual debe poseer llaves de paso para regular el caudal de agua hacia los moldes y hacia la entrada de la tolva como se observa en la **Figura 121**.

Paralelamente, se tiene la conexión hacia el intercambiador de calor de tubo y carcaza, es aquí donde se refrigera el aceite hidráulico de la máquina inyectora.

Posteriormente, el agua proveniente del distribuidor y del intercambiador desemboca en un sistema de enfriamiento, que como ya se indicó, utiliza el principio de las torres de enfriamiento.

4.3.2 ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL INTERCAMBIADOR EXISTENTE

En la máquina de inyección se encuentra un intercambiador de tubo y coraza 1-1 (1 paso por coraza y 1 por tubos), en el cual el fluido caliente (aceite hidráulico) fluye a través de la coraza, mientras que el fluido frío (agua) fluye a través de los tubos. Es así, que se pretende determinar si éste intercambiador es suficiente para el enfriamiento del aceite hidráulico del sistema.

Para realizar el análisis de este intercambiador se tomó como referencia el método de Kern, el cual propone una serie de pasos que nos ayuda a determinar las capacidades de un intercambiador de calor, estos pasos se indican a continuación:

- I. ¿Qué coeficiente U_c (coeficiente global de transferencia de calor) puede “lograrse” por los dos fluidos como resultado de su flujo y sus coeficientes de película individuales h_{io} y h_o ?
- II. Del balance de calor (entre los fluidos frío y caliente) $Q = WC(T_1 - T_2) = wc(t_2 - t_1)$, del área conocida A , y de la diferencia verdadera de temperatura para las temperaturas de proceso, se obtiene un valor de diseño o coeficiente de obstrucción U_D . U_c debe exceder a U_D suficientemente, de manera que el factor de

obstrucción, que es una medida del exceso de superficie, permita la operación del intercambiador por un periodo de servicio razonable.

III. La caída de presión permitida para las dos corrientes no debe excederse.

Si el intercambiador de calor cumple con estos requerimientos, se puede decir que es apropiado para las condiciones de proceso planteadas.

4.3.2.1 TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA EL ACEITE HIDRÁULICO

En un sistema hidráulico debe tomarse en cuenta los siguientes factores para evitar el sobrecalentamiento del aceite y por tanto un mal desempeño de la máquina. (Majumdar, 2001)

- a) Forma y tamaño del tanque de aceite
- b) Uso apropiado de un intercambiador de calor
- c) Volumen apropiado de aceite en el tanque
- d) Optimización del diseño del sistema hidráulico para reducir calor
- e) Uso apropiado de componentes y su localización

El calor se genera en un sistema hidráulico debido a la fricción producida por el flujo forzado del aceite a través de bombas, tuberías, válvulas de alivio, cilindros, etc. El exceso de temperatura hace que la viscosidad del fluido hidráulico disminuya por debajo del nivel óptimo, lo que tiende a descomponer y oxidar el aceite, y que llevará a que se produzcan depósitos de barniz en todo el sistema. Estos depósitos causarán el taponamiento de válvulas, provocando fallas en su operación.

Asimismo, si la temperatura del aceite es muy baja, la viscosidad del aceite es mayor, lo mismo que aumenta la probabilidad de cavitación en la bomba. También, el aceite no fluirá fácilmente, lo que ocasiona un funcionamiento lento de los actuadores.

Rosato et al. (2000) indican que el rango de temperaturas que se debe manejar en un sistema hidráulico está entre 49°C y 65°. Majumdar (2001) recomienda en cambio que debe mantenerse a una temperatura de 50°C a 55°C, con lo que se alcanzaría el máximo tiempo de vida del aceite; además de que por cada 5°C a 7°C sobre los 50°C, la vida útil del aceite es disminuida a la mitad. Bryce (1999), proporciona un rango de temperaturas más específico para las máquinas de inyección de plástico que es de 49°C \pm 2.7°C.

En cuanto a los enfriadores de aceite, según Martins en “Cuidado y Mantenimiento de Fluidos Hidráulicos”; la caída normal de temperatura para la mayoría de los intercambiadores de calor es de 4°C a 7°C.

4.3.2.2 DETERMINACIÓN DE DATOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL INTERCAMBIADOR

- **ACEITE HIDRÁULICO:**

Se realizó la medición de las temperaturas que alcanza el aceite de la máquina cuando ésta se encontraba en operación durante alrededor de 6 horas sin ningún tipo de enfriamiento. Estos datos se tomaron mediante el forzado de los actuadores siguiendo la secuencia para la inyección de plástico. El pico de temperatura que alcanzó la máquina oscilaba entre 52 y 53°C. Entonces con los rangos referenciales de temperatura mencionados en el párrafo anterior, se impuso que la temperatura óptima del aceite debe ser de 50°C. Lo que significa que el intercambiador de calor debe ser capaz de enfriar en 3°C al caudal de aceite que ingrese.

Se pudo determinar el flujo másico máximo del aceite a través del intercambiador, mediante la medición del caudal tal como se muestra en la **Figura 122**. Para esto se tomó un volumen de referencia de 3 litros y se observó el tiempo en que tardaba en llenarse el recipiente, que fue de un promedio de 2.347 segundos.



Figura 122. Determinación del caudal de aceite a través del intercambiador.

- **AGUA:**

En lo que respecta al agua, se determinó que la temperatura media es de 18°C, por lo que este valor se asume que será la temperatura a la que el agua ingresa al intercambiador.

En vista de que la bomba de agua a utilizar en el sistema fue suministrada por el cliente, se tenía como dato el caudal de agua máximo que ésta ofrece, que es de 38.3 litros por minuto (2.3 m³/h). Entonces, como ya se mencionó, se utilizará la mitad de este caudal para el enfriamiento del aceite (intercambiador).

- **INTERCAMBIADOR DE CALOR:**

El intercambiador de calor fue separado de la máquina de inyección para poder determinar todas sus características, como se aprecia en la **Figura 123**. Para realizar su evaluación de rendimiento es necesario conocer toda la geometría de cada parte que lo conforma. (Ver Anexo D)



Figura 123. Determinación de las características del intercambiador.

4.3.2.3 PROCESO DE CÁLCULOS

- **DATOS**

Con lo explicado anteriormente, se tiene lo siguiente:

a) **Datos del fluido frío (agua)**

$T_{ci} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura de entrada del agua

$Cp_c = 4181 \frac{J}{Kg * K}$ Capacidad calorífica del agua a temperatura calórica

$Q_c = 1.15 \frac{m^3}{hr}$ Caudal de la bomba de agua destinado al intercambiador

$\rho_c = 1000 \frac{kg}{m^3}$ Densidad del agua

b) **Datos del fluido caliente (aceite)**

$Q_{ac} = 76.7 \frac{L}{min}$ Caudal máximo de fluido a enfriar

$T_{hi} = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura de entrada al intercambiador

$T_{ho} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura deseable del aceite a la salida del intercambiador

Para el aceite hidráulico se necesita determinar el calor específico y la densidad para el proceso de cálculos, estos cambian de acuerdo a la temperatura; por tal motivo, para obtener las propiedades del fluido hidráulico se obtuvo una temperatura media (entre la temperatura de entrada y salida), y con este dato se realizó una interpolación para determinar sus propiedades, obteniendo los siguientes resultados:

Calor específico del aceite:

$$T_1 = 320 \text{ K} \rightarrow Cp_1 = 1993 \frac{J}{Kg * K}$$

$$T_2 = 330 \text{ K} \rightarrow Cp_2 = 2035 \frac{J}{Kg * K}$$

El calor específico para la temperatura promedio, obtenida con la interpolación es:

$$T_3 = 324.5 \text{ K} \rightarrow Cp_h = 2011.9 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$$

Densidad del aceite:

$$T_1 = 320 \text{ K} \rightarrow \rho_1 = 871.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_2 = 320 \text{ K} \rightarrow \rho_2 = 865.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad para la temperatura promedio, obtenida con la interpolación es:

$$T_3 = 324.5 \text{ K} \rightarrow \rho_h = 869.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Estos datos de calor específico y densidad a ciertas temperaturas del aceite hidráulico se tomaron del Apéndice A de Incropera (1999).

En cuanto al agua, la variación de calor específico y densidad es mínima en el rango que se está manejando, por lo que se asumió que estas propiedades son constantes.

En lo que respecta al intercambiador de calor, luego de realizar las mediciones correspondientes se obtuvieron los siguientes datos:

c) Datos del intercambiador

$D_i = 8 \text{ mm}$	Diámetro interno del tubo
$D_e = 14 \text{ mm}$	Diámetro externo del tubo (incluido aletas)
$D_o = 9.5 \text{ cm}$	Diámetro interno de la coraza
$D_{tl} = 12 \text{ mm}$	Diámetro del tubo liso
$N_t = 19$	Número de tubos del intercambiador
$e_t = 3 \text{ mm}$	Espesor del tubo
$L = 377 \text{ mm}$	Largo de los tubos
$b = 0.3 \text{ mm}$	Ancho de la aleta

• **CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR**

a) **Área transversal de flujo por tubos**

Como primer paso, se calcula el área transversal total por la que va a fluir el agua para el enfriamiento. Kern (1965) propone una fórmula para determinar el área de flujo del lado de los tubos, esta es la ecuación 1.

$$a_t = \frac{N^\circ \text{ de tubos} * \text{área de flujo/tubo}}{N^\circ \text{ de pasos}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$a_t = \frac{19 * \pi * D_i^2}{4} = 955.04 \text{ mm}^2$$

b) **Flujo másico de agua**

Antes de obtener el flujo másico, se necesita comprobar que la velocidad del agua en los tubos del intercambiador no sea demasiado alta, con el criterio encontrado en “Transporte de Momentum y Calor” (Dondé, 2005) en el que recomienda una velocidad para agua dentro de los tubos no mayor a 2.5 m/s.

La ecuación para obtener la velocidad de un fluido es la ecuación 2:

$$V_c = Q_c / a_t \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, Q es el caudal y a_t es el área transversal de flujo. Entonces, se tiene que:

$$V_c = 0.334 \text{ m/s}$$

Ahora, la ecuación para obtener el flujo másico es la siguiente:

$$m_c = \rho_c * V_c * a_t \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, ρ_c es la densidad del fluido y V_c es la velocidad del fluido. Entonces, se tiene que:

$$m_c = 0.319 \text{ kg/s}$$

c) Flujo másico del aceite

Para obtener el flujo másico también se puede utilizar la ecuación 4:

$$m_h = Q_{ac} * \rho_h \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde, Q_{ac} es el caudal y ρ_h es la densidad del fluido.

$$m_h = 1.11 \text{ Kg/s}$$

d) Cantidad de calor en base al fluido caliente que se necesita disipar

La ecuación de balance de calor es la siguiente:

$$\text{Calor perdido} = \text{Calor ganado}$$

$$q = m_h * cp_h * (T_{hi} - T_{ho}) = m_c * cp_c * (T_{co} - T_{ci}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde, q es el calor ganado o perdido, cp es el calor específico y T es la temperatura. Los subíndices h y c se refieren al fluido caliente y frío respectivamente; y los subíndices i y o se refieren a entrada y salida en el intercambio de calor.

En base a la ecuación 6 de transferencia de calor del fluido caliente se obtiene el valor de calor que se necesita disipar.

$$q = m_h * cp_h * (T_{hi} - T_{ho}) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$q = 6705.11 \text{ W}$$

e) Temperatura de salida del fluido frío

En base al calor del lado del fluido frío, se puede determinar la temperatura de salida del agua del intercambiador.

$$q = m_c * cp_c * (T_{co} - T_{ci})$$

$$T_{co} = \frac{q}{m_c * cp_c} + T_{ci}$$

$$T_{co} = 23.03 \text{ }^\circ\text{C}$$

f) Diferencia de temperaturas media logarítmica

Se va a usar la configuración en contraflujo, debido a que Kern (1965) enuncia que se producen mayores diferencias de temperaturas cuando las

corrientes de proceso están en contracorriente, es decir que el intercambio de calor es más eficiente. La ecuación para determinar la diferencia de temperaturas media logarítmica para un flujo en contracorriente es la ecuación 7.

$$DT_m = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi}-T_{co}}{T_{ho}-T_{ci}}\right)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$DT_m = 30.98 \text{ } ^\circ\text{C}$$

g) Temperatura calórica

La temperatura calórica es el valor promedio al que se encuentran los fluidos frío y caliente, que se toma en cuenta para determinar sus propiedades.

$$T_c = \frac{T_i + T_o}{2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Con la ecuación 8, se puede determinar la temperatura calórica de los dos fluidos, éstos son agua y aceite; como sigue a continuación.

Temperatura calórica del aceite:

$$T_{c_h} = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} = 51.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 324.7 \text{ K}$$

Temperatura calórica del agua:

$$T_{c_c} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} = 20.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 293.7 \text{ K}$$

• ANÁLISIS DEL FLUIDO FRÍO

a) Masa velocidad

La masa velocidad se calcula con la ecuación 9.

$$G_{tc} = \frac{m_c}{a_t} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$G_{tc} = 334.19 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

b) Viscosidad del fluido frío a temperatura calórica

Se debe tener en cuenta que la viscosidad de un fluido depende de la temperatura en la que se encuentre, para este caso se recurre a tablas donde se encuentran los valores de viscosidad a diferentes temperaturas, y se interpola para encontrar un valor aproximado a la temperatura calórica que se necesita. Los valores de viscosidad según Incropera (1999) se muestran a continuación.

$$T1_{\mu C} = 290 \text{ K} \quad \rightarrow \quad \mu_{C1} = 1080 * 10^{-6} \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$T2_{\mu C} = 295 \text{ K} \quad \rightarrow \quad \mu_{C2} = 959 * 10^{-6} \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2}$$

Interpolando para la temperatura calórica del fluido frío se tiene:

$$\mu_{tc} = 995 * 10^{-6} \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2}$$

c) Número de Reynolds

Es necesario calcular el número de Reynolds para determinar si el flujo es laminar o turbulento. En este caso se aprecia que el flujo del agua dentro de los tubos es turbulento, ya que el número es mayor que 2400 lo que implica una mayor transferencia de calor.

$$Re_{tc} = \frac{Di * G_{tc}}{\mu_{tc}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$Re_{tc} = 2686.96$$

d) Conductividad térmica

Mediante interpolación se calcula la conductividad térmica a la temperatura calórica de la corriente fría. Los datos de conductividad térmica según Incropera (1999) son:

$$T1_{kc} = 290 \text{ K} \quad \rightarrow \quad kc1 = 598 * 10^{-3} \text{ W/m} * \text{K}$$

$$T2_{kc} = 295 \text{ K} \quad \rightarrow \quad kc2 = 606 * 10^{-3} \text{ W/m} * \text{K}$$

$$\text{Interpolando se tiene,} \quad k_{tc} = 603.62 * 10^{-3} \text{ W/m} * \text{K}$$

e) **Número de Prandtl**

Con el calor específico, la conductividad térmica y la viscosidad a temperatura calórica, es posible determinar el número de Prandtl.

Este número nos indica si el calor se difunde rápido o lento según la velocidad del fluido.

$$Pr_{tc} = \frac{c p_c * u_{tc}}{k_{tc}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$Pr_{tc} = 6.89$$

f) **Coeficiente de convección pelicular para el lado de los tubos**

Cao (2004) indica que para el caso particular del agua circulando en régimen turbulento se tiene la siguiente correlación:

$$h_{it} = 1423 * (1 + 0.0146 * t) * \frac{v^{0.8}}{Di^{0.2}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde, h_{it} (W/m²*K) es el coeficiente de convección pelicular, t (°C) es la temperatura media del agua, v (m/s) es la velocidad y Di (m) es el diámetro interno de los tubos. Con esto se tiene que:

$$h_{it} = 1977.47 \text{ W/m}^2 * K$$

• **ANÁLISIS DEL FLUIDO CALIENTE**

a) **Área transversal**

Kern (1965) propone que el área transversal de flujo para el lado de la coraza está dada por:

$$a_s = \frac{DI * C' B}{P_T} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde, DI es el diámetro interno de la coraza, C' es el espacio entre diámetros de tubos, B es el espaciado de los bafles o deflectores y P_T es la distancia entre centros de los tubos. Observe la **Figura 124**.

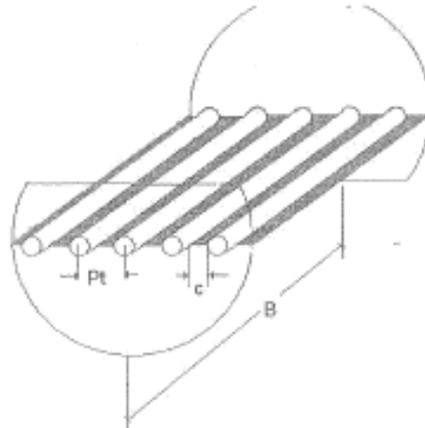


Figura 124. Esquema de tubos y bafles.

Fuente: Cao, E. (2004). Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos. Pág. 139

Aplicando la ecuación 13, se tiene que:

$$a_s = 738.41 \text{ mm}^2$$

b) Masa velocidad

Se aplica la ecuación 9 con los datos del fluido caliente, se obtiene que:

$$G_{sh} = \frac{m_h}{a_s} = 1504.46 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

c) Viscosidad del fluido a temperatura calórica

Los datos de viscosidad y temperatura según Incropera (1999) son los siguientes.

$$T1_{\mu h} = 320 \text{ K} \quad \rightarrow \quad \mu h_1 = 14.1 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

$$T2_{\mu h} = 330 \text{ K} \quad \rightarrow \quad \mu h_2 = 8.36 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

Interpolando, se tiene que:

$$\mu_{sh} = 11,52 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

d) Cálculo del diámetro equivalente

Cao (2004) menciona que las expresiones para calcular los coeficientes peliculares pueden ser generalizadas para el caso de conductos de sección

no circular, mediante el reemplazo del diámetro en las expresiones de los números de Reynolds y Nusselt, por un diámetro equivalente.

Según Kern (1965), el diámetro equivalente para el lado de la coraza se toma como cuatro veces el radio hidráulico obtenido por el arreglo dispuesto en el cabezal de tubos.

$$Deq = 4 * Rh \quad \text{Ecuación 14}$$

Siendo Rh el radio hidráulico, que a su vez se define como:

$$Rh = \frac{\text{Área de flujo}}{\text{Perímetro a través del cual se transfiere calor}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Kern (1965) también hace una distinción en cuanto al arreglo de los tubos, para el arreglo en cuadro se tiene:

$$Deq = \frac{4*(P_T^2 - \pi*d_o^2/4)}{\pi*d_o} \quad \text{Ecuación 16}$$

Y para un arreglo triangular se tiene:

$$Deq = \frac{4*(0.5*P_T*0.86*P_T - 0.5*\pi*d_o^2/4)}{0.5*\pi*d_o} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde, P_T es el espaciado de los tubos y d_o es el diámetro exterior del tubo. En la **Figura 125** se muestra un esquema del arreglo en cuadro y triangular con las dimensiones que se deben considerar.

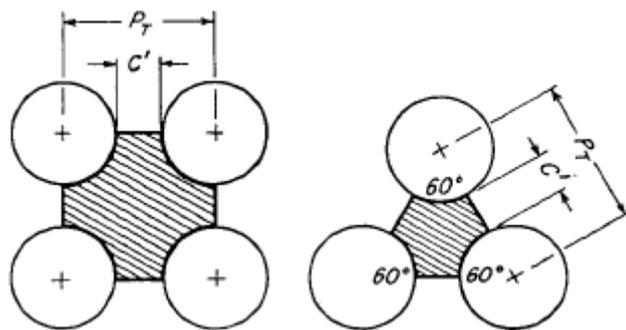


Figura 125. Arreglo en cuadro y triangular.

Fuente: Kern, D. (1965). Procesos de Transferencia de Calor. México: McGraw-Hill. Pág. 173

Aplicando la ecuación para arreglo triangular se tiene:

$$Deq = 10.227 \text{ mm}$$

e) Número de Reynolds

Al aplicar la ecuación para determinar el número de Reynolds, se observó que el flujo de aceite en la coraza es de régimen laminar.

$$Re_{sh} = \frac{Deq * G_{sh}}{\mu_{sh}} = 133.6$$

f) Conductividad térmica

Se determina la conductividad térmica del fluido hidráulico a la temperatura calórica. Estos valores según Incropera (1999) son los siguientes.

$$T1_{kh} = 320 \text{ K} \rightarrow kh1 = 143 * 10^{-3} \text{ W/m * K}$$

$$T2_{kh} = 330 \text{ K} \rightarrow kh2 = 141 * 10^{-3} \text{ W/m * K}$$

Interpolando, tenemos que:

$$k_{sh} = 142.1 * 10^{-3} \text{ W/m * K}$$

g) Número de Prandtl

$$Pr_{sh} = \frac{cp_h * \mu_{sh}}{k_{sh}} = 1630.62$$

El número de Prandtl alto, y un flujo laminar, es un indicador de que la difusión de la cantidad de movimiento lineal en el fluido será mayor que la de la energía en forma de calor. (López P., 2004)

h) Coefficiente de convección pelicular del lado de la carcaza

La correlación sugerida por Kern (1965) para una carcaza con bafles segmentados un 25% es:

$$Nu_{sh} = \frac{ho * Deq}{k} = 0.36 * Re^{0.55} * Pr^{0.33} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde, ho es el coeficiente de convección pelicular del lado de la carcaza, Deq es el diámetro equivalente, k es la conductividad térmica, Re

es el número de Reynolds y Pr es el número de Prandtl. Este se conoce como el número de Nusselt (Ecuación 18). Entonces se tiene que:

$$Nu_{sh} = 61.034$$

Con esto, es posible calcular el coeficiente de convección pelicular del lado de la carcaza con la ecuación 19.

$$h_{is} = Nu_{sh} * \frac{k_{sh}}{Deq} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$h_{is} = 848.01 \text{ W/m}^2 * K$$

- **SUPERFICIES EXTENDIDAS – ALETAS TRANSVERSALES**

Los tubos del intercambiador de calor presentan aletas transversales, estas aletas ayudan a incrementar la capacidad de transferencia de calor, ya que se extiende la superficie de transferencia.

Cao (2004) menciona que las aletas se comportan de forma diferente al área expuesta del tubo, por lo cual, para definir el coeficiente pelicular del lado de la carcaza se debe considerar una eficiencia de las aletas, entonces se tiene la siguiente ecuación:

$$h_{isf} = h_{is} * \frac{(A_D + \Omega * A_f)}{A_o} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde, h_{isf} es el coeficiente pelicular corregido por aletas, h_{is} es el coeficiente pelicular inicial sin aletas, A_D es la superficie de tubo desnudo por metro de tubo, A_o es la superficie de tubo liso por metro de tubo, A_f es la superficie de aletas por metro de tubo y Ω es la eficiencia de las aletas.

Es necesario establecer la conductividad térmica del material de los tubos, en este caso cobre, que es de $400 \frac{W}{m * K}$.

Para el cálculo de la eficiencia Ω se deben determinar el valor de las siguientes relaciones:

$$(De - Dtl) * \sqrt{\frac{h_{is}}{2 * k * b}} = 0.12$$

y,

$$\frac{De}{Dtl} = 1.167$$

Donde, De es el diámetro externo del tubo tomando en cuenta las aletas, Dtl es el diámetro externo del tubo liso (sin aletas), k es la conductividad térmica del material de los tubos, b es el ancho de cada aleta.

Con estos valores se ingresa en el gráfico (observe **Figura 126**) que propone Kern (1965) para aletas transversales de espesor constante, y se puede determinar cuál es la eficiencia de la aleta.

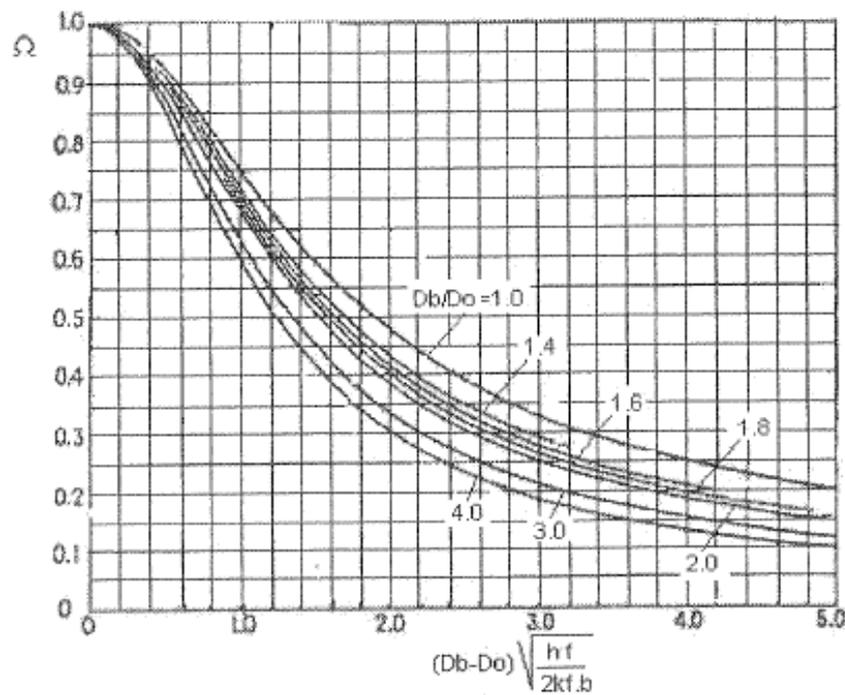


Figura 126. Gráfico para la obtención de la eficiencia de las aletas.

Fuente: Kern, D. (1965). Procesos de Transferencia de Calor. México: McGraw-Hill.

Mediante la **Figura 126**, y los valores de las relaciones obtenidas anteriormente, se puede determinar la eficiencia de las aletas. La cual resulta ser:

$$\Omega = 0.99$$

a) **Superficie de tubo liso por metro de tubo**

$$A_o = \pi * Dtl$$

Ecuación 21

$$A_o = 0.038 \text{ m por metro de tubo}$$

b) **Número de aletas por metro de tubo**

$$Nm = 400 \text{ aletas/m}$$

c) **Superficie de tubo desnudo por metro de tubo**

$$A_D = A_o * (1 - b * Nm) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$A_D = 0.033 \text{ m por metro de tubo}$$

d) **Superficie de aletas por metro de tubo**

$$A_f = \frac{\pi}{4} * (D_e^2 - D_t l^2) * 2 * Nm \quad \text{Ecuación 23}$$

$$A_f = 0.0327 \text{ m por metro de tubo}$$

Con estos datos, se puede calcular el coeficiente de convección pelicular corregido por aletas, esto con la ecuación 20.

$$h_{isf} = h_{is} * \frac{(A_D + \Omega * A_f)}{A_o} = 1473.85 \text{ W/m}^2 * K$$

• **EVALUACIÓN DEL INTERCAMBIADOR**

a) **Coefficiente de transferencia de calor total limpio**

El coeficiente de transferencia de calor total limpio según Kern (1965) es:

$$U_C = \frac{h_{it} * h_{isf}}{h_{it} + h_{isf}} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde, h_{it} es el coeficiente pelicular del lado de los tubos y h_{isf} es el coeficiente pelicular del lado de la coraza.

Entonces se tiene que:

$$U_C = \frac{h_{it} * h_{isf}}{h_{it} + h_{isf}} = 844.46 \text{ W/m}^2 * K$$

b) **Pérdida de calor por convección natural**

Para determinar el calor por convección natural que se disipa del intercambiador se hace referencia a la ecuación de Watmuff de convección de una superficie y aire ambiente.

$$h_C = 2.8 + 3 * V \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde, h_c ($W/m^2 \cdot K$) es el coeficiente pelicular de convección de una superficie y V es la velocidad del aire en m/s. Para determinar la velocidad del aire alrededor del intercambiador se tomó en cuenta la escala de Beaufort (observe **Figura 127**) para cuando el aire está calmo.

Se necesita también determinar la temperatura superficial de la coraza, la cual se asume que es la temperatura calórica del aceite hidráulico; además, se tiene que la temperatura ambiente es de aproximadamente $18^\circ C$. El área de convección también se puede obtener mediante la aproximación del intercambiador de calor a un cilindro.

Escala de Beaufort	Nombre de Viento	Velocidad	
		m/s	Km/h
0	Calma	0,5	2
1	Aire ligero	1,5	5
2	Brisa ligera	3	11
3	Brisa suave	6	22
4	Brisa moderada	8	30
5	Brisa fresca	11	40
6	Brisa fuerte	14	50
7	Viento moderado	17	60
8	Viento fresco	21	75
9	Viento fuerte	24	87
10	Gran viento	28	100
11	Tempestad	32	115
12	Huracán	36 o más	130 o más

Figura 127. Escala de Beaufort.

Fuente: Recuperado de http://www.solerpalau.es/formacion_01_30.html

Con estos datos, y la ecuación de calor $Q = h * A * \Delta T$ se puede obtener el calor perdido por convección natural; donde h es el coeficiente pelicular de convección, A es el área de convección y ΔT es la diferencia de temperaturas entre la superficie y el ambiente.

Datos:

$$T_s = T_{c_h} = 51.5^\circ C$$

Temperatura de la superficie del intercambiador, igual a la del aceite

$$T_{aire} = 18^\circ C$$

Temperatura del aire ambiente

$$A_{conv} = \pi * D_o * L = 0.113 \text{ m}^2 \quad \text{Área de convección. (Carcaza)}$$

$$V_{aire} = 0.5 \text{ m/s} \quad \text{Velocidad del aire según escala de Beaufort}$$

c) **Ecuación de Watmuff de convección para superficie y aire ambiente.**

$$h_{conv} = 2.8 + 3 * V_{aire} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$h_{conv} = 4.3 \text{ W/m}^2 * \text{K}$$

Con esto podemos calcular el calor perdido por convección natural.

$$q_{conv} = h_{conv} * A_{conv} * (T_s - T_{aire}) \quad \text{Ecuación 27}$$

$$q_{conv} = 16.21 \text{ W}$$

d) **Calor por radiación**

Para determinar la pérdida de calor por radiación de un cuerpo y el ambiente, Cengel (2007) toma en cuenta la ecuación 28:

$$qr = \varepsilon * \sigma * A_{rad} * (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde, ε es la emisividad del material, σ es la constante de Stefan-Boltzman que es igual a $5.6697 * 10^{-8} \text{ (W/m}^2 * \text{K}^4)$, A_{rad} es el área de radiación, T_s es la temperatura superficial y T_a es la temperatura del ambiente. Entonces,

$$\sigma = 5.6697 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4 \quad \text{Constante de Stefan-Boltzmann}$$

$$A_{rad} = A_{conv} = 0.113 \text{ m}^2 \quad \text{Área de radiación}$$

$$\varepsilon_{al} = 0.84 \quad \text{Emisividad del aluminio a temperatura superficial } T_s$$

Aplicando la ecuación 28,

$$qr = \varepsilon * \sigma * A_{rad} * (T_s^4 - T_a^4) = 21.02 \text{ W}$$

e) **Calor real de diseño**

Para obtener el calor real que va a disipar el intercambiador, se deben tomar en cuenta las pérdidas por convección y radiación. Es decir, que del

calor que se obtuvo en base al fluido caliente se debe restar el calor perdido por convección y radiación.

$$q_p = q_{conv} + q_{rad} = 37.23 \text{ W} \quad \text{Calor total perdido por convección y radiación}$$

$$q_r = q - q_p = 6667.875 \text{ W} \quad \text{Calor real que debe disipar el intercambiador}$$

f) Coeficiente global de transferencia de calor de diseño

Para obtener el coeficiente de transferencia de calor de diseño, Kern (1965) indica que se debe tener en consideración la siguiente ecuación:

$$U_D = \frac{Q}{A * DT_m} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde, Q es el calor real de diseño que se necesita que el intercambiador disipe, A es el área de transferencia de calor total de los tubos y DT_m es la diferencia de temperaturas media logarítmica.

Entonces, se necesita determinar el área total de intercambio de calor, para esto se aplica la ecuación 30.

$$A_t = N_t * L * \pi * D_e \quad \text{Ecuación 30}$$

$$A_t = 0.315 \text{ m}^2$$

Ahora, se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor de diseño al aplicar la ecuación 29.

$$U_D = 683.251 \text{ W/m}^2 * K$$

Como se explicó, el coeficiente U_C debe exceder a U_D ; es decir que con los cálculos realizados se comprobó que el intercambiador es apropiado para las condiciones impuestas.

$$U_c = 844.46 \text{ W/m}^2 * K$$

$$U_D = 683.251 \text{ W/m}^2 * K$$

Para conocer si los valores obtenidos de U_C y U_D son coherentes, se recurre a verificar éstos en tablas que especifican los coeficientes típicos de

transferencia de calor. Sinnott (2005) indica que éstos valores para aceite como fluido caliente y agua como fluido frío, están entre 350 a 900 ($W/m^2 \cdot K$). Con esto, se deduce que los valores calculados para estos coeficientes son coherentes.

g) Factor de obstrucción o de ensuciamiento

El rendimiento de los intercambiadores de calor depende de que las superficies de transferencia de calor se encuentren limpias y libres de corrosión. Los sedimentos y partículas (propios del fluido) que se depositan en las superficies del lado de los tubos y de la coraza, tienen una conductividad térmica relativamente baja y lograrán que se reduzca el coeficiente global de transferencia de calor. Por tal motivo, es necesario sobredimensionar el intercambiador para considerar esta reducción en el rendimiento del mismo.

Para determinar el valor del factor de obstrucción que se requiere para la aplicación, se debe tomar en cuenta que existe un coeficiente interno y externo; por lo que la suma de éstos dará como resultado el factor total de obstrucción. Estos coeficientes son complicados de predecir, por lo que se los determina experimentalmente. Algunos valores típicos se pueden encontrar en tablas.

En el caso del agua, su factor de obstrucción cuando está bajo los 50°C es de 0.0001 ($m^2 \cdot K/W$) (Dato obtenido de: Rathakrishnan, E. (2012). *Elements of Heat Transfer*. Boca Ratón: CRC Press); mientras que para el aceite hidráulico es de 0.00018 ($m^2 \cdot K/W$) (Dato obtenido de *ENGINEERING Page*. (4 de Marzo de 2014). Typical Fouling Factors: <http://www.engineeringpage.com>). Por consiguiente, el factor de obstrucción total requerido se obtiene con la ecuación 31:

$$R_{dr} = R_w + R_o \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde, R_w es el factor de obstrucción del agua y R_o es el factor de obstrucción del aceite hidráulico. Entonces, al aplicar la ecuación 31 se tiene:

$$R_{dr} = 0.00028 (m^2 * K/W)$$

Una vez obtenido el factor de obstrucción requerido, es necesario determinar el factor de obstrucción en función de los coeficientes globales de transferencia de calor. Kern (1965) sugiere que el factor de obstrucción se obtiene mediante la ecuación 32:

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C * U_D} = 0.0003 m^2 * K/W \quad \text{Ecuación 32}$$

El valor de R_d debe igualar o exceder al factor de obstrucción requerido R_{dr} .

En vista de que R_d es mayor a R_{dr} se concluye que el intercambiador es apto para la aplicación en la que se lo va a utilizar.

• CAÍDAS DE PRESIÓN

Es importante determinar cuál es la caída de presión en el intercambiador del lado de los tubos para el dimensionamiento de la bomba de agua. Cao (2004) sugiere que la caída de presión para fluidos que circulan por el lado de los tubos de un intercambiador puede considerarse como la suma de dos efectos.

- a) La pérdida de carga en los tubos
- b) La pérdida de carga producida por los cambios de dirección en los cabezales cuando el flujo va de un paso a otro.

La pérdida de carga en los tubos se calcula a partir de la ecuación de Fanning:

$$\Delta Pt = \frac{4fnLG^2}{Di*2\rho} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^a \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde, f es el factor de fricción, n es el número de pasos, L es la longitud de los tubos, G es la masa velocidad, Di es el diámetro interno del tubo, ρ es la densidad del fluido, μ es la viscosidad del fluido a temperatura calórica y μ_w es la viscosidad del fluido a temperatura de pared. Además, a tiene un valor de -0.14 para régimen turbulento y -0.25 para régimen laminar.

El factor $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^a$ se aproxima a 1 según Cao (2004).

El factor de fricción, para la zona de flujo laminar es:

$$f = \frac{16}{Re} \quad \text{Ecuación 34}$$

Siendo Re el número de Reynolds. Mientras que para la zona turbulenta se puede utilizar la ecuación de Drew, Koo y Mc Adams:

$$f = 0.0014 + 0.125 * Re^{-0.32} \quad \text{Ecuación 35}$$

Aplicando la ecuación 35, se tiene que el factor de fricción es:

$$f = 0.0114$$

Estas ecuaciones de factores de fricción son para tubos lisos, por lo que algunos autores sugieren incrementarlos en un 20% para tubos de intercambiador. (Cao, 2004), con lo cual:

$$f = 0.0137$$

Al aplicar la ecuación 33, se tiene que la caída de presión es:

$$\Delta Pt = 0.00144 \text{ bar}$$

4.3.3 ENFRIAMIENTO DE LOS MOLDES

La fase de enfriamiento del proceso de inyección es una parte muy importante, ya que es la que va a establecer la cantidad de partes o piezas producidas en un tiempo determinado. Es decir, que el principal propósito del sistema de enfriamiento de los moldes es minimizar el tiempo de ciclo y lograr una temperatura homogénea en la pieza mientras se enfría. Con esto se consigue una buena calidad de las partes y, además disminuir costos. El enfriamiento de moldes permite el mejoramiento de la calidad del producto mediante la prevención del encogimiento de las partes moldeadas y de esfuerzos residuales altos que desembocan en deformaciones y hundimientos en las piezas.

Cuando el material polimérico es inyectado en el molde, éste tiene que ser enfriado desde la temperatura de fusión (temperatura de inyección) hasta la temperatura de desmoldeo. Esto significa que se requiere una extracción

de calor, tarea que la realizará el agua que circula a través de los canales del molde. Por consiguiente, es necesario realizar un balance de calor en los moldes, con el fin de conocer si el caudal que se tiene predispuesto para esta tarea es el adecuado, y además para determinar la temperatura aproximada de salida del agua de los moldes. Pero para esto, antes es indispensable el cálculo del tiempo mínimo de enfriamiento de los moldes.

La mitad del caudal total de la bomba cumplirá esta función. Dicho caudal, se distribuirá en tres partes iguales, dos para los moldes y uno para la máquina. Es así que se tiene un caudal de 0.76 m³/h para moldes y 0.38 m³/h para la máquina.

Para el enfriamiento de la máquina se consideró que no es gravitante realizar un cálculo del calor en este sistema, debido a que la temperatura que alcanza la máquina en la entrada del material desde la tolva hacia cañón no es elevada ni tampoco crítica.

4.3.3.1 PROCESO DE CÁLCULOS

Con la máquina de inyección a la que se hace referencia, se utilizaban varios polímeros termoplásticos, así como también diferentes moldes. Para el proceso de cálculos, se tomó como referencia el polietileno de baja densidad (PE-LD) que fue el más utilizado mientras la máquina funcionaba; y en cuanto a los moldes, se tomaron en cuenta las características de los de mayor tamaño como caso más extremo.

- **DATOS**

Como datos, se tienen el caudal predispuesto para el enfriamiento de moldes, las temperaturas del proceso de inyección y las características del molde.

$$Q_{am} = 0.76 \text{ m}^3/\text{hr} \quad \text{Caudal de agua hacia los moldes}$$

$$\rho_{ac} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad \text{Densidad del agua}$$

$$dc = 8 \text{ mm} \quad \text{Diámetro de los canales de enfriamiento}$$

$$Nc = 4 \quad \text{Número de los canales de enfriamiento}$$

Con respecto a las temperaturas de proceso, Goodship (2004) indica un rango para las mismas dependiendo del polímero. Es así, que se tomó un valor representativo (promedio) para realizar los cálculos.

$T_i = 250\text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura de inyección del polímero (PE-LD)

$T_m = 45\text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura promedio del molde.

$T_d = 50\text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura promedio de desmoldeo

$T_{ia} = 18\text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura del agua en la entrada del molde

Estos datos de temperatura se extrajeron de (Goodship V. , 2004)

La capacidad de inyección de la máquina es de 60 gramos, pero este valor viene dado siempre con referencia al poliestireno (PS) que tiene una densidad de 1.05 g/cm^3 . Por consiguiente, se debe determinar la cantidad de masa para el polietileno de baja densidad (PE-LD) con densidad de 0.92 g/cm^3 , para lo cual se realiza una regla de tres simple. Entonces se tiene una masa de polietileno de baja densidad de 52.57 gramos.

Características del molde

$t = 0.2\text{ cm}$ Espesor máximo de pared de la pieza moldeada

$\alpha_m = 15 * 10^{-4}\text{ cm}^2/\text{s}$ Difusividad térmica del material.

$m_p = 52.57\text{ gm}$ Capacidad de inyección

$l_m = 250\text{ mm}$ Largo del molde

$am = 200\text{ mm}$ Ancho del molde

$em = 40\text{ mm}$ Espesor del molde

- **CAUDAL MÁSIICO EN EL CANAL DE ENFRIAMIENTO**

Conocida la densidad y el caudal del agua de entrada a los moldes, ya se puede determinar el caudal másico utilizando la ecuación 36.

$$m_{ac} = \rho_{ac} * Q_{am} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$m_{ac} = 0.211\text{ kg/s}$$

- **TIEMPO DE ENFRIAMIENTO**

Rosato D. et al. (2000) manifiestan que el tiempo mínimo de enfriamiento para alcanzar la temperatura de desmoldeo depende de las siguientes variables:

- a) Espesor de la pared de la pieza.
- b) La diferencia entre la temperatura del polímero y la temperatura de molde.
- c) La diferencia entre la temperatura de desmoldeo y la temperatura de molde.

Entonces, la ecuación propuesta es la siguiente:

$$s = \frac{-t^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{\pi(Td - Tm)}{4(Ti - Tm)} \right] \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde, s es el tiempo mínimo de enfriamiento (s), t es el espesor máximo de pared de la pieza moldeada (in o cm), α difusividad térmica del material (in²/s o cm²/s), Td es la temperatura de desmoldeo (°F o °C), Tm es la temperatura de molde (°F o °C) y Ti es la temperatura de inyección. Entonces, el tiempo de enfriamiento es:

$$s = \frac{-t^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{\pi(Td - Tm)}{4(Ti - Tm)} \right] = 16.79 \text{ s}$$

- **BALANCE DE CALOR EN LOS MOLDES**

En el proceso de inyección de plástico, el calor correspondiente al polímero fundido fluye desde éste hacia la parte interior del molde, y luego por conducción hasta la parte exterior del mismo. Además, se debe considerar el intercambio de calor con el ambiente. En la Figura 128 se puede apreciar los diferentes flujos de calor para el balance térmico. Las flechas rojas representan los flujos de calor que salen del sistema, mientras que las flechas verdes representan los flujos de calor que ingresan al sistema.

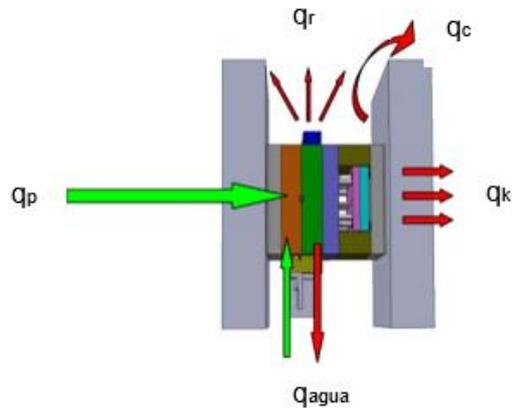


Figura 128. Flujo de calor en el proceso de inyección.

Fuente: Liang, J., & J, N. (1994). The calculation of cooling time in injection molding. Hong Kong: Elsevier.

Donde:

- q_p : flujo de calor del polímero fundido inyectado en el molde.
- q_{agua} : flujo de calor que el agua extrae del molde.
- q_k : flujo de calor correspondiente a la conducción de los moldes hacia los platos.
- q_c : flujo de calor correspondiente a la convección con el aire.
- q_r : flujo de calor correspondiente a la radiación.

Una vez que se conocen los flujos de calor existentes en el sistema, se procede a calcularlos. El flujo de calor del polímero está determinado por la variación de entalpías durante el ciclo de inyección, y se calcula con la ecuación 38:

$$q_p = \frac{m_p(h_i - h_d)}{s} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde, m_p es la capacidad de inyección, h_i es la entalpía del polímero a la temperatura de inyección, h_d es la entalpía a la temperatura de desmoldeo y s es el tiempo mínimo de enfriamiento.

En la **Figura 129** se aprecia la variación de entalpía respecto a la temperatura del polietileno y de los plásticos amorfos.

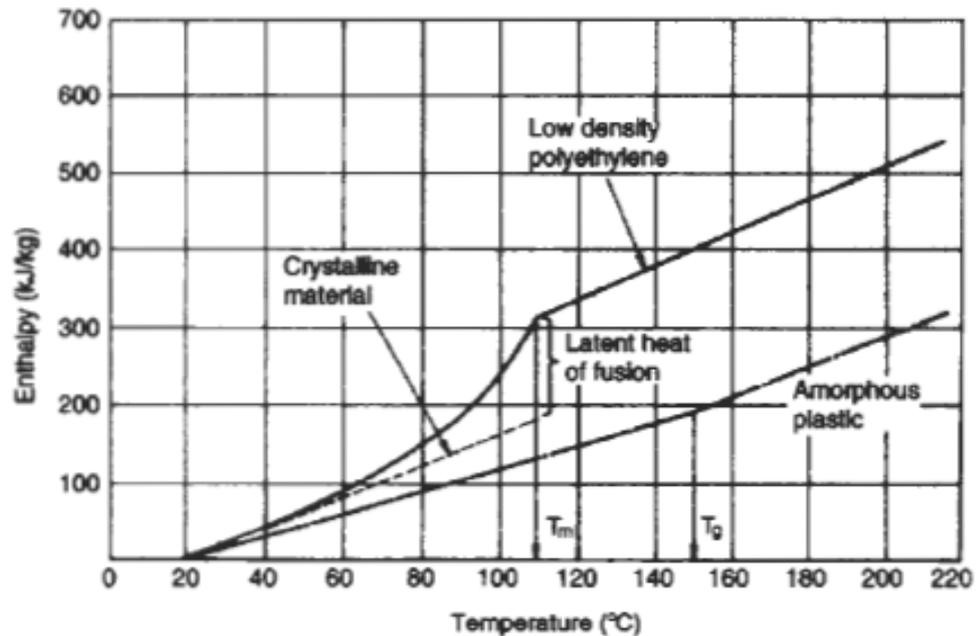


Figura 129. Variación de entalpía respecto a la temperatura.

Fuente: Crawford, R. (1998). *Plastics Engineering*. Oxford: Butterworth Heinemann.

Entonces, de la figura anterior se pueden obtener las respectivas entalpías, y con esto el flujo de calor aportado por el polímero.

$$h_i = 600 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad \text{Entalpía a temperatura de inyección}$$

$$h_d = 70 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad \text{Entalpía a temperatura de desmoldeo}$$

Calor aportado por el polímero:

$$q_p = \frac{m_p \cdot (h_i - h_d)}{s} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$q_p = 1659.83 \text{ W}$$

El flujo de calor por convección es calculado mediante la ecuación 40:

$$q_c = h_c \cdot A_c \cdot (T_m - T_{aire}) \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde, h_c es el coeficiente de convección del aire, A_c es el área del molde expuesta al aire y T_{aire} es la temperatura del aire.

El coeficiente de convección del aire h_c , ya se lo obtuvo en el análisis del intercambiador mediante la ecuación de Watmuff (Ecuación 26).

Entonces, se necesita determinar, el área sometida a convección, esto es:

$$A_c = 2 * (2 * lm * em + 2 * am * em) = 0.072 m^2$$

Con esto se puede determinar el flujo de calor por convección, con lo que se tiene:

$$q_c = h_c * A_c * (T_m - T_{aire}) = 8.36 W$$

En lo que respecta al flujo de calor por conducción, éste se calcula considerando el área de los moldes que está en contacto con los platos de la máquina, el coeficiente de transferencia de calor del molde y la diferencia de temperatura entre el molde y el ambiente. (Paclt, 2011)

La ecuación para el flujo de calor por conducción está dada por:

$$q_k = Ak * \beta (T_m - T_{aire}) \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde, Ak es el área de los moldes en contacto con los platos y β es el coeficiente de transferencia de calor del molde.

El coeficiente β para un acero aleado según es de: (Dato obtenido de: Márquez, J. (s.f.). Diseño y Transformación de Plásticos. Análisis Térmico de la Inyección - Variación de las Temperaturas en el ciclo. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.)

$$\beta = 84 W/m^2 * K$$

El área de contacto del molde con los platos de la máquina es:

$$Ak = 2 * lm * am = 0.1 m^2$$

Y, al emplear la ecuación 41, se obtiene que:

$$q_k = Ak * \beta * (T_m - T_{aire}) = 226.8 W$$

En cuanto al calor perdido por radiación se usó la ecuación explicada en el análisis del intercambiador (ecuación de calor por radiación), se asume la misma área de radiación igual a la de convección lo que resulta:

$$q_r = \varepsilon_{al} * \sigma * Ar * (Tm^4 - T_{aire}^4) \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde, ε_{al} es la emisividad para moldes usados (0.8 para moldes usados según Márquez), σ es la constante de Stefan-Boltzman y Ar es el área de radiación que se asume igual a la de convección.

$$q_r = 10 \text{ W}$$

Entonces, se plantea la ecuación 43 balanceada del sistema, para indicar el calor que el agua debe remover:

$$q_{agua} = q_p - q_c - q_k - q_r \quad \text{Ecuación 43}$$

$$q_{agua} = 1414.678 \text{ W}$$

Una vez obtenido el flujo de calor que extrae el agua de los moldes, se puede determinar la temperatura de salida del agua despejando de la ecuación general de calor, ecuación 44:

$$q_{agua} = m_{ac} * cp_{agua} * (Tf - Tia) \quad \text{Ecuación 44}$$

Despejando la temperatura final Tf:

$$Tf = \frac{q_{agua} + m_{ac} * cp_{agua} * Tia}{m_{ac} * cp_{agua}} = 19,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A continuación se presenta la Tabla 10, en la que constan varios parámetros para los polímeros más comunes que se utilizaban en la máquina de inyección que se va a repotenciar. Con estos datos se van a determinar tiempos aproximados de enfriamiento y las temperaturas de salida del agua del molde para cada polímero mediante el mismo proceso de cálculo usado para el LD-PE.

Tabla 10. Parámetros de algunos polímeros termoplásticos para el proceso de moldeo.

Material	Temperatura de inyección (°C)	Temperatura de Molde (°C)	Temperatura de Desmoldeo (°C)	Densidad (g/cm ³)	Difusividad Térmica (m ² /s)
LD-PE	170-250	20-70	30-65	0.92	1.5*10 ⁻⁷
HD-PE	200-300	20-70	40-75	0.95	1.5*10 ⁻⁷
ABS	200-270	50-85	60-100	1.03	0.9*10 ⁻⁷
PP	200-300	20-100	60-100	0.83	1.1*10 ⁻⁷
PS	160-280	20-50	60-100	1.05	0.8*10 ⁻⁷
PVC-rígido	150-210	20-70	45-100	1.35	1.2*10 ⁻⁷
PVC-suave	120-190	20-55	60-100	1.23	1.2*10 ⁻⁷
POM	190-230	50-120	60-130	1.41	0.9*10 ⁻⁷

Fuente: Michaeli, W., Greif, H., Kretzschmar, G., & Ehrig, F. (2001). Training in Injection Molding. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.

Para la elaboración de la Tabla 11 se consideró como temperatura de inyección al mayor valor de cada rango, es decir el caso más extremo; mientras que para las temperaturas de molde y de desmoldeo se consideraron los valores promedio de cada rango. Se tomó como referencia la Figura 129 y Figura 130 para determinar las entalpías de los polímeros.

Para tener una distribución uniforme, es primordial que la diferencia entre las temperaturas de entrada y de salida sea menor de 6° C. Este valor ha sido establecido mediante investigaciones y experimentación. (Menges & Mohren, 1983).

Como se puede apreciar en la **Tabla 11**, la diferencia de temperaturas no es mayor a 3°C para ninguno de los polímeros que se consideraron, lo que significa que la distribución de temperaturas se dará en forma homogénea en todos los casos.

Tabla 11. Tiempos de enfriamiento, temperatura de salida del agua y diferencia de temperaturas de entrada y salida del molde para algunos polímeros.

Material	Tiempo de enfriamiento (s)	Temperatura de salida de agua del molde (°C)	Diferencia de temperatura de agua de entrada y salida del molde (°C)
LD-PE	16.8	19.6	1.6
HD-PE	13.8	20.7	2.7
ABS	21.4	18.3	0.3
PP	15.8	19.7	1.7
PS	15.4	19.6	1.6
PVC-rígido	10.8	19.6	1.6
PVC-suave	8.1	19.8	1.8
POM	20.6	19.8	1.8

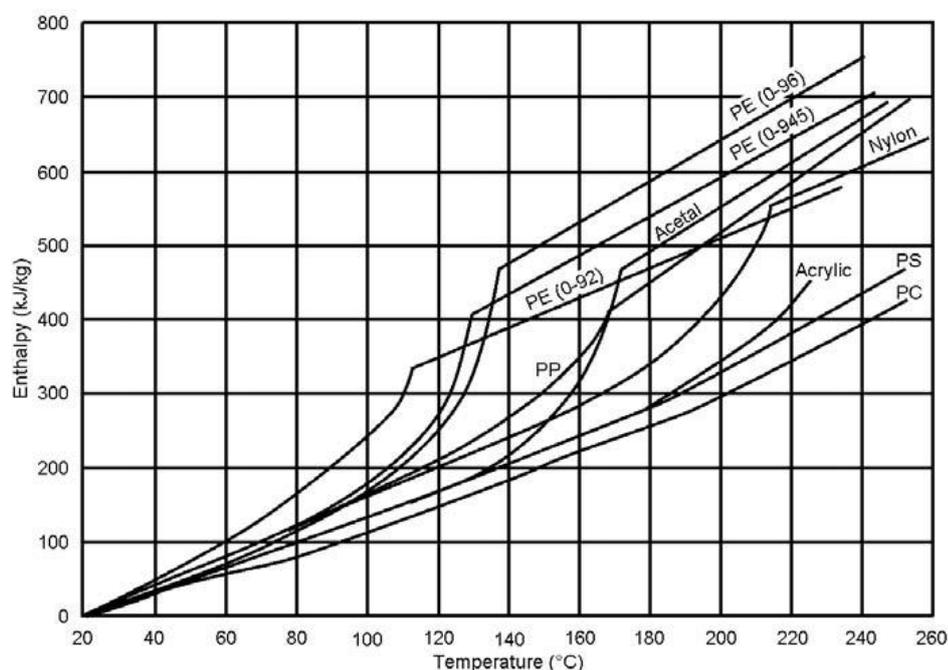


Figura 130. Curva de entalpías para varios polímeros.

Fuente: Jones, P. (2008). The Mould Design Guide. Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited.

4.3.4 DISEÑO DEL CIRCUITO

Para el diseño del circuito de enfriamiento se utilizó el software de simulación Pipe Flow Expert, el cual permitirá obtener los datos concernientes de velocidad, flujo, presión de la bomba, pérdidas, etc.

Entonces, los datos de entrada que se consideraron están los siguientes:

- a) Caudal total de la bomba: 2,3 m³/h
- b) Altura del agua en el tanque: 0,8 m
- c) Caída de presión en el intercambiador (lado de los tubos): 0,00144 bar
- d) Tubería PVC 1/2" (cédula 80), mangueras para moldes de 1/2" y accesorios.
- e) Caudal para moldes: 0,76 m³/h
- f) Caudal para la máquina en la entrada del cañón: 0,38 m³/h
- g) Caudal para intercambiador: 1,15 m³/h
- h) Longitudes de todas las tuberías y alturas de cada nodo

Asimismo, el software utilizado tiene los valores predeterminados para los coeficientes de fricción de todos los tipos de accesorios respecto a cada diámetro.

```

Flow = 2,300 m³/hour
Mass Flow = 0,6376 kg/sec
Velocity = 2,290 m/sec
Length = 1,000 m
Inner Diam = 18,847 mm
Start Elevation = 0,000 m
End Elevation = 0,000 m
Start Pressure = 0,0673 bar.g
End Pressure = 0,8435 bar.g
Total dP Loss = -7,930 m.hd
Elevation Rise = 0,000 m
Friction Loss = 0,319 m.hd
Fitting Loss = 1,203 m.hd
Pump Suction = 0,0673 bar.g
Pump Discharge = 0,9924 bar.g
Pump Head = 9,452 m.hd
Pump NPSHa = 10,796 m.hd

```

Figura 131. Características de la bomba según la simulación en Pipe Flow Expert

Luego de realizar el circuito en el software (Ver Anexo E), como resultado, se obtuvieron las características para la bomba que se muestran en la Figura 131, donde se indica que la cabeza total mínima que debe tener la bomba es de 9,452 mca (13,44 psi), que es un valor relativamente bajo.

Se desconocen las características técnicas de la bomba suministrada, sólo se tiene como dato las características del motor, que como se mencionó, es de 2 HP. Es así, que se concluye que esta potencia es suficiente para tener una cabeza superior a la que se necesita, por lo que es viable su aplicación e instalación.

En la hoja técnica que proporciona el software (Ver Anexo E), se aprecia que ninguna de las velocidades de las tuberías es superior a 3.58 m/s, que es la velocidad límite para una tubería PVC de 1/2". (Dato obtenido de: http://www.charlottepipe.com/Documents/Espan_TM-PL-SP/TM-PL-SP.pdf)

4.3.5 EVALUACIÓN Y PUESTA A PUNTO DE LA BOMBA

Para la implementación de la bomba de agua entregada por el cliente para el sistema de enfriamiento (observe **Figura 132**), era necesaria su evaluación funcional y técnica. Entonces, como primer paso, se verificó el funcionamiento del motor, el mismo que era trifásico con una potencia de 2 HP. Se conectaron los terminales del motor, tal como se indicaba en su etiqueta para 220 V y se apreció que trabajaba normalmente.



Figura 132. Motor y bomba entregados por el cliente.

El siguiente paso fue determinar el caudal que se puede obtener de la bomba, para lo cual se conectó la entrada de ésta a un tanque con agua, y su salida se dispuso hacia un tanque vacío de volumen conocido, como se muestra en la **Figura 133**. Al encender el motor de la bomba se constató que el caudal de la misma era de 38.3 litros por minuto.



Figura 133. Prueba de funcionamiento de la bomba.



Figura 134. Interior de la bomba de agua.

Como se puede apreciar en la **Figura 134**, la bomba se encontraba llena de óxido, por lo cual fue necesario desarmarla y limpiarla por dentro. Es así, que con un cepillo metálico se trató de extraer la mayor cantidad de óxido posible, para luego pintarla tanto el interior como el exterior como se muestra en la **Figura 135**.

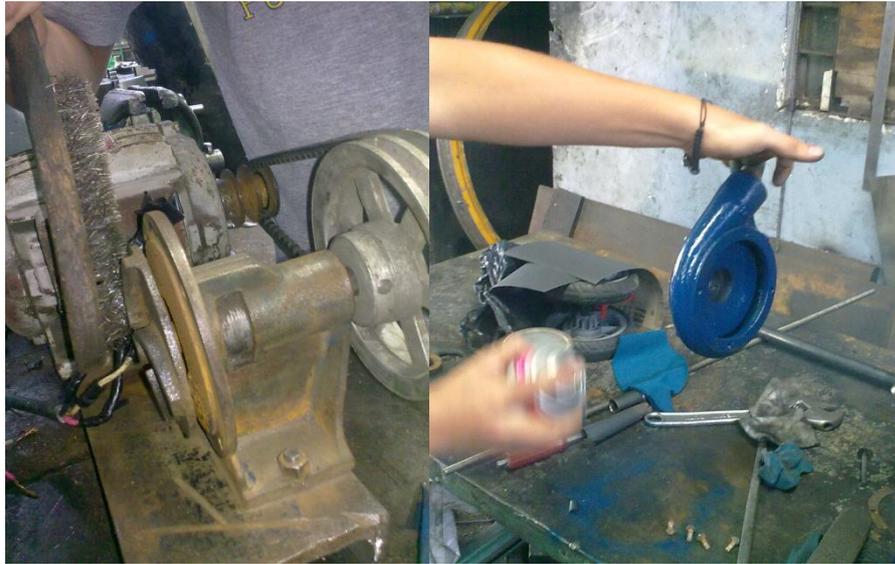


Figura 135. Limpieza y pintado de la bomba.

4.3.6 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE AGUA

Para determinar el volumen de agua necesario en el reservorio, se investigó un par de criterios. Pacific Liquid and Air Systems recomienda en “Sizing Water Systems, Pumps and Tanks” que el tamaño del tanque puede ser igual al volumen por minuto que proporciona la bomba. En cambio, Majumdar (2001) propone que el volumen del tanque debe ser como mínimo 3 veces el caudal en litros máximo de la bomba, con el fin de que la disipación de calor aumente. Entonces se tomó como referencia éste último criterio:

$$\text{Volumen del tanque} = 3 * \text{caudal de bomba} * \text{minuto} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 3 * 38.3 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} * \text{minuto}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 114.9 \text{ litros}$$

Una vez establecido el volumen de agua mínimo necesario en el reservorio, se decidió comprar un tanque plástico (HDPE) de 160 litros, el mismo que iría colocado en el cuarto junto a la máquina por pedido del cliente.

Posteriormente, se realizaron dos perforaciones en la pared, una para el cable de conexión del motor y otra para la tubería de salida de la bomba,

como se parecía en la **Figura 136**. El tamaño de tubo usado para todo el circuito de enfriamiento fue de 3/4”.



Figura 136. Perforaciones en la pared para cable de conexión del motor y para tubería.

4.3.7 IMPLEMENTACIÓN DEL DISTRIBUIDOR

Como ya se indicó, es necesario un distribuidor que cumpla la función de enviar un caudal de agua para la máquina y otro para los moldes.

Con el fin de que el caudal sea similar en cada rama, se optó por realizar una configuración en “L” para el distribuidor, ya que el agua primero intentará llenar la rama principal y luego recorrerá las ramas secundarias como se indica en la **Figura 137**. Para su construcción se utilizaron tres “T” de 1” con rama secundaria de 1/2”, tres codos de 1/2”, dos neoplos de 1”, una tapa de 1/2”, seis neoplos corridos de 1/2” y tres válvulas de bola de 1/2”.

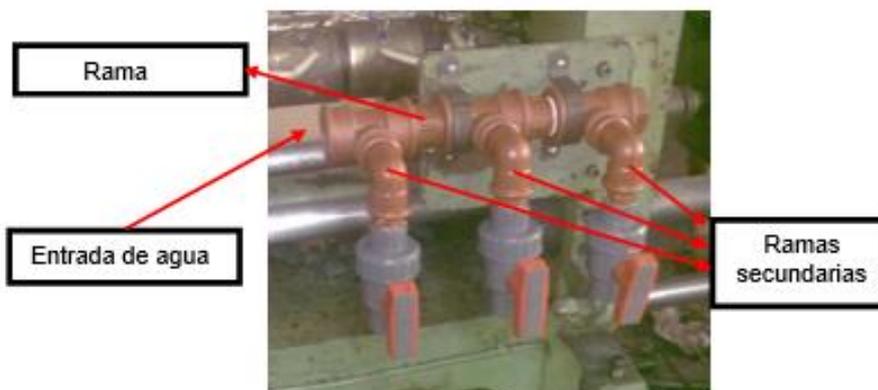


Figura 137. Distribuidor de agua para moldes y máquina.

Todos los moldes que son utilizados en la máquina inyectora presentan dos o cuatro canales de enfriamiento en total. El enfriamiento en los moldes debe ser homogéneo, es decir que en cada canal de éstos debe existir el mismo caudal de agua; por lo tanto, se decidió instalar tres válvulas para esta regulación, una válvula exclusivamente para el refrigeración de la entrada del material hacia el cañón, y dos válvulas para los moldes.

Para soportar el distribuidor se colocó una pequeña base metálica empernada en la máquina, y además dos abrazaderas para sujetarlo como se muestra en la **Figura 138**.



Figura 138. Base y abrazaderas del distribuidor.

Luego, se instalaron las mangueras de las salidas de las válvulas, hacia la máquina y los moldes. La válvula para el enfriamiento de la máquina se conectó directamente; mientras que en cada válvula para los moldes se colocó una “T” de manguera, para que cada salida de la válvula represente dos entradas a los canales de los moldes. El distribuidor montado en la máquina se puede apreciar en la **Figura 139**.

4.3.8 MANTENIMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

Después de haber reconocido el intercambiador de calor y haber obtenido todas sus medidas y características, se realizó un mantenimiento del mismo, que consistió en su limpieza a fondo, ya que se encontraban sedimentos minerales por el agua, y óxido. En la **Figura 140** se puede apreciar el estado del intercambiador antes de su mantenimiento.



Figura 139. Distribuidor montado en la máquina de inyección.



Figura 140. Reconocimiento del intercambiador de calor.

Las tapas de este intercambiador fueron extraviadas en el proceso de la realización del proyecto, por lo que se tuvieron que fabricar dos nuevas tapas, como se indica en la **Figura 141**.



Figura 141. Elaboración de las nuevas tapas del intercambiador.

En la **Figura 142**, se muestra el estado del intercambiador luego de su mantenimiento.



Figura 142. Intercambiador instalado luego de su mantenimiento.

4.3.9 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE RECIRCULACIÓN

Se visitó una empresa dedicada a la fabricación de objetos de plástico para verificar la temperatura a la cual el agua salía luego de los procesos de inyección. La temperatura comprendía entre los 30 a 35 grados centígrados, teniendo en cuenta que estas máquinas funcionaban todo el día. Con esto se pudo considerar, que el sistema propuesto era suficiente para poder enfriar el agua a un bajo costo de implementación.

El lugar donde se colocará este sistema es una pared de 3.50 metros de ancho por 1.74 metros de alto, se puede observar en la **Figura 143**. Esta pared se encuentra cerca del techo del galpón que conforma la mecánica. Debido a que no es un lugar cerrado, circularán corrientes de aire que ayudarán a enfriar el agua.

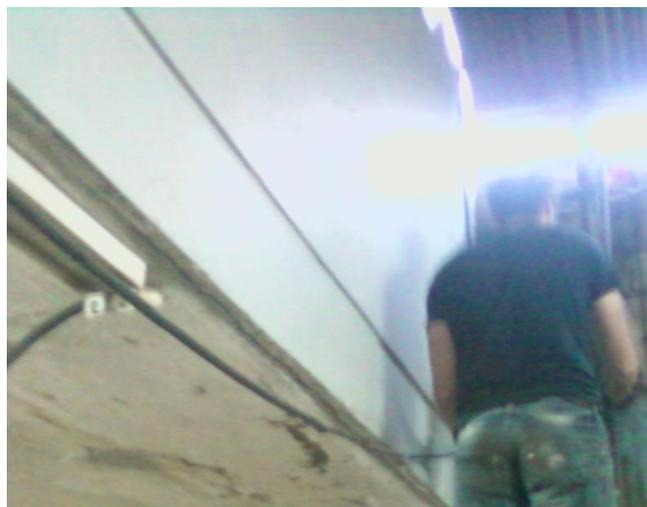


Figura 143. Pared en la que se instaló el enfriamiento del agua.

Se utilizó dos canales de hierro galvanizado de 4 metros cada uno, los cuales fueron cortados en dos partes iguales (**Figura 144**) y se los arregló, tratando de hallar la mayor área posible para que el agua intercambie calor, como se aprecia en la **Figura 145**.



Figura 144. Canales para enfriamiento.



Figura 145. Corte de canales para implementación.

El agua proveniente del intercambiador de calor, de los moldes y del ingreso del cañón, son conducidos por dos tuberías que desembocan en el primer canal, el agua va cayendo hasta el cuarto canal, y desde aquí por medio de tubería de desagüe de 2 pulgadas llega hacia el tanque. Cada canal está separado 35 cm, y se colocaron mallas en la caída del agua para reducir el goteo hacia fuera. En la **Figura 93** se aprecia un esquema de la configuración en la que se van a disponer los canales, y en la **Figura 146** se muestra la implementación de este sistema.



Figura 146. Sistema de enfriamiento implementado

4.4 TIEMPO DE PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO

La presión de sostenimiento es la que se aplica después de la inyección del material, con el fin completar el llenado de la cavidad y así, compensar la contracción del material para evitar rechupes y distorsiones pronunciadas de la pieza.

Goodship (2004) propone que un valor recomendado para el tiempo de presión de sostenimiento debería ser el 30% del tiempo de enfriamiento total. Con este criterio se realizaron los cálculos de dicho parámetro para los plásticos que se mencionaron anteriormente como se indica en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Tiempos de presión de sostenimiento para algunos polímeros.

Material	Tiempo de presión de sostenimiento (s)
LD-PE	5.0
HD-PE	4.1
ABS	6.4
PP	4.7
PS	4.6
PVC-rígido	3.2
PVC-suave	2.4
POM	6.2

En vista de que los tiempos son muy pequeños y parecidos, se tomará en cuenta el mayor valor para añadirlo en la programación de la secuencia de inyección, ya que un mayor tiempo de presión de sostenimiento no afecta a la parte.

4.5 ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN EL CAÑÓN

Es importante analizar el comportamiento de la temperatura en el cañón de inyección que se obtiene por medio del calentamiento de las niquelinas en la inyectora de plástico. Para ello, se ha tomado datos del comportamiento de esta temperatura con un posterior análisis de los resultados, con el cual se puede sugerir algunos materiales con los que se puedan trabajar en la inyectora. Este análisis se lo ha realizado por cada zona del cañón según las recomendaciones que se tiene en la inyección de plástico.

4.5.1 CALENTAMIENTO DEL CAÑÓN DESDE TEMPERATURA AMBIENTE.

Al calentar las niquelinas desde la temperatura ambiente, se recopilaron los datos en cada una de las zonas para determinar su comportamiento, esto se muestra en la prueba 1 para el desarrollo del control.

Con estos datos, y con la ayuda de la herramienta *SolidWorks Simulation*, se pudo establecer un análisis de temperatura del cañón. Este análisis es importante debido a que va a existir transferencia de calor de una zona a otra, por lo que se necesita comprobar que las temperaturas de cada región del cañón estén dentro de los rangos recomendados.

Para ello, primero se elaboró un modelo del cañón con sus tres partes que lo conforman con sus respectivas medidas.

- Cilindro (cañón).
- Acople.
- Punta.

En la **Figura 147** se puede observar el cilindro, en la **Figura 148** se observa la punta del cañón de inyección, y en la **Figura 149** se distingue el acople entre la punta y el cilindro.

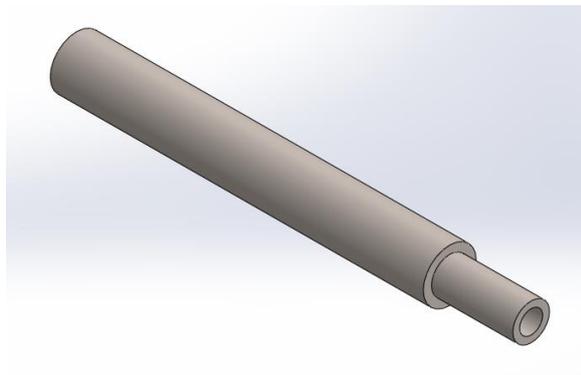


Figura 147. Cilindro de inyección

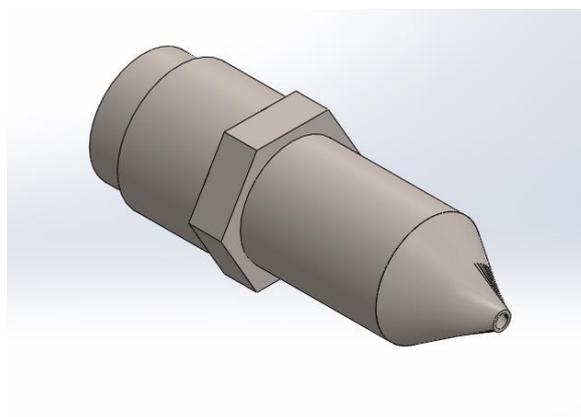


Figura 148. Punta de cañón

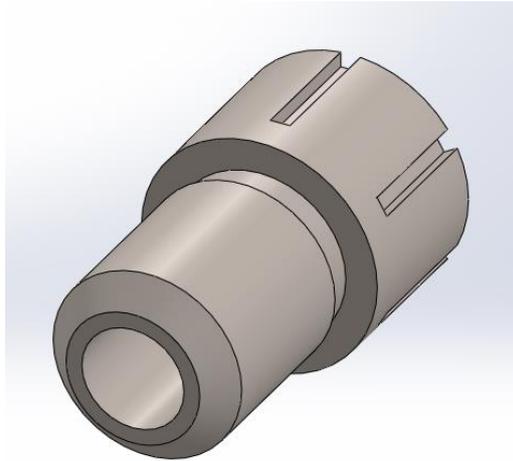


Figura 149. Acople de punta y cilindro

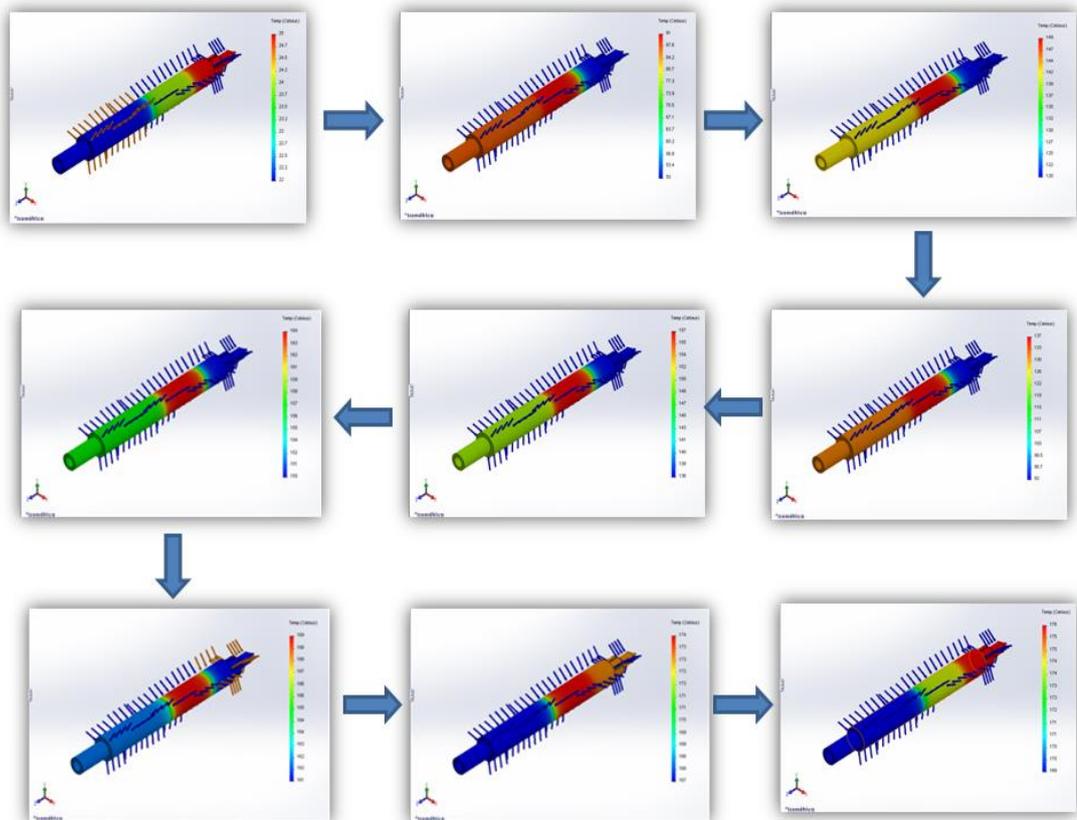


Figura 150. Histórico del calentamiento del cañón

Se puede observar en la **Figura 150** un histórico del calentamiento del cañón en sus tres zonas. La zona 2 (plastificación) es la que calienta con

más rapidez, a continuación la zona 1 (alimentación), y por último la zona 3 (dosificación).

En el paso 7, de la **Figura 150** se determina que la temperatura de la zona 1, y la zona 2, ya no crece con tanta intensidad, esto porque está cerca de un equilibrio térmico; mientras que la zona 3 sigue aumentando su temperatura hasta estar más caliente que las otras zonas.

Cada imagen de la **Figura 150** corresponde a un lapso de cinco minutos de encendido de las niquelinas.

4.5.2 CALENTAMIENTO DEL CAÑÓN PARA DIFERENTES MATERIALES

El análisis de temperatura por zonas del cañón se lo realizará para algunos materiales con el fin de determinar si el plástico está siendo trabajado de manera adecuada, o si algún material no es recomendable para utilizarlo en esta inyectora.

Con este análisis se puede evitar la obstrucción de material en el cañón, evitar sobre-esfuerzos de la máquina y por ende evitar mantenimientos innecesarios donde deba retirarse el cañón y eliminar los restos de material. Además se evita sobrecalentamientos del material, el cual se descompone si no se coloca las temperaturas apropiadas en las zonas del cañón.

Asimismo, este análisis permitirá identificar la mejor posición para colocar los sensores de temperatura (termocuplas), donde la temperatura "leída" indique una temperatura promedio, o que muestre el comportamiento de cada zona.

El software *SolidWorks Simulation* se utilizó para realizar un estudio térmico en régimen transitorio; es decir, se simuló el comportamiento del aumento de temperatura en un tiempo dado, según la potencia de las niquelinas en las tres zonas, y se simuló un control ON/OFF, para cuando se llegue a las temperaturas recomendadas para cada material.

Se analizaron los polímeros a continuación, y se muestran sus respectivos resultados.

4.5.2.1 ABS

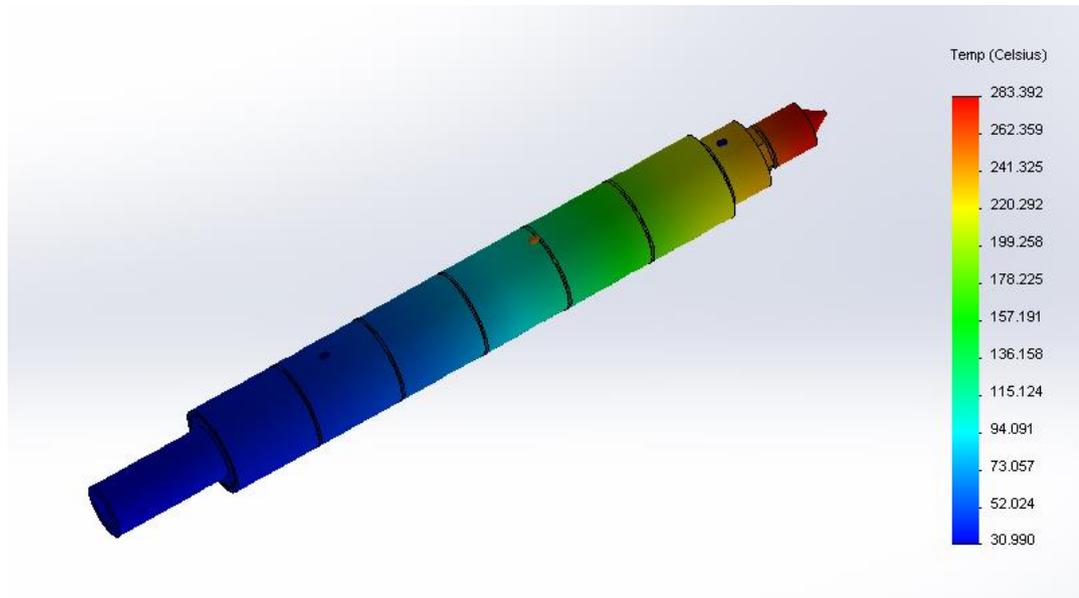


Figura 151. Distribución de calor para el ABS

Se puede apreciar en la **Figura 151** que la distribución de calor en las tres zonas es adecuada, ya que cada región tiene una temperatura que se encuentra dentro de los rangos que recomienda Goodship (2004), que son los siguientes:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 105°C

Zona de dosificación: 180°C a 260°C

Según estos requerimientos, y los obtenidos en la simulación, se puede concluir que es posible trabajar con este tipo de plásticos en la inyectora.

4.5.2.2 HD-PE

La distribución de temperatura para este polímero en el trayecto del cañón de inyección se da manera apropiada, se puede diferenciar las tres zonas por las que debe pasar el material en la **Figura 152**.

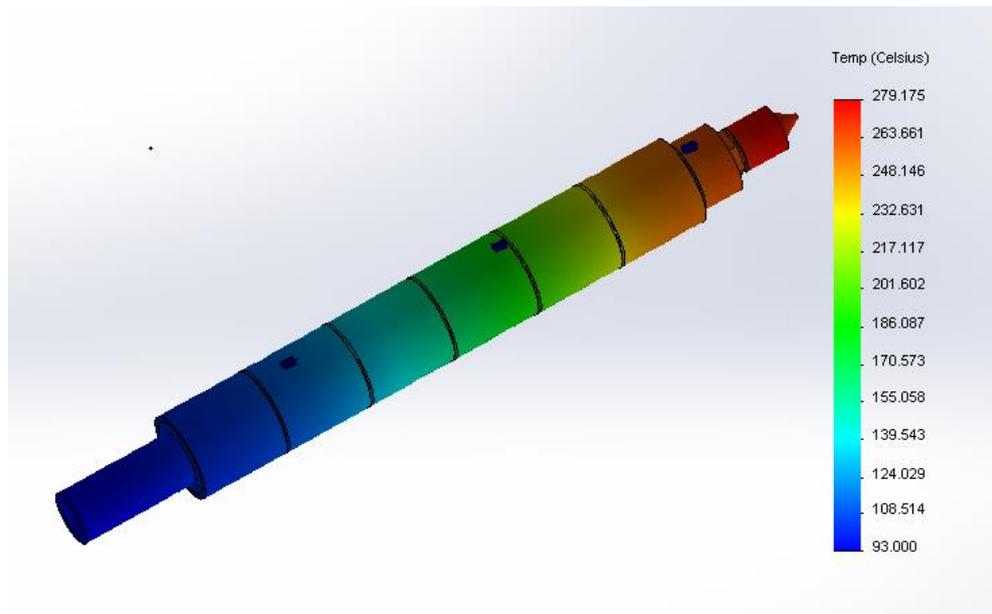


Figura 152. Distribución de calor para el HD-PE

Según Goodship (2004), las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 125°C a 140°C

Zona de dosificación: 250°C a 300°C

La temperatura máxima que se necesita sobrepasa los 250°C, lo cual hace que este plástico no sea idóneo para trabajar con esta inyectora. En la **Figura 221** (prueba de temperatura 1) se observa que luego de cuarenta minutos la temperatura del cañón es de aproximadamente 180°C, aumentando 1°C cada dos minutos, con tendencia a estabilizarse. La temperatura máxima que alcanza esta zona según estas pruebas es de 220°C, lo que significa que no se puede trabajar con este tipo de material.

Otro problema que se observa, es que la temperatura en la zona de alimentación alcanza temperaturas comprendidas entre 93°C a 130°C, lo que puede desembocar en que exista una obstrucción de material en esta zona.

4.5.2.3 LD-PE

La distribución de temperatura para este polímero se da manera correcta a lo largo del cañón. La temperatura máxima que debe alcanzar la zona de dosificación es posible adquirirla con un tiempo de espera considerable (mayor a 40 minutos). Observe la **Figura 153**.

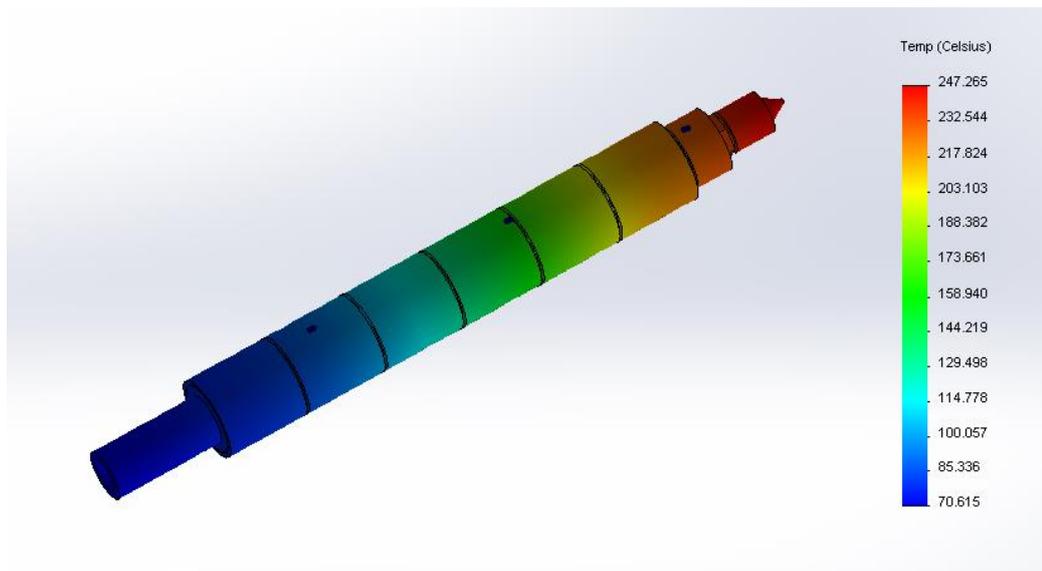


Figura 153. Distribución de calor del LD-PE

Goodship (2004) indica que las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 105°C a 115°C

Zona de dosificación: 210°C a 250°C

Según estos requerimientos, la zona de alimentación no cumple con las características de temperatura que se dan para el cañón, pero se observa que la temperatura en esta zona es menor a la de plastificación del material. Además no se considera el enfriamiento con agua que se tiene al principio del cañón, por lo que se puede concluir que es factible trabajar con este material.

4.5.2.4 POM

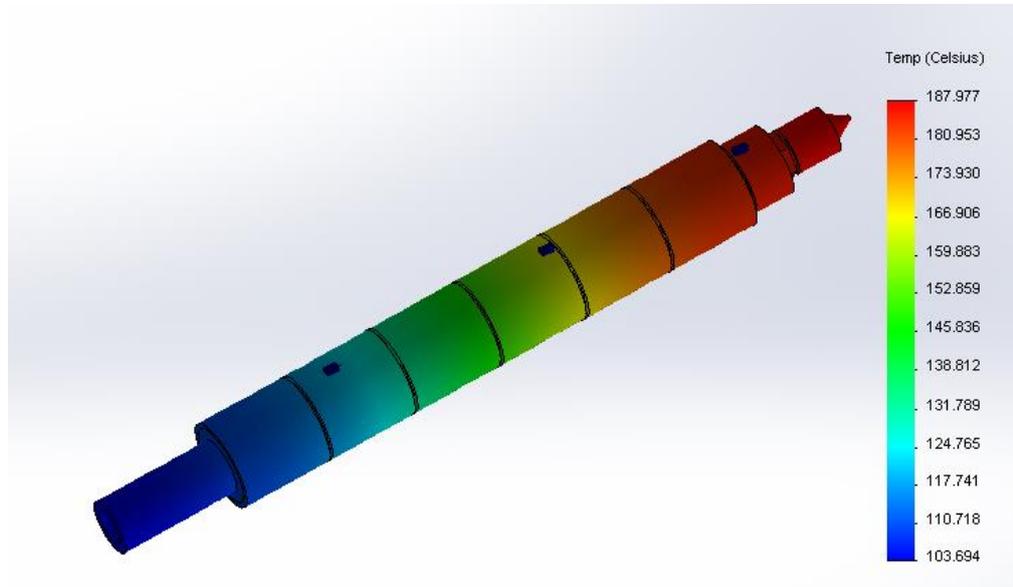


Figura 154. Distribución de calor para el POM

Al observar la **Figura 154** se puede apreciar que la distribución de temperatura, pese a ser homogénea, no se distingue entre la zona 2 y la zona 3. Esto se debe a que la zona 3 transfiere calor a la zona 2. Goodship (2004) menciona que las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 35°C a 45°C

Zona de plastificación: 165°C a 175°C

Zona de dosificación: 185°C a 215°C

En la zona 1, se tienen temperaturas mayores a los 100°C, alrededor de 60°C más de las recomendaciones explicadas anteriormente. Esta temperatura llega hasta alrededor de 140°C, temperatura menor a la temperatura de plastificado del material, por lo cual no existe ningún problema de obstrucción.

La temperatura máxima necesaria se puede lograr con el sistema de niquelinas. Por lo tanto, se puede concluir que la máquina puede trabajar con este tipo de polímeros.

4.5.2.5 PP

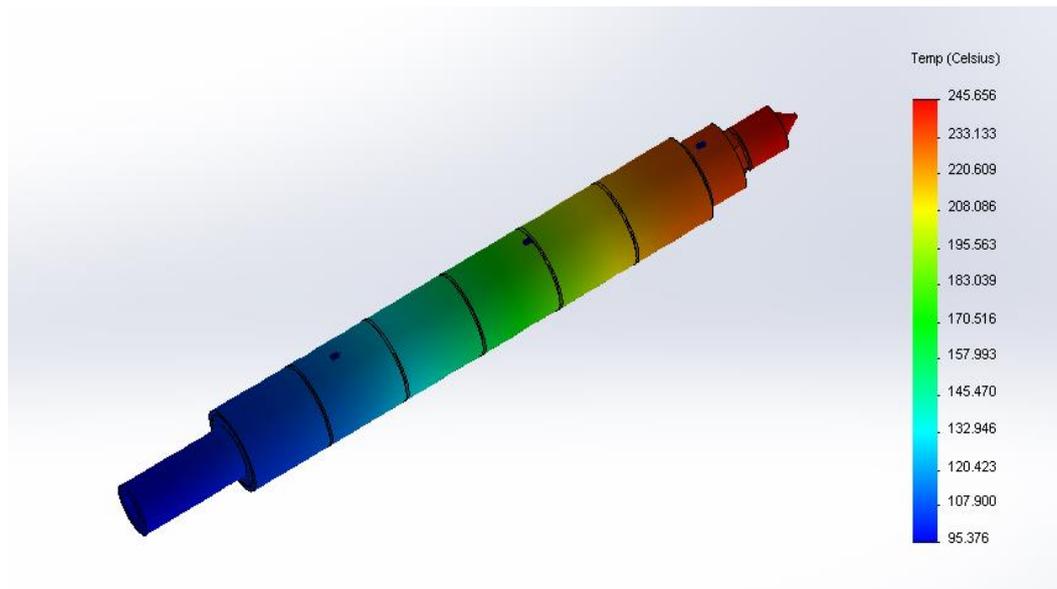


Figura 155. Distribución de calor para el PP

Goodship (2004) indica que las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 156°C a 168°C

Zona de dosificación: 220°C a 290°C

Según las recomendaciones, se puede observar que la zona 1 sobrepasa la temperatura requerida en más de 60°C, pero la temperatura en esta, es menor a la temperatura de plastificación del polímero. En la zona 2, y la zona 3, las temperaturas están dentro del rango requerido. Observe la

Figura 155.

Es posible que no se pueda trabajar con este material, debido a que la temperatura máxima que alcanza la zona de dosificación es de 220°C, que es la temperatura mínima recomendable.

4.5.2.6 PS

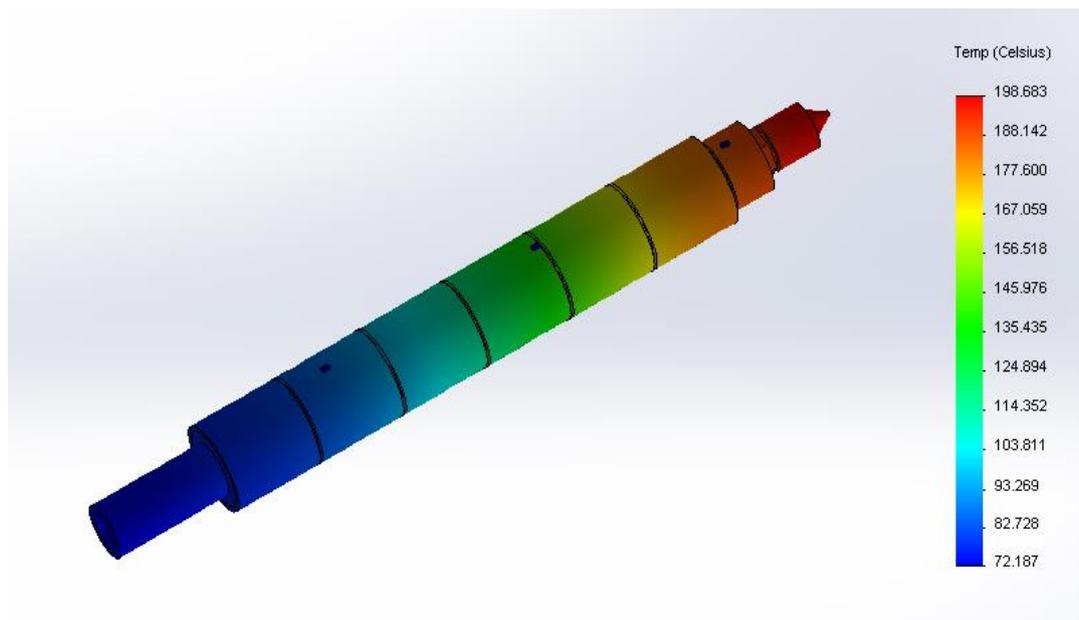


Figura 156. Distribución de calor para el PS

Goodship (2004) indica que las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 90°C

Zona de dosificación: 160°C a 230°C

Al observar la **Figura 156**, se puede determinar que la distribución de temperatura está dentro del rango recomendado, con lo que se puede concluir que este material se puede utilizar como materia prima en la inyectora de plástico.

4.5.2.7 PVC Rígido

Goodship (2004) sugiere que las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 80°C

Zona de dosificación: 160°C a 180°C

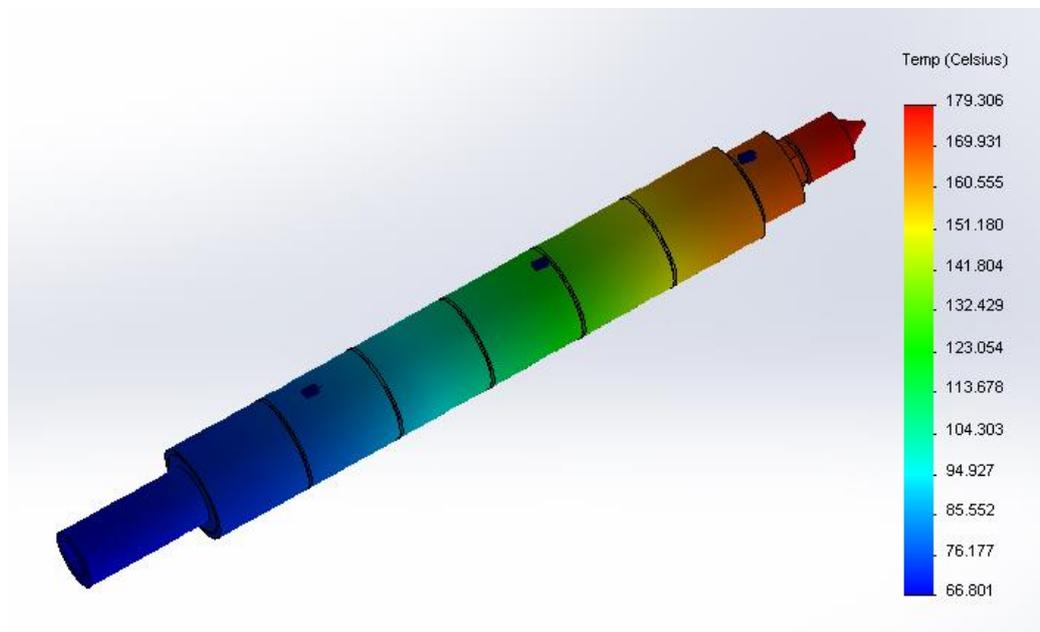


Figura 157. Distribución de calor para el PVC Rígido

En la **Figura 157**, se puede apreciar que la distribución de temperaturas es adecuada, el polímero puede plastificarse antes de entrar a la zona 2, pero esto se puede evitar con el enfriamiento del cañón, lo cual se implementará como parte del sistema de enfriamiento.

Se realizaron pruebas con este material, y la máquina funciona de manera correcta.

4.5.2.8 PVC Suave

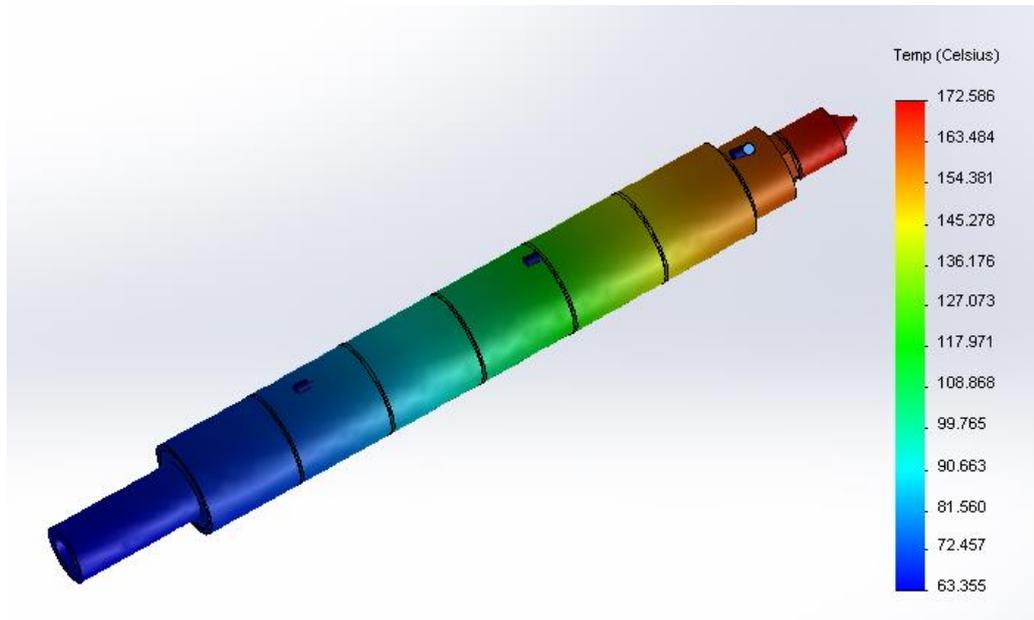


Figura 158. Distribución de calor para el PVC Suave

La distribución de temperaturas en el cañón es apropiado, se pueden distinguir claramente en el modelo las tres zonas de control de temperatura.

Según Goodship (2004), las temperaturas promedio en el cilindro deben ser:

Zona de alimentación: 30°C a 35°C

Zona de plastificación: 55°C a 75°C

Zona de dosificación: 150°C a 170°C

Se puede apreciar que en la zona de alimentación, la temperatura es mayor a 60°C, lo que significa que el polímero se plastificará en esta zona, posiblemente en la entrada al cañón, formando grumos que pueden obstaculizar el paso del material hacia la zona de plastificación. Observe la **Figura 158**.

Por esto, se recomienda trabajar con temperaturas más bajas en la zona 2, para evitar este problema. Se realizaron pruebas con este material, y mediante pruebas de falla y error se pudo obtener una calidad adecuada del material.

En la Mecánica Industrial "Rojas", donde se encuentra ubicada la inyectora de plástico, se utilizarán con mayor frecuencia las siguientes materias primas:

- PE de alta y baja densidad
- ABS
- PVC suave y rígido
- PS

De estos polímeros, el de difícil trabajo es el polietileno (PE) por la exigencia de una mayor temperatura en la zona de dosificación; mientras que con los demás polímeros no se encuentra ningún posible problema.

4.5.3 UBICACIÓN DE LOS SENSORES

Cuando la temperatura está controlada en el cañón, ésta asciende de forma lineal a lo largo del cañón, por lo que los sensores deben ser ubicados en la mitad de cada zona, con el fin de tener un valor promedio de cada una de las regiones.

Los sensores deben estar en contacto permanente con el cañón, mas no con las niquelinas, ya que se puede tener lecturas erróneas de temperatura. Además, deben estar sujetas de tal manera que no se muevan de su lugar en el proceso de inyección.

4.6 DISEÑO Y ANÁLISIS DE LLENADO DE CAVIDAD

En la mecánica industrial en donde se encuentra la máquina de inyección de plástico, se requiere la elaboración de nuevos moldes para la producción de tapas de botellas tipo spray. Una vez que se detalló las dimensiones y forma de la parte deseada se procedió a realizar el análisis de cavidad para dichos moldes. La parte a fabricar se puede apreciar en la **Figura 159**, asimismo las dimensiones se muestran en los planos respectivos de la sección de Anexos.



Figura 159. Tapa plástica para botellas tipo spray.

Este diseño se efectuará con la ayuda del software SolidWorks Plastics Premium que es un complemento de SolidWorks. Con esto, se podrá predecir de forma muy aproximada varios parámetros involucrados en el proceso de inyección.

4.6.1 PRUEBAS PRELIMINARES CON SOLIDWORKS PLASTICS

4.6.1.1 ANÁLISIS DE ÁNGULO DE SALIDA

Solidworks permite realizar el análisis de ángulo de salida, el mismo que sirve para determinar si todas las caras de la pieza tienen la suficiente inclinación para el desmoldeo. Para esto se requiere establecer la dirección de desmoldeo y el ángulo de salida. En la **Figura 160** aparece el análisis realizado en el software, en donde se comprobó un ángulo de salida es de al menos 1° . El color verde indica un ángulo de salida positivo, mientras que el rojo indica un ángulo de salida negativo. Con esto se evidencia que la pieza a ser moldeada no presentará problemas para la expulsión del molde.

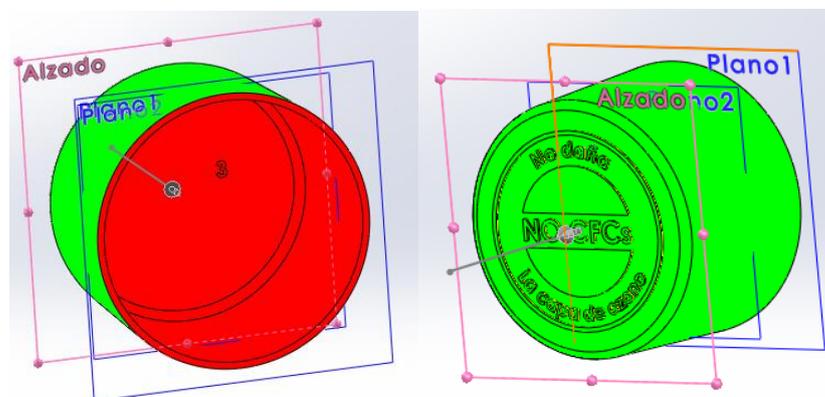


Figura 160. Verificación del ángulo de salida.

4.6.1.2 LLENADO DE UNA CAVIDAD

Con la parte plástica dibujada en SolidWorks, se accede a SolidWorks Plastics en donde el primer paso es añadir un canal de alimentación de plástico de dimensiones aproximadas, para luego realizar un mallado sólido de la parte, como se indica en la **Figura 161**.

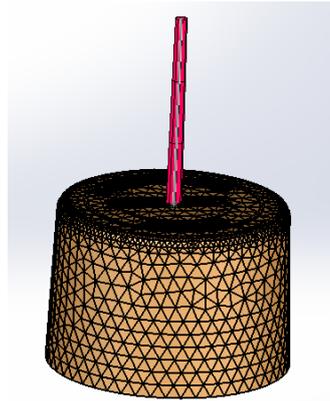


Figura 161. Mallado sólido de la tapa y del canal de alimentación.

Posteriormente, se elige el material de la parte, que en este caso es PVC suave como posible material; y además se establece la presión máxima de inyección que posee la máquina que es de 150 MPa. Con esto, se procede a ejecutar la simulación y a revisar los parámetros más importantes, en la **Figura 162** se muestra el proceso de llenado del plástico que conformará la pieza, y además se indica en la parte izquierda el tiempo de llenado de la cavidad.

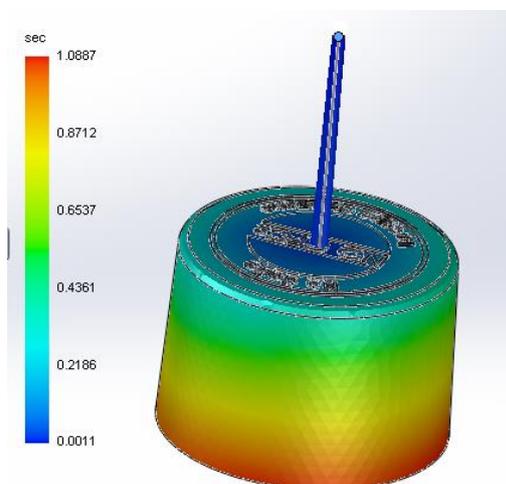


Figura 162. Prueba de llenado con una cavidad

Dentro de los parámetros más significativos que arrojó la simulación se encuentran los siguientes:

- Tiempo de llenado: 1.09 segundos
- Presión de inyección necesaria: 119 MPa
- Tiempo de enfriamiento: 7.37 segundos
- Porcentaje volumétrico de encogimiento máximo: 1.28%

En la **Figura 163** se muestra el gráfico de la simulación que representa el porcentaje volumétrico de encogimiento de la pieza. Prácticamente toda la parte tiene un encogimiento de aproximadamente el 0.3%, llegando a un encogimiento de 1.28% en el canal de estrangulamiento. Éstos representan valores muy bajos; por tal motivo, no hace falta aumentar el tamaño de la pieza para compensar el encogimiento debido a que la aplicación no requiere extrema precisión.

Usualmente los plásticos que presentan un encogimiento mayor al 0.6% requieren de un re-dimensionamiento de la parte para compensar el volumen perdido. (Téllez)

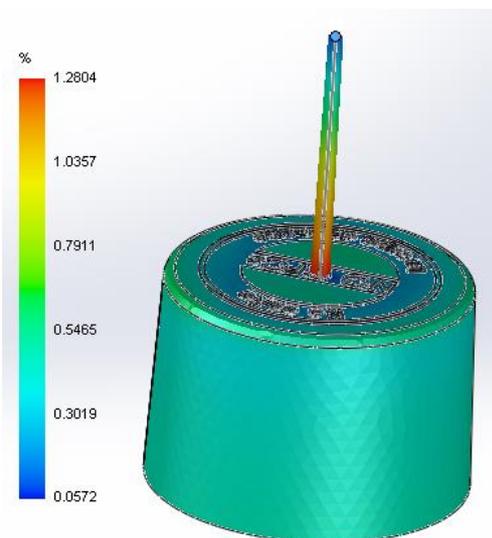


Figura 163. Porcentaje volumétrico de encogimiento de la pieza.

En lo que respecta a la presión de inyección, el software indica que la presión de inyección requerida no debe superar el 90% de la capacidad de

presión de inyección máxima de la máquina. Este porcentaje es de aproximadamente 79.33%, por lo que es factible la conformación de la parte en la inyectora a la que se hace referencia.

Además de los parámetros mencionados, el software también indica el volumen y masa total a inyectar para conformar la pieza, que en este caso son:

- Volumen: 15.74 cm³
- Masa: 22.12 g

Es importante también revisar los resultados de la simulación en cuanto a los atrapamientos de aire, ya que éstos pueden producir irregularidades en la pieza a moldear. La simulación en Solidworks despliega los resultados de la **Figura 164**, en donde se nota que existen estos atrapamientos en el borde de la pieza; sin embargo, al ubicarse éstos en el lugar de la línea de partición, el aire puede fugar y no se requiere canales de salida de aire adicionales.

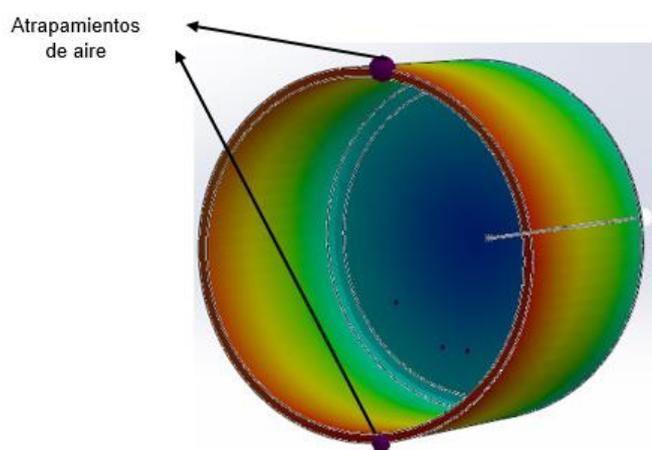


Figura 164. Simulación de los atrapamientos de aire.

En vista de que la capacidad de inyección es 60 gramos (70.29 g de PVC suave), se plantea la posibilidad de colocar dos cavidades en el molde. Menges & Mohren (1983) propone el cálculo de la cantidad de cavidades mediante la relación entre el peso o volumen máximo del material correspondiente que puede inyectar la máquina y el peso o volumen del

artículo, considerando un factor de 0.8. Entonces se tiene la ecuación 46 para el número de cavidades:

$$F1 = 0.8 * \frac{\text{peso o volumen máximo de inyección de la máquina}}{\text{peso o volumen de la pieza+canal de alimentación}} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$F1 = 0.8 * \frac{70.29 \text{ g}}{22.12 \text{ g}} = 2.54 \approx 2$$

El número de cavidades máximo teórico para el molde es de 2, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la presión de inyección necesaria va a aumentar. Por tal motivo, se realizó otra simulación en la que consten dos cavidades para evaluar la factibilidad de este posible diseño.

4.6.1.3 LLENADO DE DOS CAVIDADES

La simulación que el software proporcionó para la prueba de llenado con dos cavidades se muestra en la **Figura 165**. Aquí se aprecia que la presión de inyección de la máquina no es suficiente para poder llenar completamente las dos cavidades, y sucede lo que se conoce como inyección corta. Para solucionar las inyecciones cortas se tienen dos alternativas; se puede ocupar una máquina con una mayor presión de inyección, o a su vez aumentar el espesor de la pieza. En este caso ninguna de las dos alternativas es válida, por lo que se descarta este diseño; en consecuencia, se aprueba el diseño con una sola cavidad.

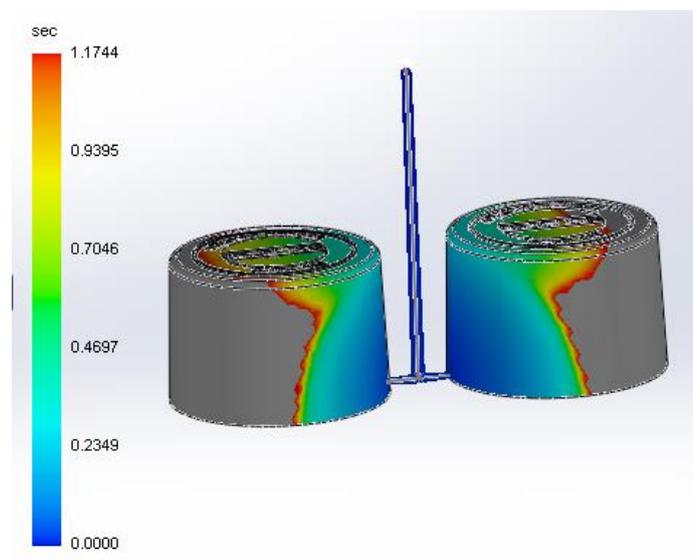


Figura 165. Prueba de llenado con dos cavidades.

4.6.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CONO DE BEBEDERO Y CANAL DE ESTRANGULAMIENTO

En los moldes simples, el sistema de alimentación muchas veces está constituido únicamente por el canal cónico de entrada. Éste se conoce como bebedero cónico o mazarota cónica. Jones (2008) indica que el bebedero debe tener un ángulo de inclinación de 1.5 a 2.5 grados a cada lado, con la finalidad de facilitar la extracción del molde de la pieza conformada.

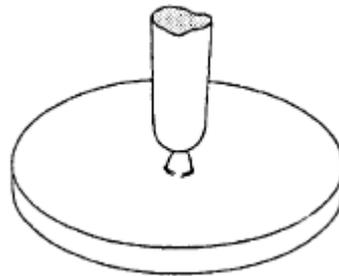


Figura 166. Bebedero y canal de estrangulamiento.

Fuente: Goodship, V. (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Shawbury: Rapra Technology Limited.

El tipo de configuración de bebedero y canal de estrangulamiento se muestra en la **Figura 166**; para el cual Jones (2008), plantea que el diámetro del bebedero en la entrada a la cavidad debe ser de aproximadamente el doble del grosor de la parte a moldear; además indica que la longitud del canal de estrangulamiento debe ser lo más pequeño posible para evitar excesivas caídas de presión, por lo que recomienda rangos de 1 a 1.5 mm. El autor también menciona que existe una ecuación obtenida de forma empírica para determinar el diámetro del canal de estrangulamiento (Ecuación 47):

$$d = NC\sqrt[4]{A} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde, N y C son factores empíricos (se muestran en la **Figura 167**) y A es el área total de la superficie (no el área proyectada) en mm^2 .

Empirical factors for C and N						
Wall thickness of product (mm)	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
Value of C	0.178	0.206	0.230	0.242	0.272	0.294
Value of N: 0.6 (PE, PS) 0.7 (PC, PP, acetal) 0.8 (Nylon) 0.9 (PVC)						

Figura 167. Factores empíricos para C y N.

Fuente: Jones, P. (2008). The Mould Design Guide. Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited.

Con la aplicación de estos criterios se tiene lo siguiente:

- **Diámetro menor del bebedero:**

diámetro de bebedero $\cong 2 * \text{grosor de pared de la pieza}$ **Ecuación 48**

$$\text{diámetro de bebedero} \cong 2 * 1.5 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$$

El diámetro menor del bebedero calculado es de 3 mm, sin embargo se ha tomado un diámetro de 4 mm para cumplir con el ángulo de inclinación del bebedero.

- **Longitud para el canal de estrangulamiento:** 1 mm
- **Diámetro del canal de estrangulamiento:** Los factores empíricos se obtuvieron de la **Figura 167**, mientras que el valor del área de superficie se obtuvo de Solidworks.

$$d = 0.9 * 0.242 * \sqrt[4]{20942.26}$$

$$d = 2.62 \text{ mm}$$

Sin embargo, Goodship (2004) indica que el canal de estrangulamiento en este tipo de configuración no debe ser menor de 0.6 mm o mayor que 2 mm. Por tal razón, se consideró que el diámetro del canal de estrangulamiento sea de 2 mm.

Con estas consideraciones, las dimensiones del bebedero y canal de estrangulamiento son las que se aprecian en la **Figura 168**. La longitud del bebedero aún no se puede determinar debido a que depende del espesor de la pared del molde.

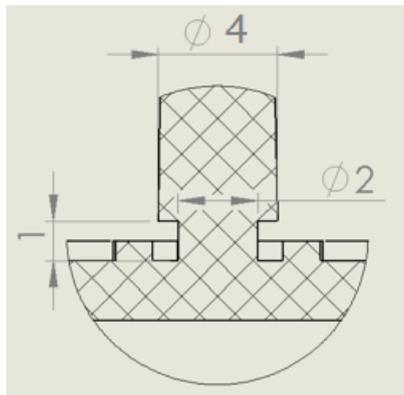


Figura 168. Vista en detalle de las dimensiones del bebedero y canal de estrangulamiento.

CAPÍTULO V

SISTEMA ELÉCTRICO

5.1 GENERALIDADES

Este capítulo incluye el diseño y la implementación del sistema eléctrico/electrónico de la máquina inyectora de plástico, tanto las conexiones de alimentación, como las de potencia y de control. La elaboración de este capítulo se basa en las alternativas de solución analizadas en el Capítulo Diseño Conceptual.

El diseño del sistema eléctrico abarca los siguientes módulos:

- Energización del circuito de potencia
- Energización circuito de control
- Ingreso de parámetros de funcionamiento
- Plastificación de materia prima
- Enfriamiento de pieza
- Enfriamiento de sistema

El gabinete principal, es donde se implementará el diseño del sistema eléctrico. Los gabinetes cumplen la función de recibir la energía eléctrica y distribuirla por medio de conductores a las cargas de los circuitos derivados; éstos se protegen individualmente para sobrecorrientes y cortocircuitos mediante fusibles o interruptores termomagnéticos.

Los gabinetes de control deben ser ordenados y sus elementos correctamente identificados, incluyendo los cables, para que su mantenimiento sea fácil, rápido y seguro.

El gabinete actualmente se encuentra totalmente desordenado como se puede observar en la **Figura 169**, por lo que es conveniente realizar un diseño total del sistema eléctrico. Para ello, es importante analizar los

sectores en los que se dividirá el tablero, la disposición de los elementos y su respectiva identificación tanto en planos como en el gabinete físico.



Figura 169. Gabinete principal original.

Para el diseño del gabinete de control, se usará la norma UL 508A, la cual propone una serie de guías y sugerencias en la construcción de tableros que incluyen la selección adecuada de componentes, métodos de cableado y el cálculo de corrientes de cortocircuito para protecciones.

5.2 UBICACIÓN DE LOS GABINETES ELÉCTRICOS

Se ha establecido dos gabinetes eléctricos numerados y una caja de borneras. El gabinete 1, es el gabinete principal, donde se encontrarán tanto los elementos de control como de manejo; es decir, fuentes, PLC, relés, contactores, arrancador para motor y protecciones.

En la caja de borneras (gabinete 2) ubicado sobre la máquina, se ubican las conexiones de las electroválvulas, finales de carrera y botonera. Éstas a su vez se conectan con el gabinete 1 mediante manguera.

En el gabinete 3, que se ubicará sobre la máquina, se encontrarán las conexiones del sistema de calentamiento de niquelinas, sensores de temperatura y su acondicionamiento de señal, así como también las conexiones del sistema de enfriamiento.

En el **Cuadro 11** se resumen los sistemas que se encontrarán en cada gabinete.

Es indispensable establecer la localización de los gabinetes que se necesitan para las conexiones de los elementos eléctricos ubicados en la máquina y los elementos que se encuentran en el gabinete principal. En la **Figura 170** se puede apreciar el diseño de las ubicaciones de cada uno de éstos y con línea punteada, las conexiones eléctricas generales hacia la inyectora.

Cuadro 11. Descripción de los gabinetes eléctricos.

GABINETES ELÉCTRICOS	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Gabinete 1	Conexión eléctrica principal: alimentación, circuito de control, circuito de potencia.
Gabinete 2	Conexiones de electroválvulas, finales de carrera y botonera sobre la máquina.
Gabinete 3	Conexiones de niquelinas, termocuplas, acondicionamiento, y sistema de enfriamiento.

El gabinete principal estará situado en la parte derecha de la máquina, de tal manera que el operador pueda manejar la inyectora desde el touch-panel y/o de la botonera sobre la máquina.

La alimentación principal a la máquina llega a este gabinete por la manguera 1, de este gabinete salen tres mangueras más. La manguera 2, conectará el gabinete 2 al gabinete principal, este lleva las conexiones de finales de carrera, electroválvulas, botonera.

La manguera 3, conecta el gabinete principal con el gabinete 3. En éste se encuentran las conexiones de las niquelinas, los termopares, y la conexión para la bomba 2 (bomba de agua). Este gabinete será añadido en el nuevo diseño.

La manguera 4, conecta el gabinete principal con el motor de la bomba 1 (bomba oleohidráulica).

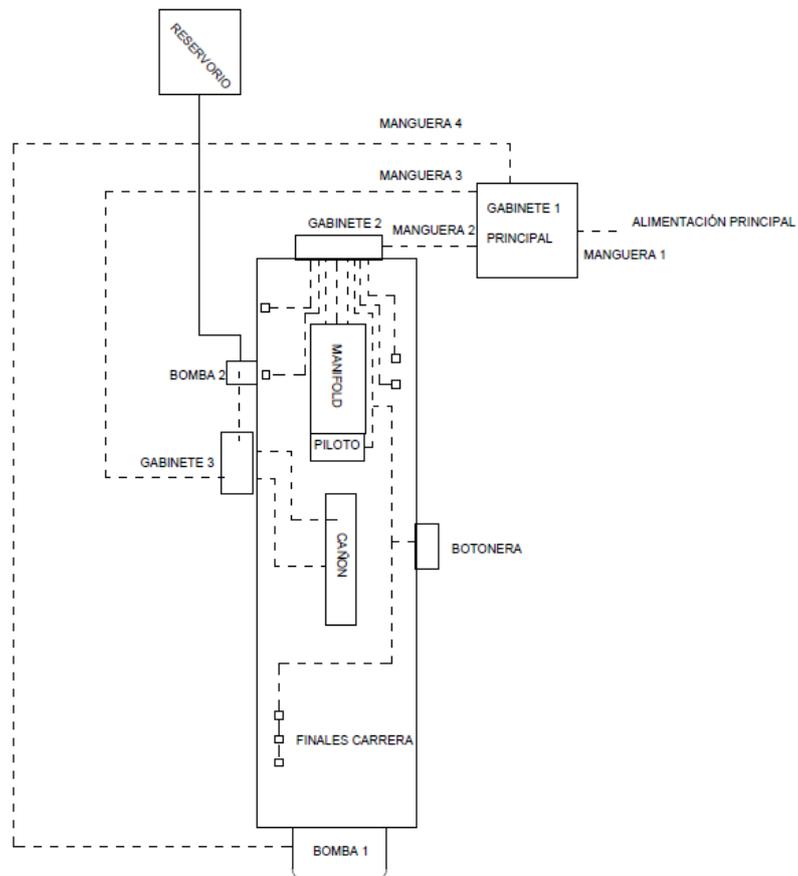


Figura 170. Ubicación de gabinetes, y tendido eléctrico a realizar.

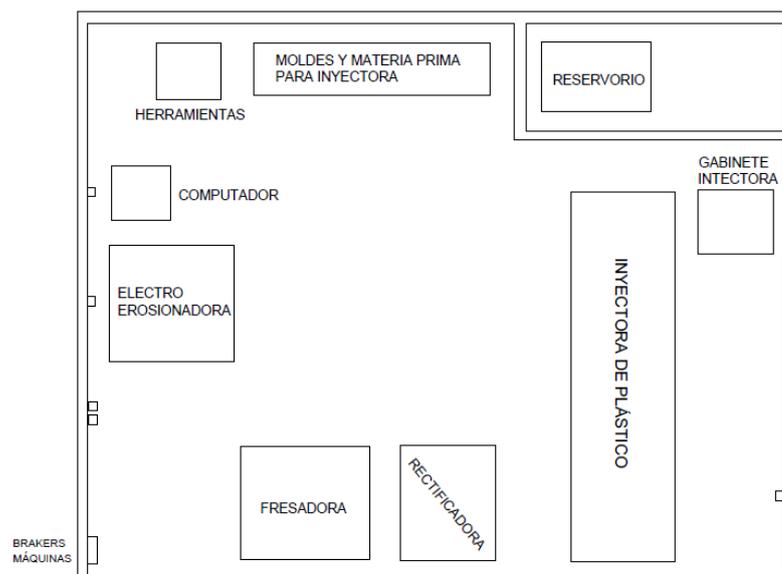


Figura 171. Ubicación de la inyectora.

En la **Figura 171** se muestra la ubicación de la inyectora dentro de la mecánica, de esta manera se puede tener una referencia de cómo se dispondrán los gabinetes y las partes que componen a la inyectora.

5.3 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN AC Y DC DE BAJO VOLTAJE

Anteriormente el control funcionaba con lógica negativa, pero en el nuevo diseño del circuito de control se utilizará 24 VDC con lógica positiva. Este cambio se implementa por la forma de funcionamiento del PLC Siemens S7-1200.

El circuito para la alimentación DC se conservará tal como la original, utilizando los mismos componentes y calibre de cable. A este circuito se aumentará la alimentación AC de bajo voltaje (48 VAC) con la que se alimentará el circuito acondicionador para las señales de las tres termocuplas que medirán la temperatura de las tres zonas del cañón. En la **Figura 172** se observa el diseño del circuito.

Se toma el voltaje de 220 VAC del sistema de alimentación principal, el cual luego pasa por un breaker como protección. A continuación, se reutilizará el filtro LC de la máquina, con lo cual la impedancia será mínima. Luego de esto se tendrá un transformador 220 VAC/48 VAC con el que se alimentará hacia el gabinete 3 al circuito acondicionador de los sensores, y a un circuito rectificador de 24 VDC que alimentará el común de salidas del PLC, los relés, selectores, pulsadores y fines de carrera.

5.4 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA

Los elementos de potencia que conforman el circuito eléctrico de la inyectora de plástico son:

- Motor eléctrico trifásico Siemens, de 15 HP, conectado a 220 VAC, 1450 rpm para bomba de aceite hidráulico.
- Motor eléctrico trifásico WEG, de 2 Hp, conectado a 220 VAC, 3400 rpm para bomba de agua de enfriamiento.
- Niquelinas de 550 W conectadas a 220 VAC.

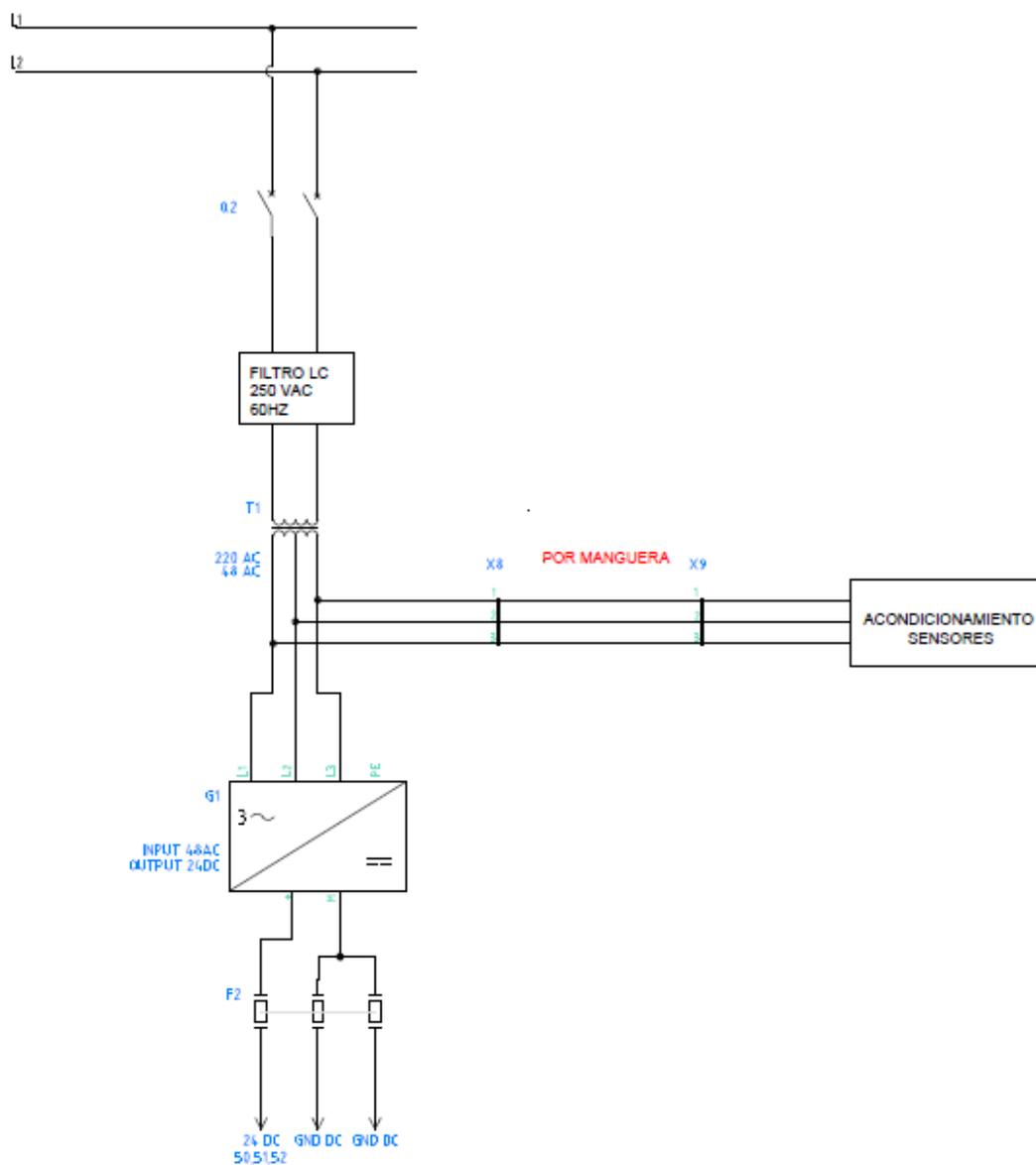


Figura 172. Diseño del circuito de alimentación AC y DC de bajo voltaje.

Según la norma UL 508A, en cuanto a las conexiones de los motores eléctricos, se recomiendan las siguientes características a modo de funciones y los dispositivos para su implementación.

- **Desconexión:** Se debe tener la capacidad de desconectar todos los cables energizados, para esto se utiliza switches, caja moldeada.

- **Protección de sobrecorrientes y cortocircuitos:** Para esta función se utiliza fusibles o breakers.
- **Control del motor:** Se utiliza contactores, variadores de velocidad, entre otros.
- **Protección de sobrecargas:** Para esto se utiliza relé térmico, o existen dispositivos como los arrancadores que ya tienen esta función, y hace innecesario el uso de relé térmico.

Luego, se mostrará el diseño de los circuitos de los dos motores y de las niquelinas, en el que se tomó en cuenta las guías que indica la norma mencionada.

5.4.1 MOTOR SIEMENS

Para este motor se decidió utilizar un arrancador suave que tenga incorporado las funciones de sobrecarga.

5.4.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES

El dimensionamiento de los componentes de esta parte del circuito, se basan en las características del motor, esto es, en su corriente a plena carga y su voltaje.

a) Arrancador

Debe seleccionarse un arrancador que posea protecciones para sobrecargas, en el mercado existen muchas marcas que ofrecen varios tipos de arrancadores, se decidió utilizar el siguiente dispositivo: Arrancador ASAC-0/030/4/1 de electrónica Saterno.

En la **Figura 173** se puede observar las características de este arrancador.

Para la conexión del arrancador, se siguió las recomendaciones de la ficha técnica, en la **Figura 174** se observa su conexión de potencia, y en la **Figura 175** su conexión para el control.

Soft Starter Model	Applicable motor power					FLC*
	200-240Vac kW	380-415Vac kW	440Vac kW	460-500Vac kW	575Vac kW	A
ASAC-0/ASAC-1 007	4,5	9,2	9,2	11	11	18
ASAC-0/ASAC-1 015	9,2	15	18,5	18,5	22	34
ASAC-0/ASAC-1 018	11	18,5	22	22	30	42
ASAC-0/ASAC-1 022	11	22	30	30	37	48
ASAC-0/ASAC-1 030	15	30	37	37	45	60
ASAC-0/ASAC-1 037	22	37	45	45	55	75
ASAC-0/ASAC-1 045	22	45	55	55	55	85
ASAC-0/ASAC-1 055	30	55	55	55	75	100
ASAC-0/ASAC-1 075	45	75	75	90	110	140
ASAC-0/ASAC-1 090	55	90	90	110	132	170
ASAC-0/ASAC-1 110	55	110	110	132	160	200
Soft starter power supply	200-440Vac			460-575Vac		

Figura 173. Características del arrancador.

Fuente: Manual Asac Soft Starter.

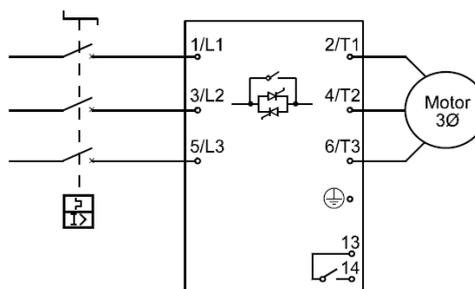


Figura 174. Conexión de potencia para el arrancador.

Fuente: ASAC Compact Soft Starter User Manual

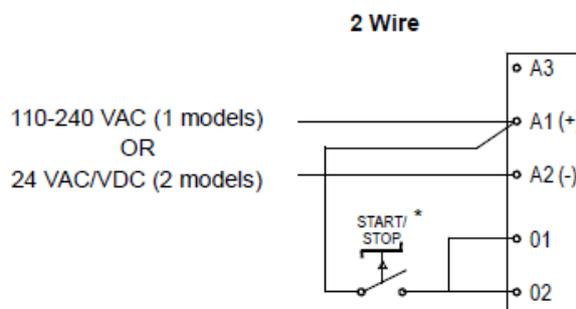


Figura 175. Conexión del control de arranque.

Fuente: ASAC Compact Soft Starter, User Manual

b) Fusibles y cables

Para la selección de fusibles y cables, se tomaron en cuenta las recomendaciones de Enríquez (1994), donde se indica que el fusible debe ser dimensionado con el 300% de la corriente nominal a plena carga en el caso de un motor monofásico o polifásico.

Entonces se tiene:

$$I_F = I_n * 3 \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde, I_F es la corriente para dimensionar el fusible y I_n es la corriente nominal del motor. La corriente nominal para un motor trifásico de 15 HP a 220 VAC es de 44 A según Enríquez (1994). Entonces se tiene que:

$$I_F = 44 * 3 = 132 \text{ A}$$

Luego, se concluye que se deben elegir fusibles de 150 A (valor estándar).

Para el cálculo del número de cable, Enríquez (1994) indica que se debe usar el 125% de la corriente nominal.

$$I_W = 1.25 * I_n \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde, I_W es la corriente para dimensionar el cable.

$$I_W = 1.25 * 44 = 55 \text{ A}$$

Entonces el cable a elegir es el AWG 6 THW que tiene una ampacidad de 65 A.

Como se indica en la **Figura 176**, al gabinete principal llegan las tres fases de alimentación, las cuales pasan por el switch general de encendido, luego de esto se tendrá un juego de fusibles como protección contra corto circuitos, a continuación se conectará el arrancador electrónico y por la manguera 4 se incorporará el cable hasta el motor de la bomba 1.

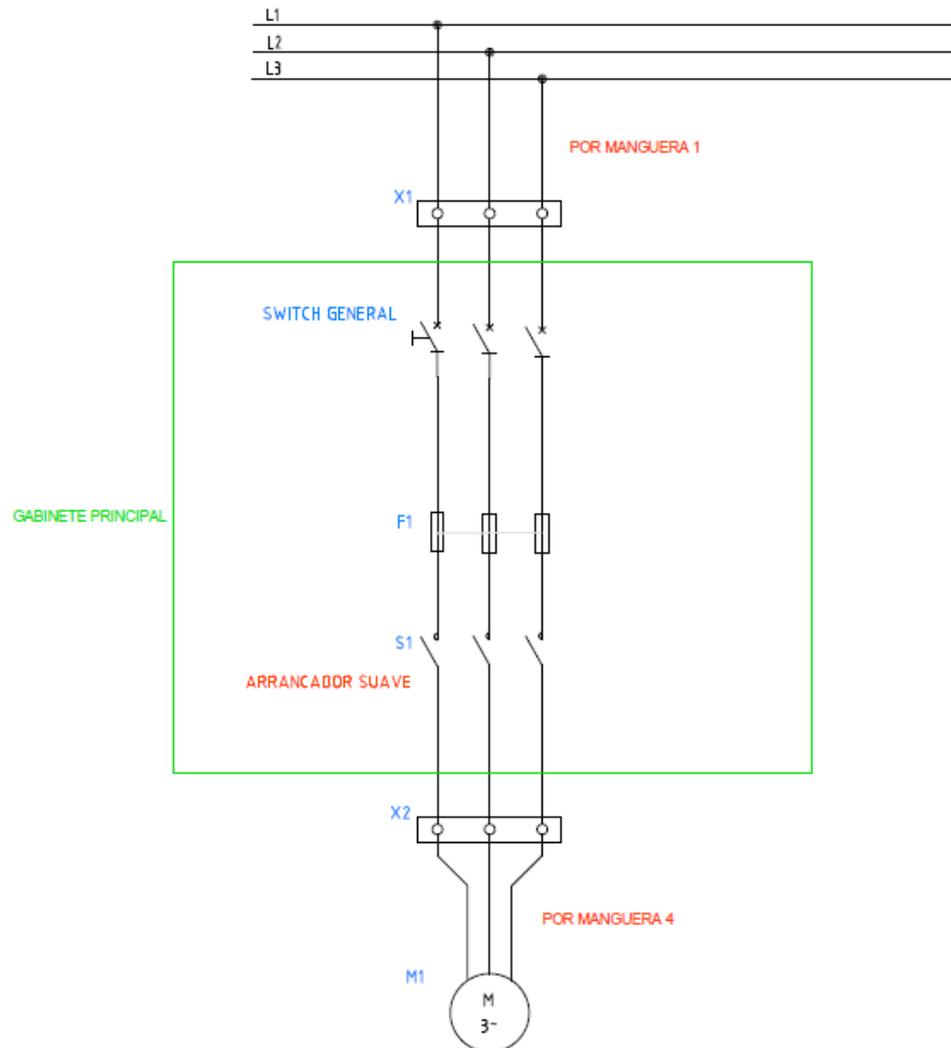


Figura 176. Diseño del circuito de potencia para motor de 15 HP.

5.4.2 MOTOR WEG

Ya que a este motor se lo considera de baja potencia, se puede utilizar un arranque directo, por lo que el circuito de potencia sería el que se muestra en la **Figura 177**. Este circuito debe poseer las protecciones para el motor, en este caso un breaker, y un elemento de manejo, es decir, un contactor trifásico.

Se optó por implementar este circuito en el gabinete 3, donde se encontrará tanto el sistema eléctrico para calentamiento, como para enfriamiento.

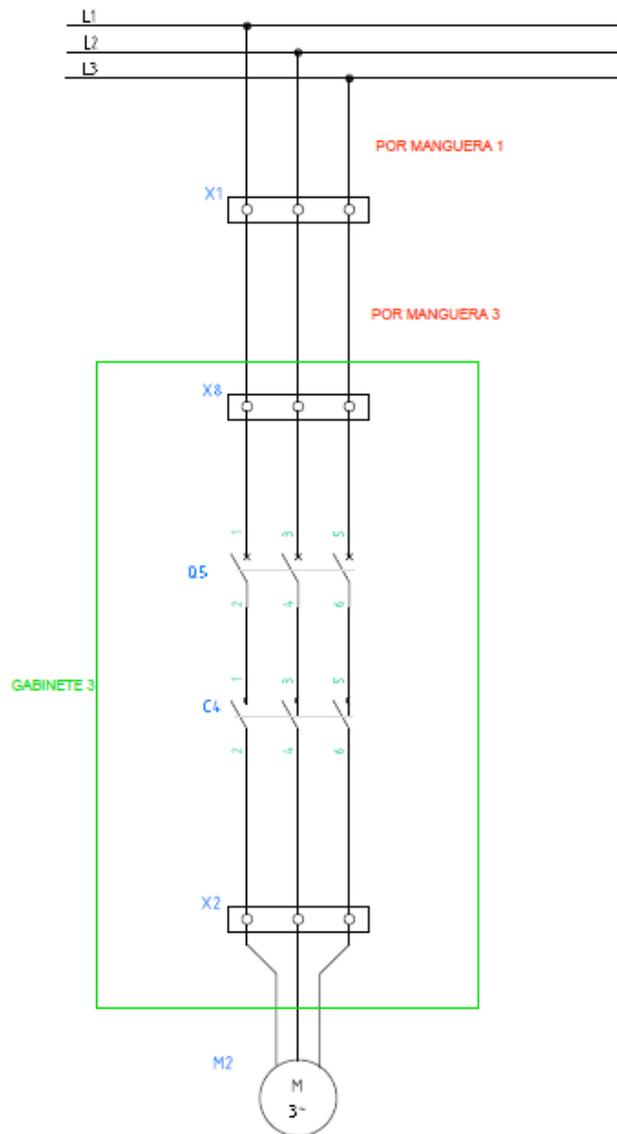


Figura 177. Diseño del circuito de potencia para motor de 2Hp.

5.4.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES

a) Breaker trifásico normalmente abierto y calibre de cable

Para el cálculo de los elementos de protección se utilizó la **Figura 178** que propone Enríquez (1994), que indica la capacidad que debe tener el breaker y además el calibre de cable. Para este motor trifásico se determina que se debe usar un breaker de 10 A y cable calibre 14 AWG.

MOTORES TRIFASICOS 220 VCA 60 Hz.				
1/2	2.1	14	14	3.2
3/4	2.9	14	14	4.5
1	3.8	14	14	5.6
1/12	5.4	14	14	8
2	7.1	14	14	10
3	10.0	14	14	15
5	15.9	12	12	25
7 1/2	23.0	10	10	35

Figura 178. Tabla para selección de interruptores tipo fusibles en aplicación de protección a motores individuales.

Fuente: Enríquez, G. (1994). Guía Práctica para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas. México: Limusa.

b) Contactor para control

El motor tiene como corriente nominal 7.1 A, por lo que es necesario un contactor que soporte esta corriente. Se seleccionó un contactor trifásico de contactos normalmente abiertos de 10A a 220V y con bobina de 24V para su control.

5.4.3 NIQUELINAS

Según la norma UL 508A, para los elementos de calor, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- Máxima corriente a proteger: 60A
- Dimensionamiento de los elementos para protección de mínimo 125% de la corriente nominal.

El circuito para la conexión de potencia de las niquelinas se muestra en la **Figura 179**.

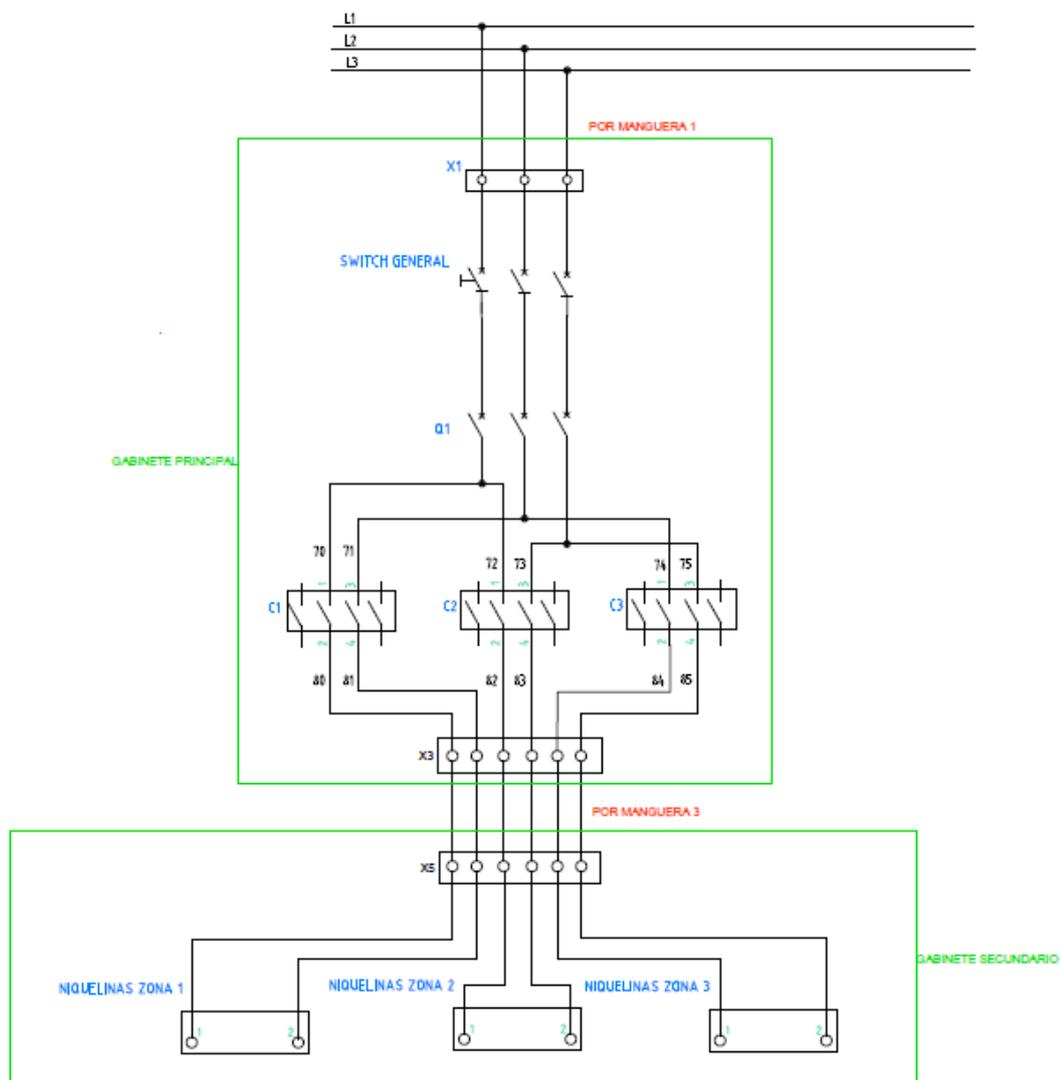


Figura 179. Diseño del circuito de potencia para niquelinas.

La energía trifásica a 220VAC luego de pasar por el switch general de encendido llega a un juego de breaker de tres fases, como protección para sobrecargas y cortocircuitos de la conexión de potencia de las niquelinas. Luego de esto se tiene tres contactores, cada uno manejará la activación o desactivación de la energía eléctrica para cada zona. Se debe tener las cargas equilibradas en cada zona.

5.4.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE COMPONENTES

Para la selección de los elementos de protección se tiene que calcular la corriente nominal de las niquelinas.

a) Contactores

Zona 1: Para esta zona se deben conectar tres niquelinas de 550W en paralelo que corresponde al 60% de la longitud del cañón.

$$I_{TOTAL1} = \sum I_{niquelinas\ 1} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$I_{TOTAL1} = 3 * 2,5A$$

$$I_{TOTAL1} = 7,5A$$

Entonces, la corriente del contactor C1 es:

$$I_{C1} = 1,25 * 7,5 \approx 9,5A$$

Zona 2: Para esta zona se deben conectar dos niquelinas de 550W en serie que corresponde al 20% de la longitud del cañón.

$$I_{TOTAL2} = \sum I_{niquelinas\ 2} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$I_{TOTAL2} = 2 * 2,5$$

$$I_{TOTAL2} = 5A$$

Entonces, la corriente del contactor C2 es:

$$I_{C2} = 1,25 * 5 \approx 6,5A$$

Zona 3: Para esta zona se debe conectar 3 niquelinas, una de 550W y dos de 250W, estas dos últimas son de menor tamaño y corresponden a la punta del cañón.

$$I_{TOTAL3} = \sum I_{niquelinas\ 1} \quad \text{Ecuación 53}$$

$$I_{TOTAL3} = 2,5 + 1,13 * 2$$

$$I_{TOTAL3} = 4,75 A$$

Entonces, la corriente del contactor C3 es:

$$I_{C3} = 1,25 * 4,75 \approx 6A$$

Una vez calculadas las corrientes que deben soportar los contactores C1, C2 y C3, se concluye que se necesitan contactores de mínimo 10 A. Anteriormente se encontraban tres contactores de 25A, los mismos que serán reutilizados. Estos contactores se muestran en la **Figura 180**.



Figura 180. Contactores para niquelinas.

b) Breaker

Para el dimensionamiento del breaker se deben sumar las intensidades que llegan a cada uno de los tres puertos. En la **Figura 179** se aprecia cómo irá realizada la conexión, esto tratando de que las cargas se encuentren equilibradas. La suma de las corrientes para cada uno de los puertos será la siguiente:

$$I_{p1} = 9,5 + 6,5 = 16A$$

$$I_{p2} = 9,5 + 6 = 15,5A$$

$$I_{p3} = 6,5 + 6 = 12,5A$$

Por esta razón se debe utilizar un breaker de 20A. Anteriormente estaba instalado un breaker tripolar de esta capacidad, el cual será reutilizado.



Figura 181. Niquelinas nuevas, y anteriores.

5.4.4 CIRCUITO DE POTENCIA ELECTROVÁLVULAS Y BOBINAS DE CONTACTORES 220VAC

Las señales de salida del PLC activarán una serie de relés, los cuales permitirán la activación de las electroválvulas a 220V. Se debe destacar, que en este punto del diseño del sistema eléctrico, ya se había reconocido la función de cada electroválvula, algunas de éstas no servían para realizar ninguna acción sobre el circuito hidráulico, ya que sus vías de trabajo estaban bloqueadas como se explicó en el Capítulo Reconocimiento de la Máquina.

En la sección de Anexos se presenta el diseño del circuito de potencia de las electroválvulas y contactores, todos estos activados a 220 VAC.

Los relés que se utilizarán para la implementación de este circuito, serán los mismos que se encontraban en el diseño original, éstos se pueden observar en la **Figura 182**. Éstos relés son de contacto normalmente abierto, un normalmente cerrado y resisten 7A conectados a 240V (1/3Hp).



Figura 182. Relé del conjunto de relés de control.

5.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

El diseño del circuito de control se basa en las entradas y salidas del PLC. Las entradas hacia el PLC deben ser señales de 24VDC, éstas constan de pulsadores, selectores y finales de carrera. El reconocimiento de las entradas hacia el PLC se muestra en el Capítulo Sistema de Control. En este apartado se indica sólo el conexionado de éstas.

5.5.1 ENTRADAS DEL PLC

Las conexiones de entrada hacia el PLC deben permitir enviar señales de 24 VDC, desde los diferentes selectores, botones y finales de carrera, así

como tres señales análogas provenientes del circuito acondicionador de señales.

Un esquema de las entradas analógicas se muestra en la **Figura 183**, mientras que el circuito de las entradas digitales hacia el PLC, se muestran en la sección de Anexos.

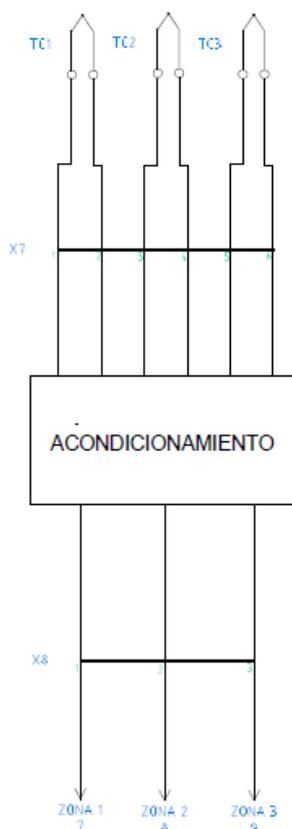


Figura 183. Entradas analógicas a PLC.

5.5.2 CONEXIONADO DEL PLC

Para el conexionado del PLC, es importante leer la guía técnica, donde se explica paso a paso cómo realizarse. En base a esto, y luego de haber probado el PLC por separado, se realizó el diseño del conexionado del PLC, donde constan las entradas y las salidas.

En la **Figura 184**, **Figura 185**, **Figura 186** se muestra la conexión de entradas y salidas del PLC a su CPU y a sus módulos.

5.5.3 SALIDAS A RELÉS DE CONTROL

Las salidas del PLC activan diferentes relés que permiten energizar bobinas de electroválvulas y contactores. En la sección de Anexos se muestra el diseño de esta parte del circuito eléctrico, con el que se puede apreciar la correlación entre sistemas.

En el Capítulo Sistema de Control se menciona la asignación de entradas y salidas al PLC.

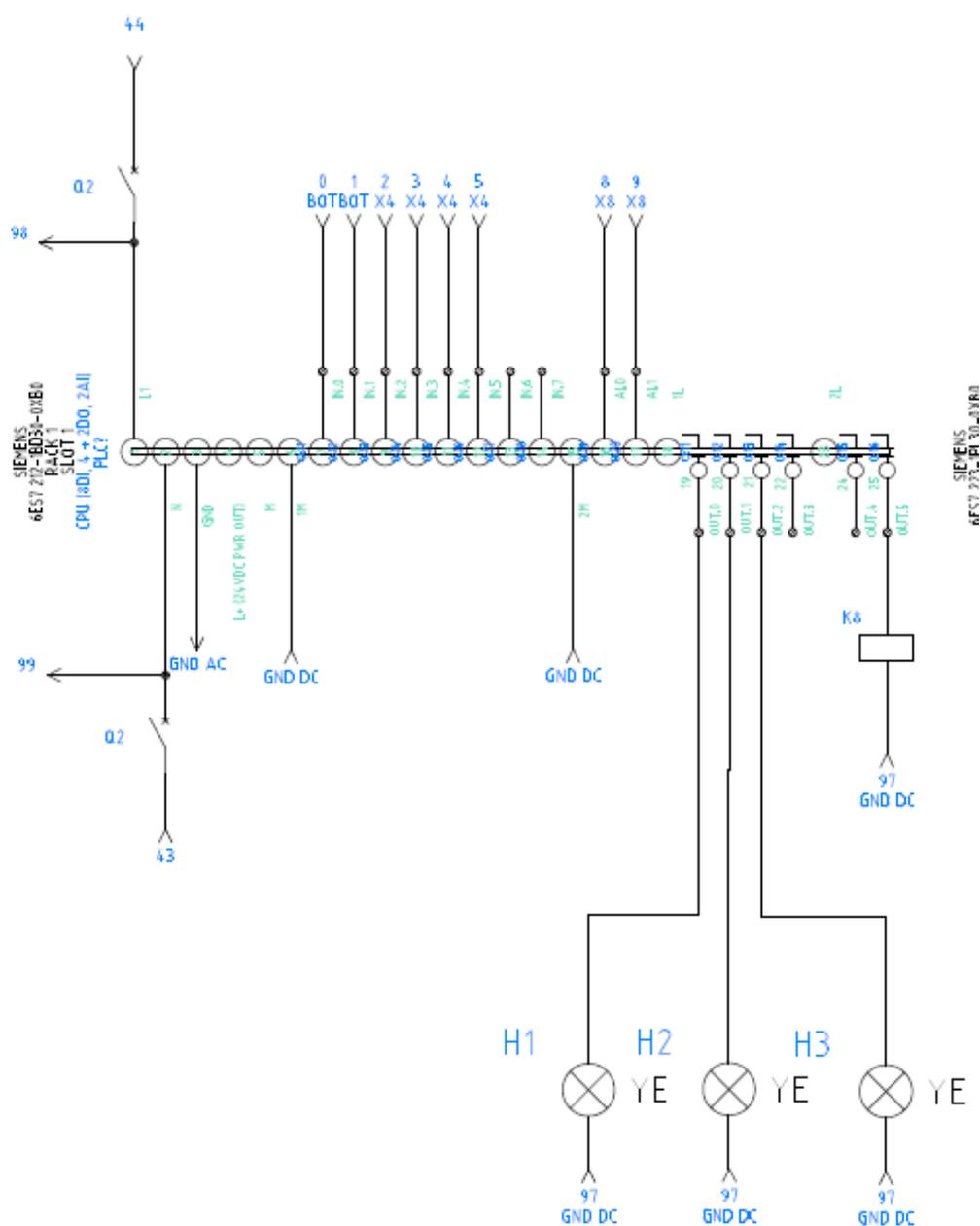


Figura 184. Conexión del CPU del PLC SIEMENS 1200.

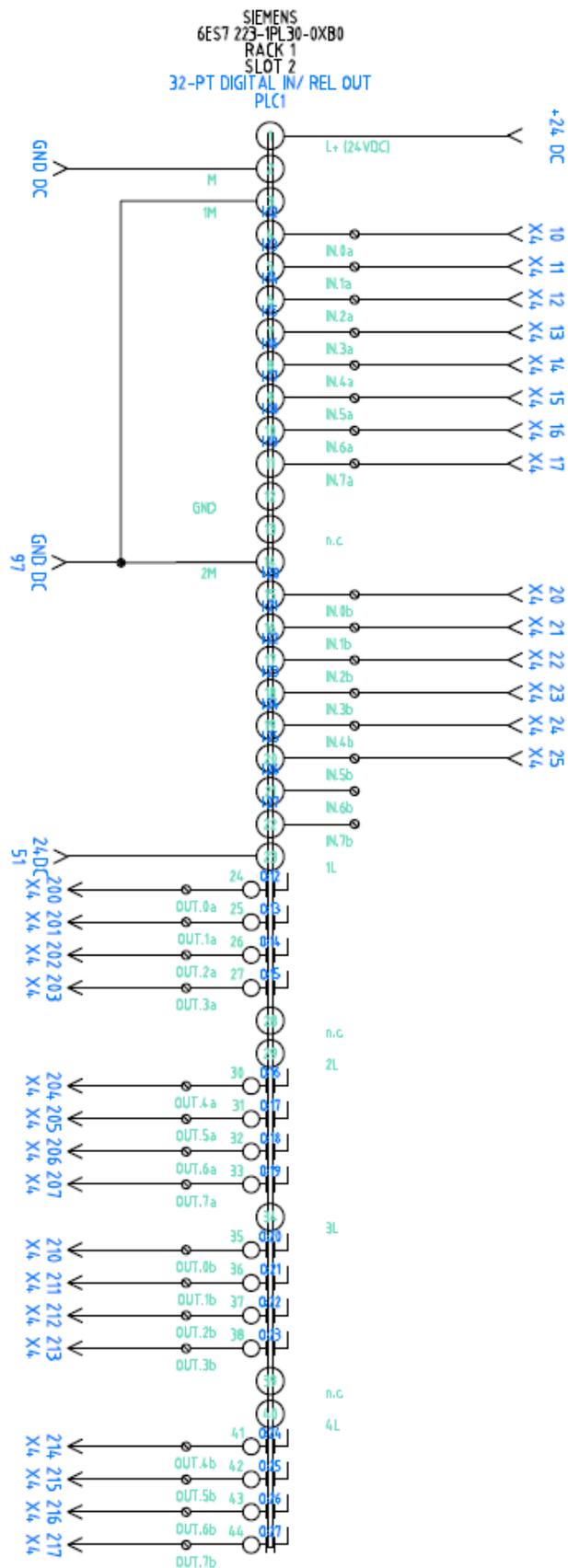


Figura 185. Conexión del módulo de E/S digitales del PLC SIEMENS S7-1200

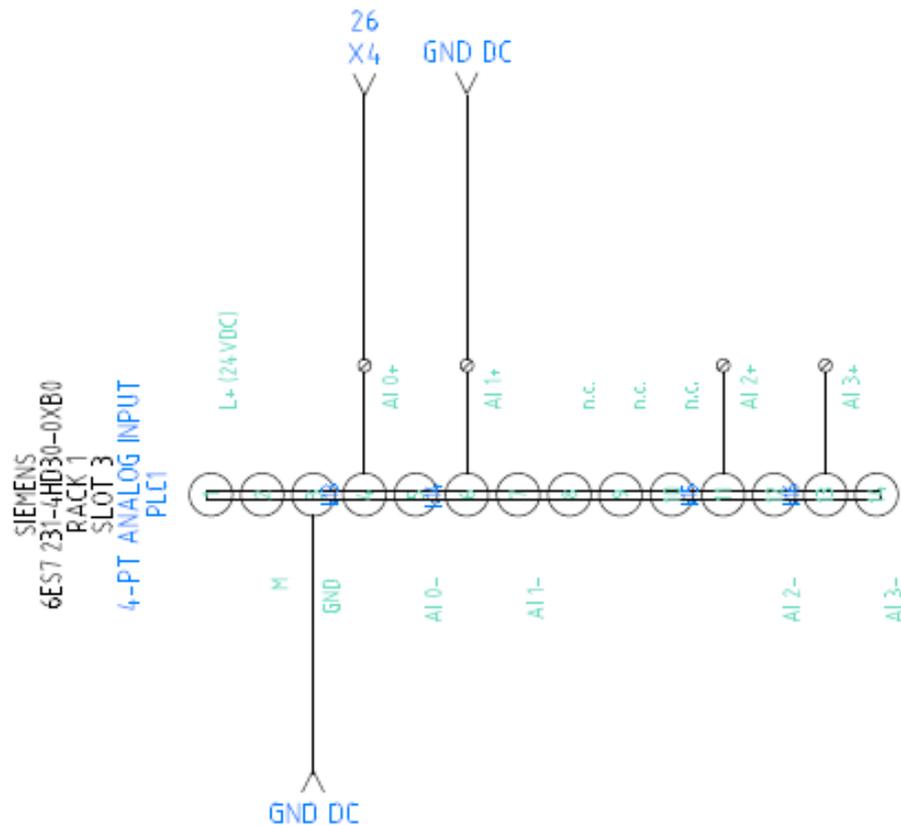


Figura 186. Conexión del módulo de entradas analógicas del PLC SIEMENS S7-1200.

5.6 DISEÑO DEL GABINETE PRINCIPAL

La ubicación de los elementos dentro del gabinete principal debe permitir el reconocimiento fácil de la conexión de componentes, y debe aislar los elementos de potencia de los elementos de control, así como los elementos electrónicos; esto para evitar daños en los componentes y/o alteraciones en las corrientes de trabajo (corrientes parásitas). Esto se aprecia en la **Figura 187**. En el paper "Control Panel Technical Guide " de Schneider Electric proponen el separar la parte de poder, de la parte de bajo voltaje, incluyendo las entradas y salidas del gabinete.



Figura 187. Disposición de elementos en el gabinete según tipo de conexiones.

En la **Figura 188** se muestra otra manera en la que se puede ordenar los elementos eléctricos dentro del gabinete mediante la consideración de su función y el tipo de elemento. Se observa que los elementos electrónicos se incluyen en una misma área, esto para que no se vean afectados por corrientes parásitas y alteren su funcionamiento.

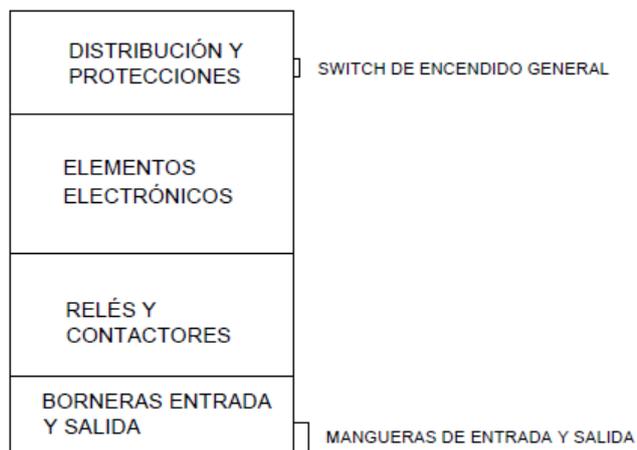


Figura 188. Disposición de los elementos eléctricos según tipo de elemento.

Se propone utilizar estos dos conceptos y distribuir los elementos eléctricos y electrónicos dentro del gabinete, de tal manera que cumpla con

estos dos criterios. El conexionado general eléctrico en el gabinete principal queda como se muestra en la **Figura 189**.

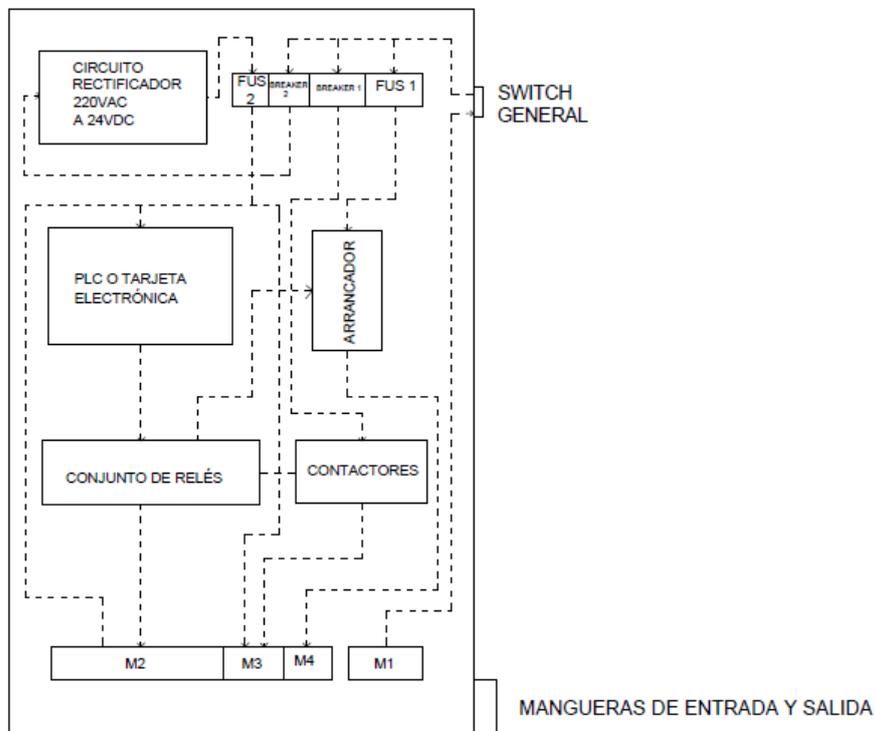


Figura 189. Diseño general de la localización de los elementos en el gabinete principal.

La alimentación general, entrará por la manguera M1, para luego pasar por el switch general que con su activación, energizará todo el sistema.

Luego de esto, se distribuye la energía, llegando al juego de fusibles (FUS 1) que protegen al motor de la bomba oleohidráulica, hacia el breaker 1 que protege las niquelinas y hacia el breaker 2 que protege al circuito de conversión AC/DC. También es dirigido hacia la manguera M2, para alimentar el circuito de potencia del circuito de enfriamiento.

En el primer nivel de distribución y protecciones, se incorporará el circuito de conversión 220 VAC a 24 VDC, con sus respectivas protecciones.

En el segundo nivel, se instalarán los elementos electrónicos, a la izquierda el control, y a la derecha la parte de potencia. Por esto se colocará el PLC y el arrancador suave para el motor de la bomba oleohidráulica. El

PLC se alimentará con 220 VAC, de la misma manera el arrancador, tanto para la potencia, como para el control de su arranque.

En el siguiente nivel, de igual manera, se separará los elementos eléctricos de bajo voltaje 24 VDC y los de alto voltaje 220VAC. En la parte izquierda se conservarán los relés de control manipulados por las salidas del PLC para la activación de motores, electroválvulas, bobinas de contactores para niquelinas. En la parte derecha se ubicarán los contactores utilizados para el manejo de las niquelinas.

En la cuarta zona se ubicarán las borneras para conexión de cables tanto de entrada, como de salida. Éstas deben ser ubicadas de tal manera que permita un fácil reconocimiento y que en conjunto puedan ser enviadas por las respectivas mangueras.

5.7 DISEÑO DEL GABINETE SECUNDARIO

En este gabinete deben ubicarse las conexiones de potencia para el motor de la bomba utilizada para el sistema de enfriamiento. También se conectará la tarjeta para el acondicionamiento de las señales de las termocuplas, y las borneras correspondientes para la conexión de las niquelinas.

Se propone el siguiente diseño para el gabinete secundario mostrado en la **Figura 190**.

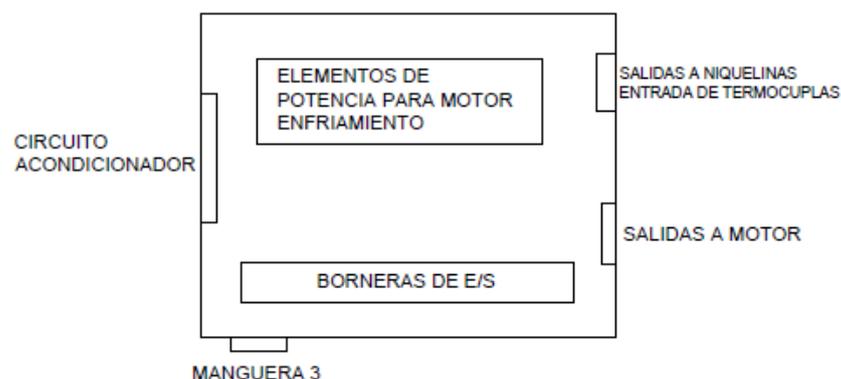


Figura 190. Diseño de la disposición de elementos en gabinete secundario.

Se aprecia en la **Figura 190**, que la parte de control, como la de potencia están separadas; por lo que cumplen con la norma utilizada. La entrada de la manguera M3 es en la parte izquierda. En la parte superior frontal en el fondo del gabinete, se encuentran los elementos de potencia para el arranque del motor, esto es breakers y contactor. Debajo de esto se localizan las borneras de entrada y salida hacia manguera. En estas borneras deben conectarse los cables que llegan de alimentación, control, y señal.

En la parte lateral izquierda del gabinete se encuentra el circuito de acondicionamiento para los termopares, el mismo que amplifica la señal que emiten los sensores antes de entrar al PLC. En el Capítulo Sistema de Control se explica la elaboración y el funcionamiento de esta placa.

En el sector lateral derecho del gabinete, se encuentran localizadas las salidas de los cables de potencia hacia las niquelinas, hacia el motor de la bomba de agua, y las conexiones de las termocuplas.

5.8 CÓDIGO DE COLORES PARA CABLEADO

Se debe considerar, según la norma UL 508A, los siguientes parámetros tanto para conexionado interno (dentro del gabinete) como conexionado de campo.

Para las conexiones de potencia, la norma recomienda:

- Todos los conductores internos deben ser de cobre.
- Todos los conductores deben ser nombrados en su extremo con letras o números.
- Ninguno de los cables debe ser más pequeño de 14AWG
- Para cargas simples, los conductores no deben ser menores al 125% de la corriente total de carga. Este aspecto ha sido tomado en cuenta en el diseño de los circuitos de potencia.

En la **Figura 191** se puede observar los colores que se recomiendan para los cables de potencia.



Figura 191. Colores de cables utilizados para potencia.

Fuente: UL 508A Control Panel Design Guide. Eaton Corporation.

Según la figura, se seleccionó el cable de color negro, este se utiliza para conexiones que no van conectadas a tierra.

En la **Figura 192** se pueden observar los colores que se recomiendan para los cables de control.

Para el cableado tanto de potencia, como de control, se seguirán las recomendaciones de la norma con los colores correspondientes.



Figura 192. Colores de cables recomendados para circuitos de control.

Fuente: UL 508A Control Panel Design Guide. Eaton Corporation.

5.9 IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO ELÉCTRICO

La implementación del circuito eléctrico debe ser efectuada luego de que se ha comprobado que el diseño del circuito está bien realizado, también debe tenerse en cuenta donde irán ubicados cada uno de los elementos. Hay que tomar en cuenta que a nivel profesional, no siempre las personas que diseñan, son las personas que llevan a cabo la implementación; por tal motivo, deben realizarse planos claros correctamente especificados. Los planos se pueden encontrar en la sección de Anexos.

Para la implementación del circuito, se realizó las siguientes tareas.

- a) Se identificó los cables y conexiones de los actuadores y entradas. Para esta tarea se siguió cada cable para saber su procedencia, su tipo de alimentación, y características.
- b) Se etiquetó los cables de entrada y salida hacia las mangueras para saber la función de cada cable. Los cables de las electroválvulas, se dirigen hacia una caja de borneras, a la cual entra la manguera M2 procedente del gabinete, aquí se identificó cada cable, y a que electroválvula se conectaba, también se procedió a etiquetar cada cable. Se identificó las líneas de alimentación principal, y las líneas del motor M1. Asimismo, se identificaron los cables de finales de carrera, selectores y botones que se conectan desde la máquina hacia el gabinete principal.



Figura 193. Transporte del gabinete principal.

- c) Se procedió a transportar el gabinete principal hacia un lugar de trabajo más óptimo, ya que el lugar donde se encuentra el gabinete es oscuro, y no permitía facilidad en el diseño y armado del mismo. En la **Figura 193** se puede observar esta tarea.
- d) Se extrajo el fondo del gabinete para tener facilidad en el armado del circuito como se aprecia en la **Figura 194**.



Figura 194. Extracción del fondo del gabinete.

- e) Se deshicieron todas las conexiones de control antiguas, se desconectó el PLC y los cables de señal de éste hacia los relés. En la **Figura 195** se muestra como se encontraba el gabinete luego de este paso.

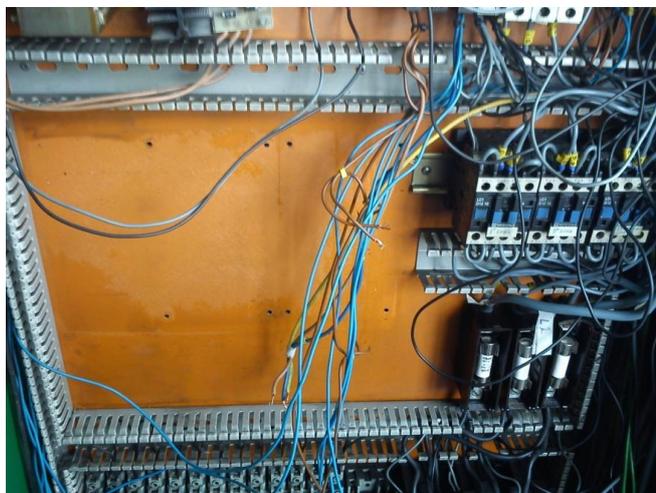


Figura 195. Desconexión del sistema de control antiguo.

- f) Basándose en el manual de usuario del PLC Siemens 1200 con CPU 1212C AC/DC/RLY, se energizó el PLC y se comprobó la lectura de entradas, y activación de salidas. En la **Figura 196**, se muestra los trabajos que se realizó para empotrar el PLC sobre el gabinete. En la **Figura 197** se puede observar el PLC al momento de realizar este paso.



Figura 196. Corte de rieles para colocar elementos.



Figura 197. Prueba de PLC.

- g) Se procedió a la conexión de todo el circuito de control, esto es, cables de entrada hacia el PLC de finales de carrera, botones, selectores, exceptuando las entradas analógicas, ya que no se contaba todavía con el módulo correspondiente. Esta conexión se la llevo a cabo en el

conexionado del gabinete secundario. Se conectaron las salidas del PLC hacia los relés de control, y de éstos hacia la bornera de salida. En la **Figura 198** y **Figura 199** se muestra esta tarea.



Figura 198. Conexión de entradas y salidas.



Figura 199. Conexión de cables de control hacia relés.

- h) Después, se procedió a realizar el cableado del circuito de potencia, siguiendo el diseño propuesto. En la parte superior, alimentación y protecciones, elementos electrónicos, contactores, y salidas. En la **Figura 200** se puede observar el momento en el que se conectaron las protecciones del motor M1, de las niquelinas, y se posicionaron los contactores para las mismas.



Figura 200. Conexión de protecciones para motor M1 y niquelinas.

- i) Luego se realizó la conexión del arrancador, su parte de potencia, y su control. También se realizaron las conexiones de los elementos de potencia de las niquelinas. En la **Figura 201** se puede observar la conexión del arrancador, y en la **Figura 202** la conexión de los contactores para las niquelinas. La conexión de potencia y de control del motor M2 se realizó en el gabinete secundario.

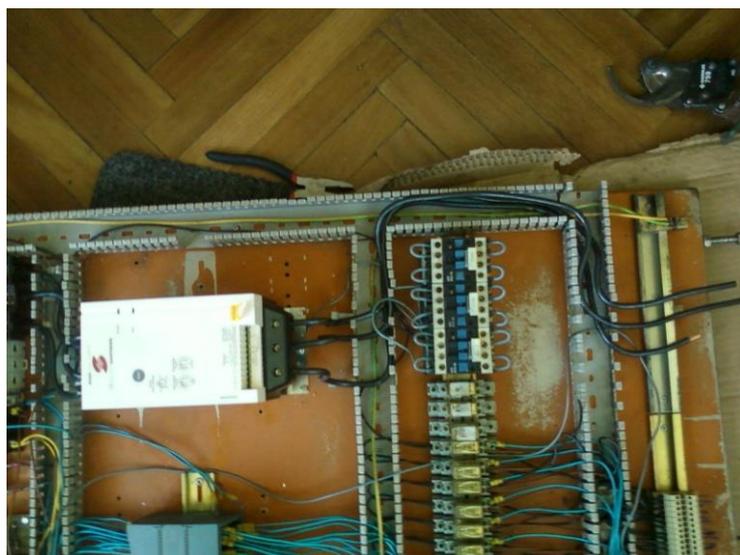


Figura 201. Conexión del arrancador.

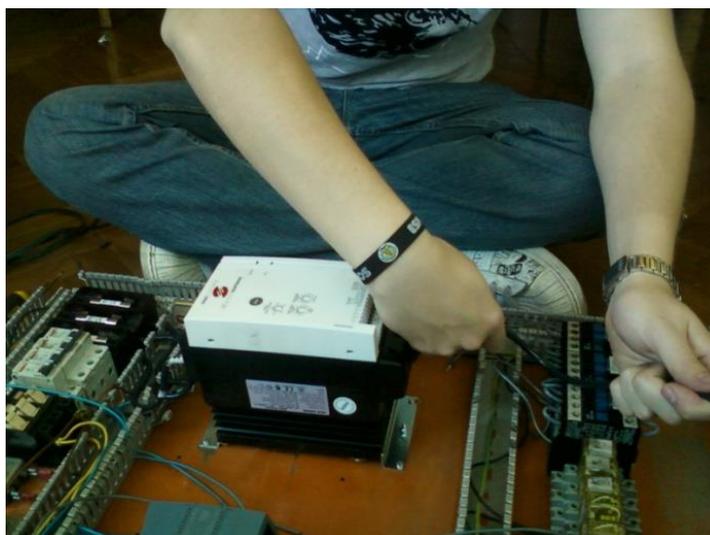


Figura 202. Conexión de contactores para niquelinas.

- j) Se etiquetaron todos los componentes del tablero y cables, se poncharon cada uno de éstos. En la **Figura 203** se muestra la realización de esta labor.



Figura 203. Etiquetado de elementos del gabinete principal.

- k) Posteriormente, se realizó el mantenimiento del exterior del gabinete. Se recortó el lugar donde se implementará la pantalla táctil y se taparon los orificios de los elementos que ya no se utilizarán.

En la **Figura 204** se indica el gabinete en el proceso de mantenimiento, en la **Figura 205** se observa cómo se rellenaron los orificios.

En la **Figura 206** se aprecia el estado final de la tapa frontal del gabinete y en la **Figura 207** se muestran los elementos colocados en el gabinete.



Figura 204. Restauración del gabinete principal.

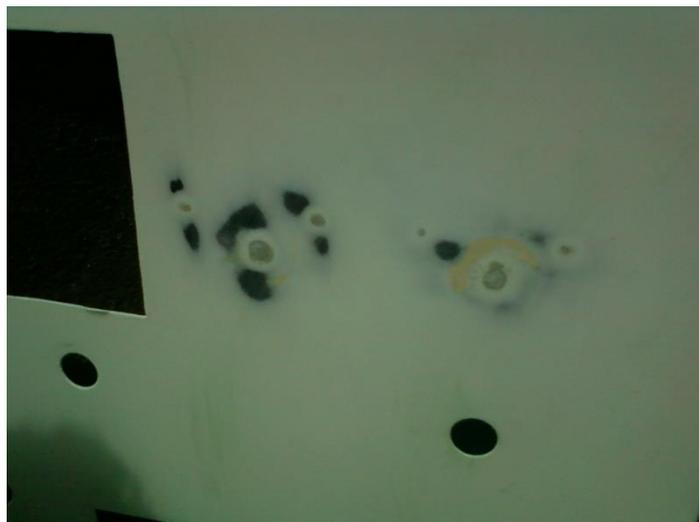


Figura 205. Trabajos en la chapa frontal del gabinete.

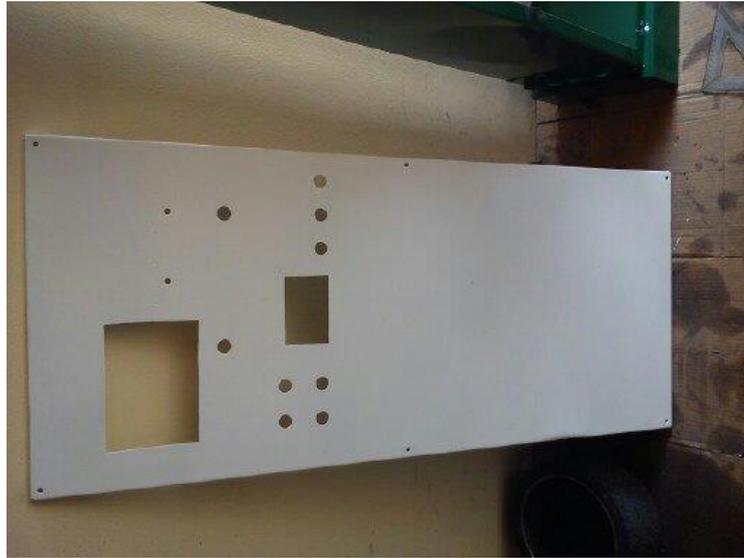


Figura 206. Puerta frontal del gabinete restaurada.



Figura 207. Colocación de fondo sobre gabinete.

- l) Asimismo, se procedió a colocar los pulsadores e indicadores en la parte frontal del gabinete. En la **Figura 208** se puede observar la conexión de estos indicadores.



Figura 208. Colocación de indicadores.

m) De igual forma, se procedió a colocar la tapa frontal del gabinete, y conectar los indicadores al circuito de control, como se indica en la **Figura 209.**

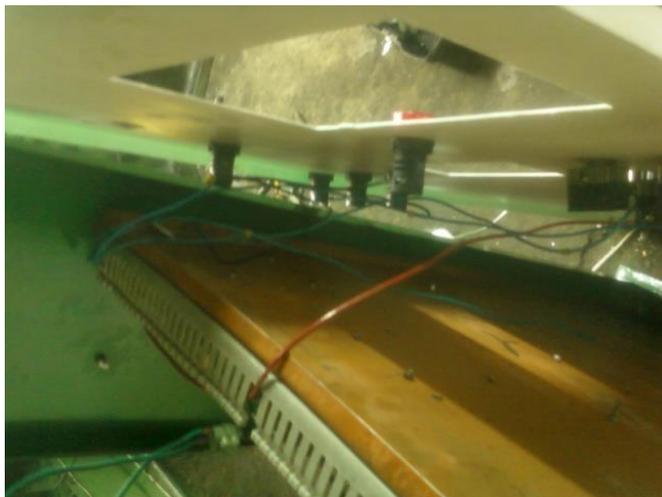


Figura 209. Montaje de chapa frontal en gabinete principal y conexión de indicadores.

En la **Figura 210** se puede observar el gabinete finalizado.



Figura 210. Gabinete principal finalizado.

- n) El siguiente paso en la implementación del circuito, fue colocar nuevas mangueras por las cuales conducir los cables hacia el gabinete principal, y al gabinete secundario. Para ello se utilizó mangueras de 1 pulgada, y de 1 ½ pulgadas.



Figura 211. Colocación de conectores de mangueras en gabinete principal.



Figura 212. Colocación de cables en manguera.

- o) Se conectaron los cables provenientes de las mangueras M1, M2, y M4 como se muestra en la **Figura 213**.



Figura 213. Conexión de cables provenientes del motor de 15 HP.

- p) A continuación, se armó el gabinete 3, para ello en primera instancia se ubicaron los elementos, borneras, circuito acondicionador, rieles y elementos de potencia y protección para el motor M2. En igual forma, se procedió con el cableado correspondiente. En la **Figura 214** se observa el gabinete 3 y su conexionado.



Figura 214. Armado del gabinete secundario.

- q) También se conectaron las niquelinas, de tal modo que sigan con el diseño previsto. En la **Figura 215** se observa su conexionado, y en la **Figura 216** se observa su montaje sobre el cañón.



Figura 215. Conexión entre niquelinas por zonas.



Figura 216. Montaje de las niquelinas en cañón de inyección.

- r) Se conectó la manguera M3, la cual va desde el gabinete principal hacia el gabinete secundario.

La conexión eléctrica de toda la máquina se encuentra implementada, la cual previamente fue probada sin tener ningún problema, en la **Figura 217** se puede observar el momento en el que se energizó el circuito. Todos los planos eléctricos se encuentran en la sección de Anexos.



Figura 217. Encendido del sistema general, vista desde la parte frontal del gabinete principal.

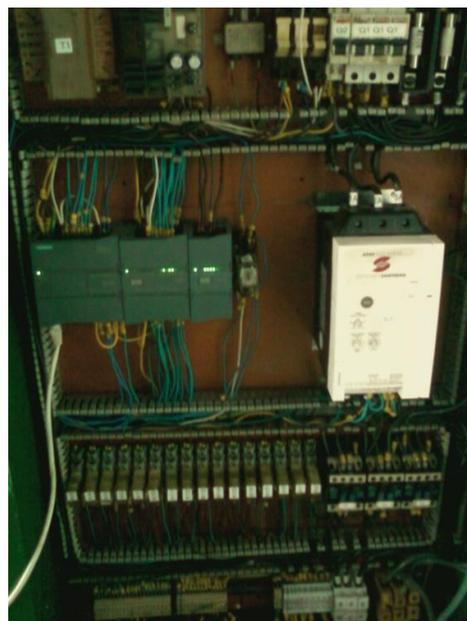


Figura 218. Encendido general de la máquina, vista desde el interior del gabinete.

CAPÍTULO VI

SISTEMA DE CONTROL

6.1 INTRODUCCIÓN

En un sistema automático, el sistema de control cumple una función primordial, que es de enlazar la parte mecánica y eléctrica/electrónica, comportándose como el cerebro del conjunto, mediante la toma de decisiones según las condiciones que se presentan en el proceso.

El sistema de control de la inyectora de plástico debe cumplir con las siguientes tareas:

- Comandar los movimientos de la máquina, tanto en modo manual como automático.
- Controlar la temperatura del cañón de inyección.
- Interactuar con el operador de la máquina.

El elemento principal del sistema de control es el PLC, que es el encargado de recibir información de los sensores, finales de carrera, perillas, botones, desde el HMI y según su programación enviar señales de control hacia los relés que activan diferentes actuadores.

El PLC que se utiliza es el PLC Siemens 1200 CPU 1212C, además de un módulo de entradas digitales, y otro para entradas analógicas.

El HMI elegido, es una pantalla monocromática táctil del mismo fabricante, esto permite una comunicación más eficiente entre ésta y el PLC. Desde el panel táctil se podrá manejar la máquina y sus diferentes opciones requeridas por el cliente.

6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

El control de temperatura sobre el cañón, debe ser individual para cada una de las tres zonas, ya que como se ha observado en el marco teórico, cada zona necesita diferente temperatura dependiendo del material.

El sistema de control será de lazo cerrado, esto significa que se medirá la temperatura actual de cada zona, y se la comparará con el set-point ingresado por el operador para tomar las acciones respectivas.

En la **Figura 219** se muestra este tipo de control.

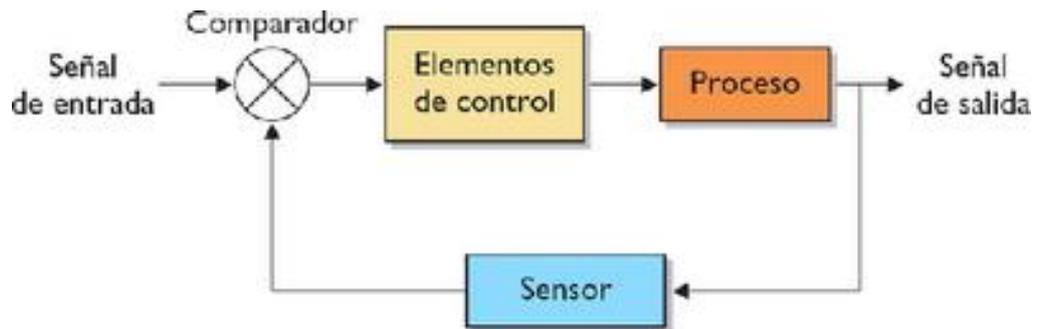


Figura 219. Lazo de control cerrado.

Fuente: Recuperado de <http://guinea-edeso.blogspot.com/2012/02/ejemplos-de-control-en-lazo-cerrado.html>

6.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL

Existen varias técnicas de control con las cuales se puede trabajar, entre los más comúnmente usados tenemos los siguientes:

- Control ON-OFF se usa en aplicaciones domésticas o industriales donde no se necesite una elevada precisión.
- Controlador PID se usa en regulación de procesos industriales donde se necesite un comportamiento rápido y preciso.
- Control Fuzzy se basa en la lógica difusa, se utiliza en aplicaciones de inteligencia artificial.

De estas opciones, se va a utilizar el control ON-OFF, basándose en dos características del sistema de control de temperatura necesario.

La primera razón es que la temperatura no necesariamente debe tener una elevada precisión, en las recomendaciones de temperatura de cada

material proponen un rango de temperaturas para cada zona, lo que implica que el sistema no debe ser muy preciso. Se ha pensado tener un desvío de $\pm 5^\circ\text{C}$.

Otra razón es que una planta de temperatura responde muy lentamente, se necesita varios minutos para aumentar la temperatura en pocos grados centígrados. Este tipo de control provoca fluctuaciones en las salidas, pero al tener una planta muy lenta, estas oscilaciones no tienen gran repercusión en el sistema.

El control ON-OFF funciona de tal manera que cuando el error es mayor a 0, el control envía como salida un ON, y cuando el valor es menor a 0 envía un OFF. Pero esto implica que en un punto del control, se envíen señales de encendido y apagado en períodos muy cortos lo cual puede implicar daños en el actuador. En nuestro caso en particular, pueden verse afectadas los contactores que comandan a las niquelinas; por esta razón, para evitar este problema se toma en cuenta un rango de operación con un límite superior e inferior, también se suele retrasar la activación (ON) del control. En la **Figura 220** se observa el comportamiento tanto de la señal de control, como la señal de salida.

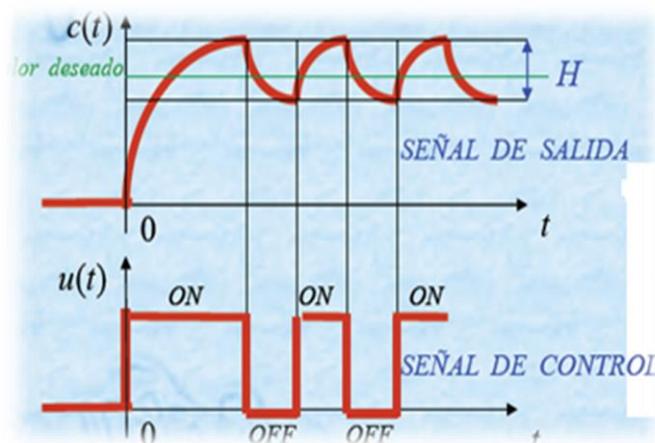


Figura 220. Comportamiento típico de un control ON-OFF con retraso en la conexión.

Otra consideración que se debe tener en cuenta para la implementación es la inercia térmica, característica propiamente física que se da en el cañón.

Esto produce un tipo de histéresis en el control, ya que al entrar en modo off, las niquelinas pese a que se desconectarán, seguirán transfiriendo calor al cañón calentándolo hasta encontrar un equilibrio térmico, lo mismo ocurre al cambiar a modo ON, las niquelinas tardarán de empezar a transferir calor hacia el cañón.

Por esta razón se vuelve indispensable encontrar el punto exacto de desconexión y de reconexión de las niquelinas en el control ON-OFF. Para lo cual se debe analizar el comportamiento de cada zona, y la transferencia de calor que se da en cada una desde las niquelinas hacia el cañón. También se debe considerar la transferencia de calor hacia cada zona cuando todas las niquelinas de todas las zonas están conectadas, ya que se transferirá calor desde la zona 2 hacia la zona 1 por ejemplo.

Para observar el comportamiento de las niquelinas se realizaron dos pruebas. En la primera prueba, se requiere determinar la forma en que cada una de las zonas se calienta al encender las niquelinas, y cómo se enfrían al apagar las mismas. En la **Figura 221**, se muestran los resultados de esta prueba.

En la segunda prueba, se necesita identificar la respuesta de cada zona al prendido y apagado de las niquelinas en un ciclo dado. En la **Figura 222** se observan los resultados.

La primera prueba se realizó desde que las niquelinas se encuentran a temperatura ambiente, y se encienden. En el encendido se puede apreciar lo siguiente:

- **Zona 1:** Luego de un minuto aproximadamente existe variaciones de temperatura. Ésta aumenta hasta los 120 C° a razón de 10°C por minuto, luego la temperatura aumenta más lentamente, a 2°C por minuto. Esta zona trabaja en un rango de 60°C a 100°C.

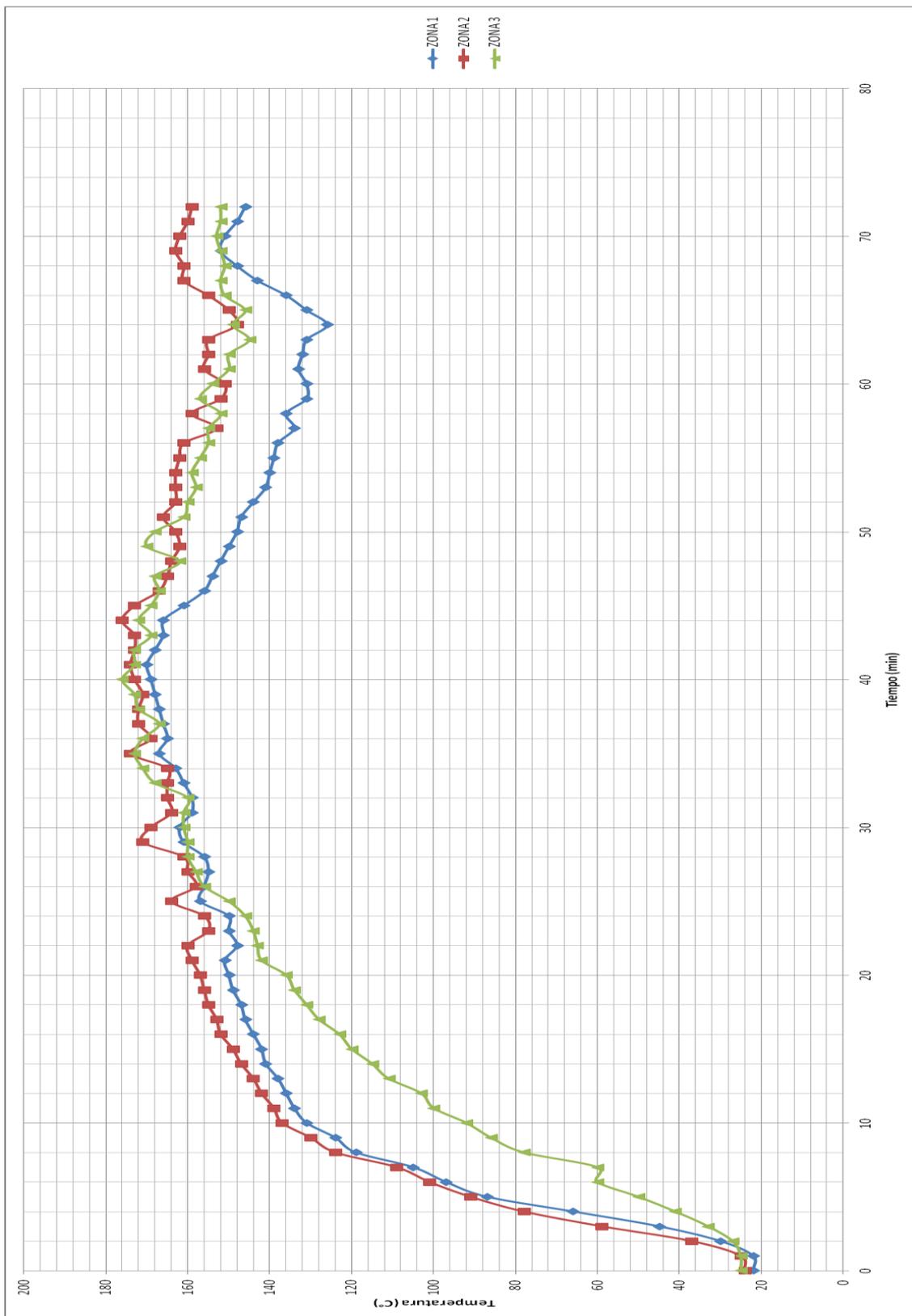


Figura 221. Prueba 1 – Encendido de las niquelinas desde temperatura ambiente.

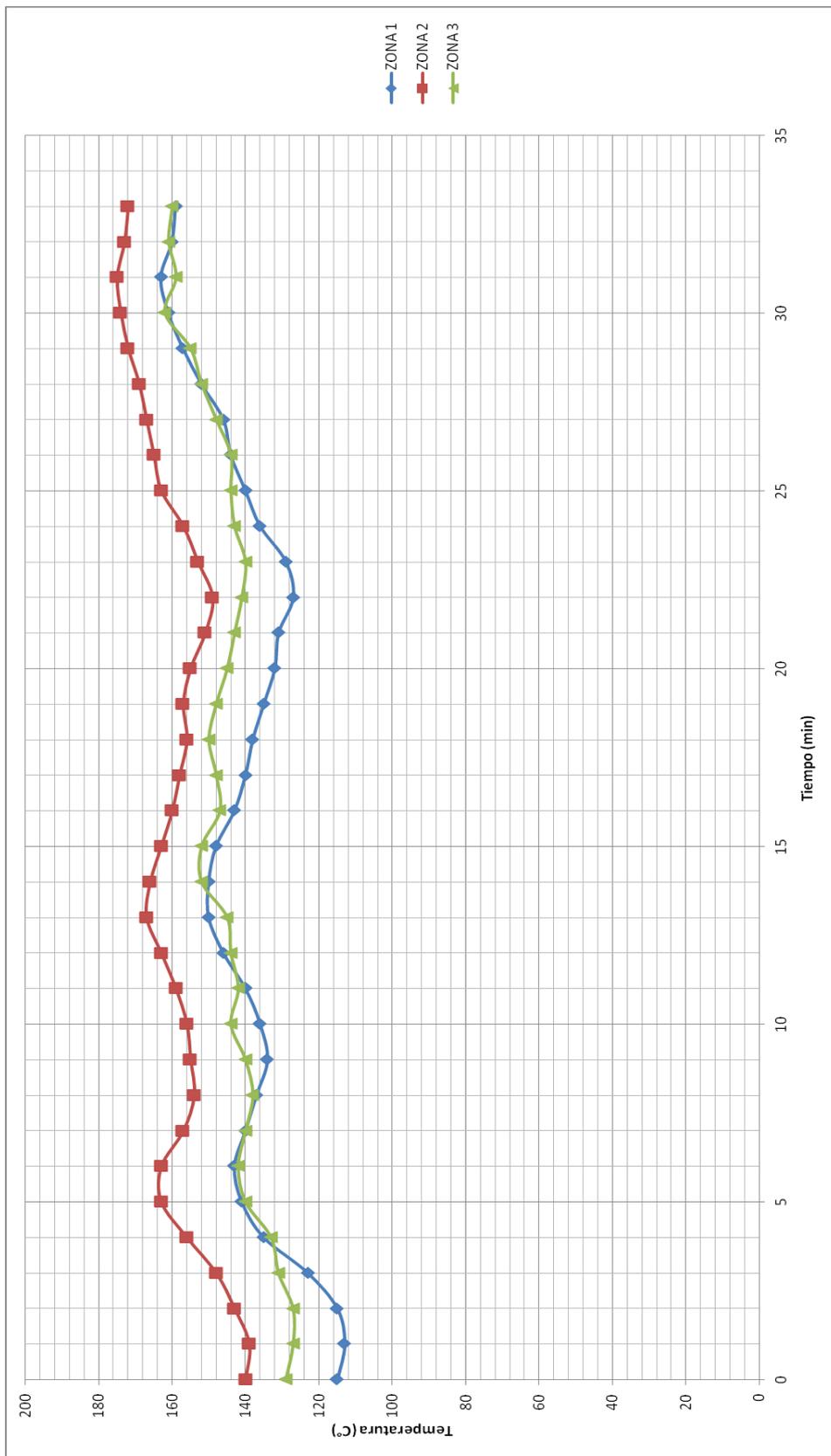


Figura 222. Prueba 2 - Respuesta al encendido y apagado de las niquelinas.

- **Zona 2:** Al igual que la zona 1, esta zona calienta hasta 120°C a una razón de 10°C por minuto, luego de esto, aumenta la temperatura a razón de 3°C por minuto. Esta zona trabaja en el rango de 80 a 160 grados centígrados.
- **Zona 3:** Esta zona tiene una mayor inercia térmica, esto puede deberse a la potencia de las niquelinas de esta zona. Hasta los 100°C, aumenta a una razón promedio de 8°C por minuto, para luego de esto subir a una razón de 4°C por minuto. El rango de trabajo de esta zona es desde 120 a 220°C.

La segunda prueba, se realizó en temperaturas promedio de trabajo, esto es 100°C a 170 °C. Aquí las tres zonas tienen su menor razón de incremento. Se pudo determinar lo siguiente:

- **Zona 1:** Cuando las niquelinas se encienden, se demora alrededor de un minuto en volver a calentar y aproximadamente se reduce 3°C. Cuando las niquelinas se apagan, se demora entre uno, y dos minutos en empezar a enfriarse, y se eleva la temperatura alrededor de 4°C.
- **Zona 2:** Cuando las niquelinas se encienden, se demora alrededor de un minuto en volver a calentar y aproximadamente se reduce 2°C. Cuando las niquelinas se apagan, se demora entre uno, y dos minutos en empezar a enfriarse, y se eleva la temperatura alrededor de 3°C a 5°C.
- **Zona 3:** Cuando las niquelinas se encienden, se demora alrededor de tres minutos en volver a calentar y aproximadamente se reduce 3°C. Cuando las niquelinas se apagan, se demora dos minutos en empezar a enfriarse, y se eleva la temperatura alrededor de 6°C.

Para realizar el control, se debe identificar en que punto de la curva se encuentra la temperatura con respecto al set-point, con el fin de tomar las acciones de control necesarias. Para ello se utiliza el signo y valor del error, y el signo de la gradiente. Observar la **Figura 223** para una mejor explicación de este concepto.

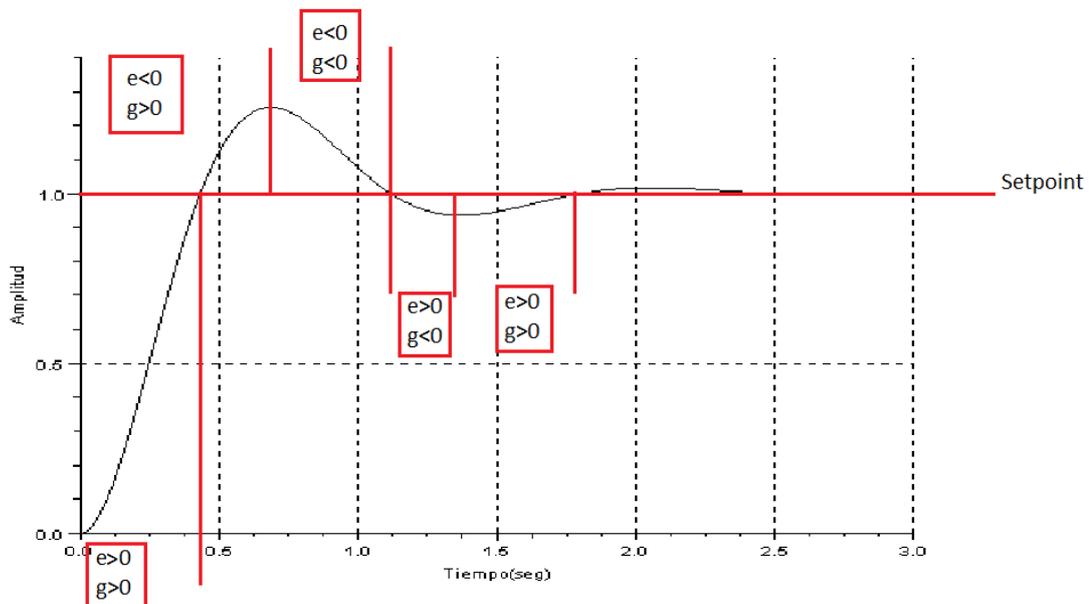


Figura 223. Comportamiento típico de temperatura de una planta a una entrada escalón.

Con el análisis de los datos obtenidos en las dos pruebas, y el concepto de control mostrado en la **Figura 223**, se tomó las siguientes decisiones para cada zona.

- **Zona 1:** Cuando el error y la gradiente son positivas, se apagará 10°C antes de que se llegue al setpoint, esto en base a la prueba 1 ya que esta zona trabaja a temperaturas de hasta 100°C , y en este punto aumenta la temperatura a razón de 10°C por minuto, y luego de su apagado tarda más de un minuto en empezar a enfriarse. Cuando el error sea igual a 0, y la gradiente negativa, se encenderá las niquelinas, bajara 3°C hasta volver a calentar, y cuando el error sea positivo, y la gradiente positiva, se apagará las niquelinas y se calentará 4°C .
- **Zona 2:** Cuando el error y la gradiente son positivas, se apagará 4°C antes de que se llegue al set-point, basándose en la prueba 1. Cuando el error sea igual a 0, y la gradiente negativa, se encenderán las niquelinas, se enfriará 2°C ; luego el error será positivo, la

gradiente positiva, se apagarán las niquelinas y se calentará de 3°C a 5°C.

- **Zona 3:** La prueba uno indica que se debería apagar las niquelinas 4°C antes del set-point, pero en base a los resultados de la prueba dos, se concluye que se apagará 6°C antes. Para cuando el error sea mayor a uno y la gradiente negativa, se volverá a encender las niquelinas, bajará 3°C, hasta que la gradiente cambie a positiva, se apaga las niquelinas y se aumenta la temperatura en 6°C.

6.4 ADQUISICIÓN DE DATOS DE TERMOPARES

6.4.1 SENSORES

Los sensores utilizados para los rangos experimentados en el proceso de inyección de plástico incluyen termocuplas, detectores de temperatura resistivos (RTD) y termistores. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas en el aspecto técnico y en cuanto a costos. Sin embargo, las termocuplas tienden a ser las más usadas en este campo debido a que su tiempo de respuesta es más rápido. (Rosato D. et al, 2000)

Por tal motivo, se decidió reutilizar las termocuplas tipo J y tipo K que se encontraban en la máquina, e incorporar otra termocupla tipo J para sensar tres zonas en total, ya que Rosato D. et al. (2000) indican que se necesita una termocupla para cada zona a controlar, siendo usualmente tres zonas (alimentación, plastificación o compresión y dosificación)

Los termopares utilizan la tensión generada en la unión de dos metales en contacto térmico debido a sus distintos comportamientos eléctricos. No obstante, esta tensión es del orden de los milivoltios, por lo que es necesario su acondicionamiento.

6.4.2 CARACTERÍSTICAS DE ENTRADAS ANÁLOGAS

Para realizar el acondicionamiento de los sensores, primero es necesario determinar las características que presentan las entradas analógicas del PLC y del módulo análogo, las mismas que se indican a continuación:

- Rango total: 0 a 10 V

- Rango total (palabra de datos): 0 a 27648
- Resolución: 10 bit

El valor de 27648 es simplemente un número que ha sido elegido como el valor máximo del rango que proporciona cualquier señal análoga transferida al CPU. Este valor es independiente de la resolución, y es simplemente una manera de estandarizar el escalamiento de las señales. En la Figura 224 se aprecian los rangos de valores digitalizados.

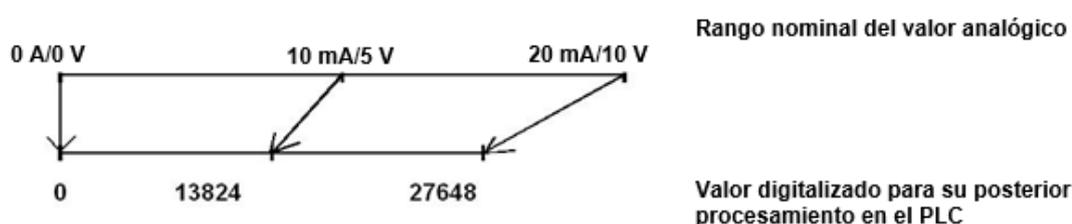


Figura 224. Rangos de valores digitalizados.

Fuente: SIEMENS AG. (2012). Procesamiento de los valores analógicos en SIMATIC S7-1200. Documentación didáctica SCE para la solución de automatización homogénea Totally Integrated Automation (TIA), 1-34.

El rango de temperaturas en el que se va a trabajar en el proceso de inyección es de 0 a 350°C. Por lo que la señal de salida de los termopares dentro de este rango será amplificada de 0 a 10 VDC.

6.4.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

6.4.3.1 GENERALIDADES

Como ya se mencionó, se van a utilizar los amplificadores de instrumentación AD620 que presentan un rango de ganancia de 1 a 1000 con una sola resistencia externa. Además de esta facilidad, estos circuitos integrados son de bajo costo y de gran precisión.

Los termopares son básicamente un dispositivo de medida diferencial, es decir, se necesita una temperatura de referencia conocida. El AD620 tiene la

característica de permitir el ingreso de un voltaje de referencia en uno de sus pines, por lo que es muy usado para el acondicionamiento de termopares.

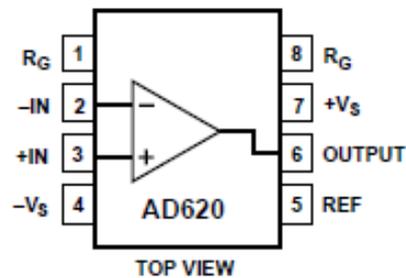


Figura 225. Vista superior del circuito integrado AD620. Fuente: Datasheet AD620

En la **Figura 225** se aprecia la descripción de los pines del AD620. En los pines 1 y 8 va conectada la resistencia que indicará la ganancia. En los pines 2 y 3 van conectados los terminales del termopar, negativo y positivo respectivamente. Los pines 4 y 7 son para la alimentación del AD620. El pin 5 es en donde se conecta el voltaje de referencia y el pin 6 es la salida del circuito integrado con la señal amplificada. La alimentación de este integrado puede ser en el rango de ± 2.3 a ± 18 V.

6.4.3.2 OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA DE GANANCIA

Una vez que se tiene el rango de temperaturas en el que se va a trabajar, se debe determinar la señal de salida en milivoltios del termopar a estas temperaturas como se indica en la Tabla 13 y **Tabla 14**. Para esto, se recurre a las tablas estandarizadas de termocuplas (Norma IEC 584).

Tabla 13. Rangos de trabajo del termopar tipo K.

Temperatura (°C)	Salida del sensor (mV)	Señal amplificada (V)
0	0	0
350	14.292	10

Tabla 14. Rangos de trabajo del termopar tipo J.

Temperatura (°C)	Salida del sensor (mV)	Señal amplificada (V)
0	0	0
350	19.089	10

Con estos datos, ya se puede establecer la ganancia deseada para los sensores mediante la división de la señal amplificada requerida respecto a la señal de salida en milivoltios.

Para el caso del termopar tipo K:

$$G = \frac{10 \text{ V}}{0,014292 \text{ V}} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$G = 699.692 \approx 700$$

Para el caso del termopar tipo J:

$$G = \frac{10 \text{ V}}{0,019089 \text{ V}} \quad \text{Ecuación 55}$$

$$G = 523.862 \approx 524$$

Una vez que se obtiene la ganancia deseada, es posible calcular la resistencia que proporcionará dicha ganancia. El datasheet del AD620 indica la siguiente ecuación de ganancia.

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G-1} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde, R_G es la resistencia de ganancia y G es la ganancia requerida.

Entonces, aplicando la ecuación se tiene:

Para el termopar tipo K:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{700 - 1} = 70,67 \text{ }\Omega \approx 71 \text{ }\Omega$$

Para el termopar tipo J:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{524 - 1} = 94.46 \Omega \approx 94 \Omega$$

Es así, que se decidió colocar potenciómetros de precisión para obtener estos valores calculados de resistencias de ganancia.

6.4.3.3 TEMPERATURA DE REFERENCIA

Para calcular la temperatura de la unión medida, se puede usar la medición de voltaje del termopar combinada con una temperatura de referencia conocida. Sin embargo, también es posible realizar la medición de la temperatura ambiente, y su resultado en voltaje se le añade al voltaje del termopar; por lo tanto, se obtendría la temperatura absoluta de la unión.

Es así que se utilizará un sensor LM35 para la medición de la temperatura ambiente. Cabe recalcar que la salida de éste debe ser acondicionada antes del ingreso al pin de referencia del AD620.

Entonces, primero se obtiene la resolución que presenta el AD620 con los valores de voltaje deseados a la salida.

$$R_{AD620} = \frac{10 \text{ V} - 0 \text{ V}}{350 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C}} \quad \text{Ecuación 57}$$

$$R_{AD620} = 28.571 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$$

Esta resolución es diferente a la del sensor LM35, que es de 10 mV/°C; por lo que se debe acondicionar la señal de éste último para que tengan la misma resolución. Por ello, se planteó disponer un amplificador operacional en configuración “no inversor” como se muestra en la **Figura 226**.

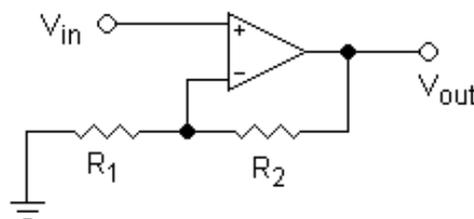


Figura 226. Configuración “no inversor” con amplificador operacional.

Fuente: Recuperado de <http://upload.wikimedia.org>

En esta configuración se tiene:

$$V_o = V_{in} * G \quad \text{Ecuación 58}$$

$$G = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde, G es la ganancia y es un valor que se determina mediante la división de la resolución de la amplificación del AD620 y del sensor LM35:

$$G = \frac{28.571 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} = 2.857$$

Entonces, se impone una resistencia R_2 de 5.1 k Ω , con lo que la ecuación 65 queda de la siguiente forma:

$$2.857 = \left(1 + \frac{5100 \Omega}{R_1}\right)$$

$$R_1 = 2746,4 \Omega \approx 2746 \Omega$$

Conocido el valor de R_1 , se decidió colocar un potenciómetro de precisión para tener una resistencia lo más cercana al valor calculado.

6.4.3.4 DIAGRAMA ELECTRÓNICO

6.4.3.4.1 ENTRADAS Y SALIDAS

En la Figura 227 se indica el diagrama de esta parte del circuito. Como entradas de la tarjeta se tienen los terminales de las tres termocuplas, la alimentación AC y la tierra del transformador. En la bornera B1 ingresan los terminales positivo y negativo de la termocupla tipo J y K, mientras que en la bornera B2 ingresan los terminales de la otra termocupla tipo J. En la bornera AC ingresan los terminales del transformador de 48 VAC y la tierra del mismo.

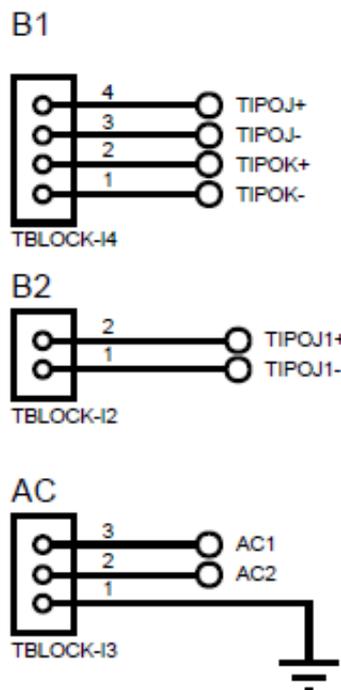


Figura 227. Diagrama electrónico de las entradas de la tarjeta de acondicionamiento.

El diagrama de salidas se observa en la **Figura 228**. En la bornera B3 se tienen las señales acondicionadas de los dos termopares tipo J y tipo K.

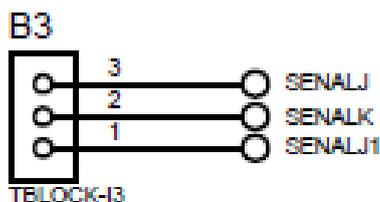


Figura 228. Diagrama electrónico de salidas de la tarjeta de acondicionamiento.

6.4.3.4.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE LA TARJETA

Se necesita una fuente para la alimentación del AD620 y del LM35, pero cabe recalcar que se necesita un voltaje positivo y negativo para el

amplificador. Por esto, se diseñó una fuente de ± 12 VDC como se muestra en la **Figura 229**.

El circuito de la **Figura 229**, es una fuente de alimentación que transforma el voltaje AC en voltaje DC, para ello, en primera instancia se utiliza un circuito rectificador de onda completa, esta configuración ayuda a convertir la parte negativa de la onda sinusoidal en positiva, o de manera inversa, la parte positiva de la onda en negativa.

Luego de este puente rectificador, se utiliza un filtro capacitivo que ayuda a estabilizar la onda recortada, como resultado se obtiene un voltaje aproximado a DC, con variaciones de voltaje denominados la tensión de rizado.

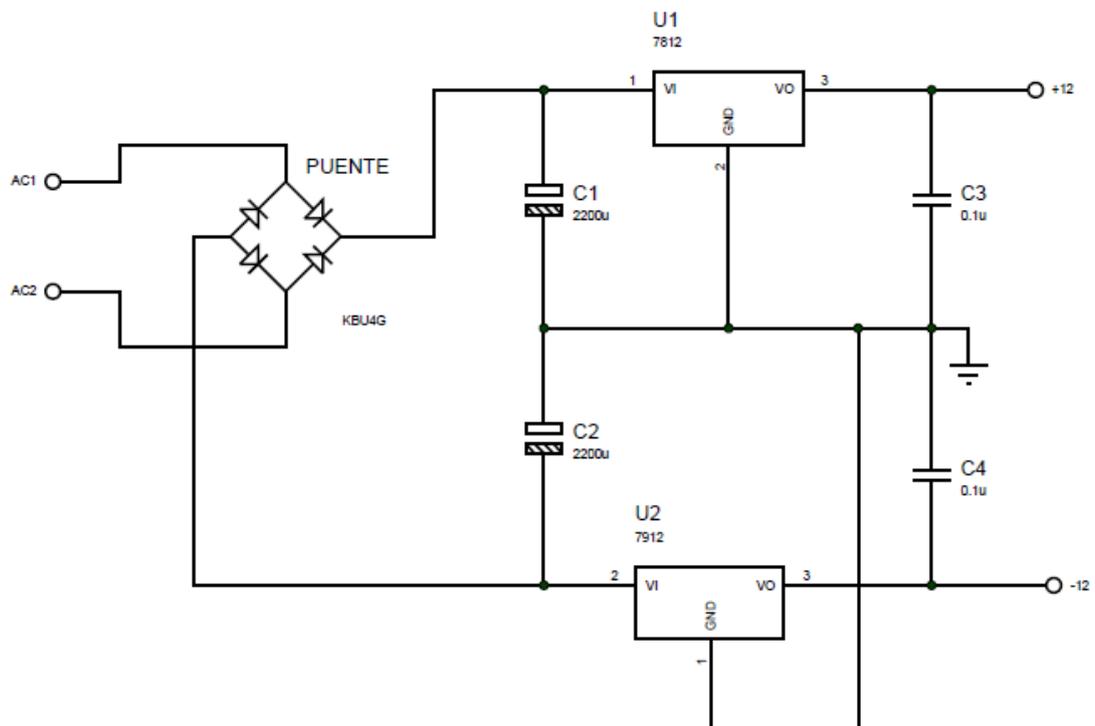


Figura 229. Fuente de alimentación del circuito acondicionador.

En la **Figura 230** se puede observar el tratamiento de la señal luego del rectificador de onda completa, y del filtro capacitivo. En nuestro circuito se

tomó tanto la parte negativa de la onda, como la parte positiva, y las dos se filtraron, por ello el uso de dos capacitores.

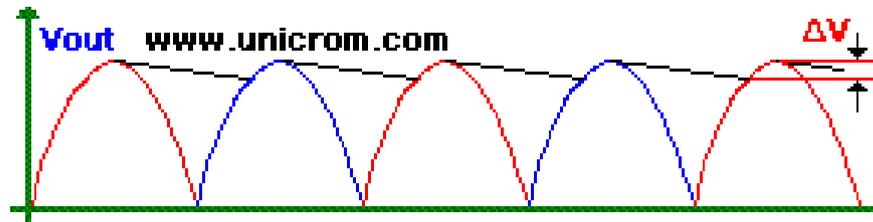


Figura 230. Transformación AC/DC por medio de un rectificador de onda completa y capacitor en paralelo.

Fuente: Recuperado de http://www.unicrom.com/Tut_rectificador_onda_completa.asp

Finalmente, para corregir el voltaje de rizado, y ajustar el voltaje DC aproximado a un valor de voltaje estándar (5 VDC, 12 VDC, 24 VDC), se utiliza dos reguladores de voltaje, tanto para voltaje positivo, como para negativo. En caso de aún existir ruido, se tiene dos capacitores de baja capacitancia para eliminar las pequeñas alteraciones a nuestro voltaje DC.

6.4.3.4.3 CONFIGURACIÓN DEL AD620

En la **Figura 231** se muestra el diagrama electrónico para la etapa de amplificación con el AD620. Se ha añadido un capacitor de 10uf electrolítico en cada salida con el fin de filtrar las señales y disminuir posibles fluctuaciones. La referencia de temperatura del AD620 (pin 5), es la temperatura ambiente, este amplificador suma el voltaje de referencia para enviar la señal completa acerca de la temperatura total que se mide en los termopares.

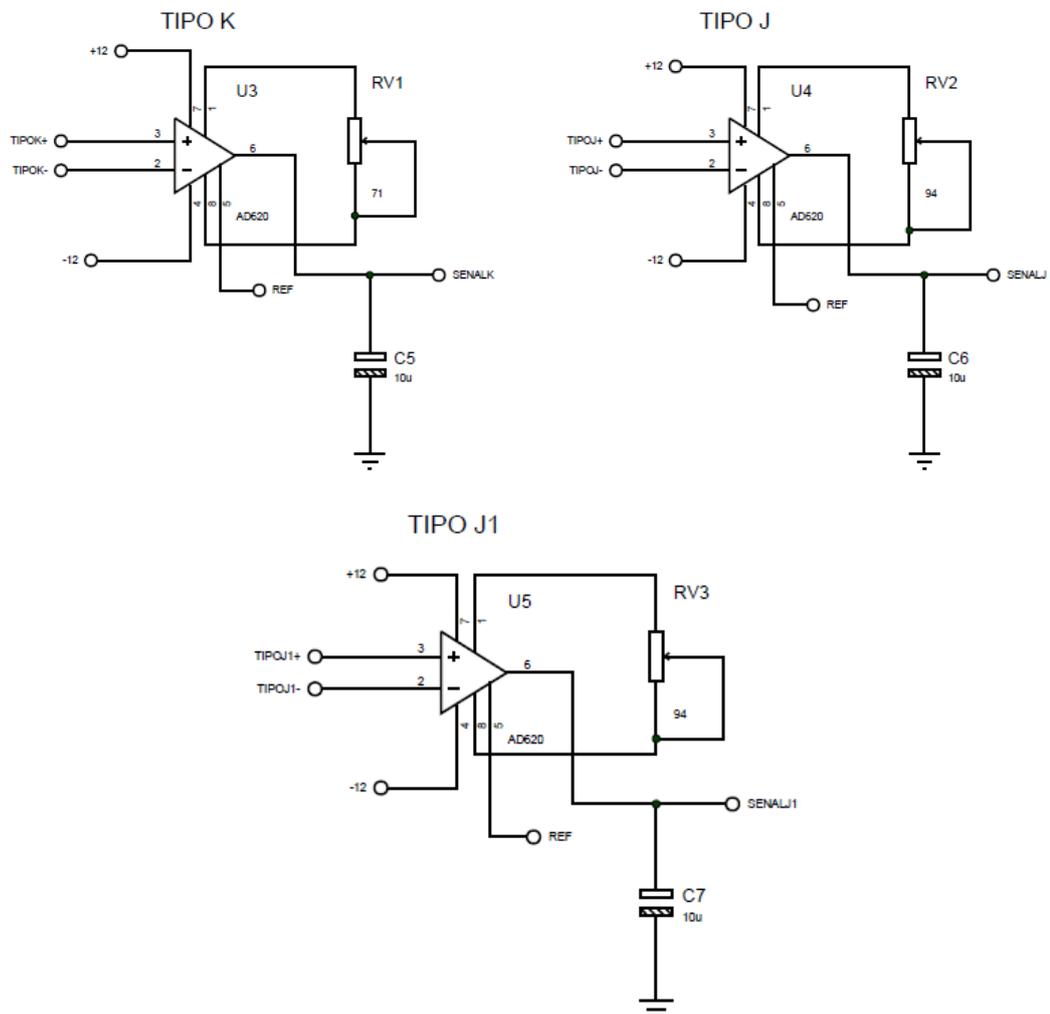


Figura 231. Etapa de amplificación con el CI AD620.

6.4.3.4.4 REFERENCIA

Con respecto a la amplificación de la salida del sensor LM35, se tiene el diagrama de la **Figura 232**. Se observa también, como se explicó antes, que la resistencia que se conecta a tierra será establecida por un potenciómetro de precisión. La salida del amplificador se conectará en el pin de referencia del AD620. En los cálculos se determinó los valores de resistencia para obtener la misma resolución del CI AD620 y de la toma de temperatura ambiente del LM35.

Tabla 15. Entradas del PLC.

ENTRADAS PLC						
Etiqueta	Ubicación	Descripción	Identificación cable		Origen	
			Núm.	Color	Núm.	Color
I0.0	Panel	ON bomba	0	Azul		
I0.1	Panel	OFF bomba	1	Azul		
I0.2	Mandos loc.	Emergencia general	2	Azul	3	Lila
I0.3	Mandos loc.	Inicio automático	3	Azul	4	Lila
I0.4	Mandos loc.	Semi/automático	4	Azul	5	Lila
I0.5	Mandos loc.	Automático	5	Azul	6	Lila
I0.6	RESERVA	RESERVA	6			
I0.7	RESERVA	RESERVA	7			
I1.0	Mandos loc.	Cerrar platos	10	Azul	7	Lila
I1.1	Mandos loc.	Abrir platos	11	Azul	8	Lila
I1.2	Mandos loc.	Avance boquilla	12	Azul	9	Lila
I1.3	Mandos loc.	Retro boquilla	13	Azul	10	Lila
I1.4	Mandos loc.	Inyección	14	Azul	11	Lila
I1.5	Mandos loc.	Carga	15	Azul	12	Lila
I1.6	Fin de carrera	Cierre rejilla FC3	16	Azul	13	Lila
I1.7	Fin de carrera	Platos totalmente abiertos FC4	17	Azul	14	Lila
I2.0	Fin de carrera	Platos mitad de carrera FC5	20	Azul	15	Lila
I2.1	Fin de carrera	Platos totalmente cerrados FC6	21	Azul	16	Lila
I2.2	Fin de carrera	Boquilla retr FC7	22	Azul	17	Lila
I2.3	Fin de carrera	Boquilla avance FC8	23	Azul	18	Lila
I2.4	Fin de carrera	Inyección carga FC1	24	Azul	19	Lila
I2.5	Fin de carrera	Retro carga FC2	25	Azul	20	Lila
I2.6	RESERVA	RESERVA	26			
I2.7	RESERVA	RESERVA	27			

La **Tabla 15** indica la entrada a la que está conectada en el PLC, la ubicación del elemento, como botones, perillas, finales de carrera. Se indica el número con el cual ha sido etiquetado el cable, su color y cuál es el cable que sale por manguera conectado a éste.

La **Tabla 16** indica la etiqueta que se asignó para el PLC, además del relé al que está conectada dicha salida. En la descripción se indica para qué sirve cada una de estas salidas, además se indica el color, y la etiqueta de los cables que provienen de cada salida del PLC.

Tabla 16. Salidas del PLC.

SALIDAS DEL PLC								
Etiqueta	Relé	Descripción	Cable primario		Cable secundario		Cable terciario	
			Número	Color	Número	Color	Número	Color
Q0.0		Foco Amarillo 1	100	Azul				
Q0.1		Foco Amarillo 2	101	Azul				
Q0.2		Foco Amarillo 3	102	Azul				
Q0.4		RESERVA	105	Azul				
Q0.5	K18	Encendido motor	218	Azul				
Q1.0	K0	Zona 1	200	Azul	30	Negro	c1	
Q1.1	K1	Zona 2	201		31	Negro	c2	
Q1.2	K2	Zona 3	202		32	Negro	c3	
Q1.3	K3	Cierra platos	203		303	Negro	24	Lila
Q1.4	K4	RESERVA	204		304	Negro	25	Lila
Q1.5	K5	Abre Platos	205		305	Negro	26	Lila
Q1.6	K6	Retrocede Boquilla	206		306	Negro	27	Lila
Q1.7	K7	Avanza Boquilla	207		307	Negro	28	Lila
Q2.0	K10	Retorno inyección	210		310	Negro	29	Lila
Q2.1	K11	Gira tornillo	211		311	Negro	30	Lila
Q2.2	K12	Bomba enfriamiento	212		312	Negro	31	Lila
Q2.3	K13	Válvula piloto	213		313	Negro	32	Lila
Q2.4	K14	RESERVA	214		314	Negro	33	Lila
Q2.5	K15	RESERVA	215		315	Negro		
Q2.6	K16	RESERVA	216		316	Negro	34	Lila
Q2.7	K17	Inyección	217		317	Negro	35	Lila

En este punto, es importante determinar el funcionamiento general de la forma de operación la inyectora por medio de la interacción entre los diferentes bloques de programa, previo a la programación, esto se muestra en la **Figura 233**.

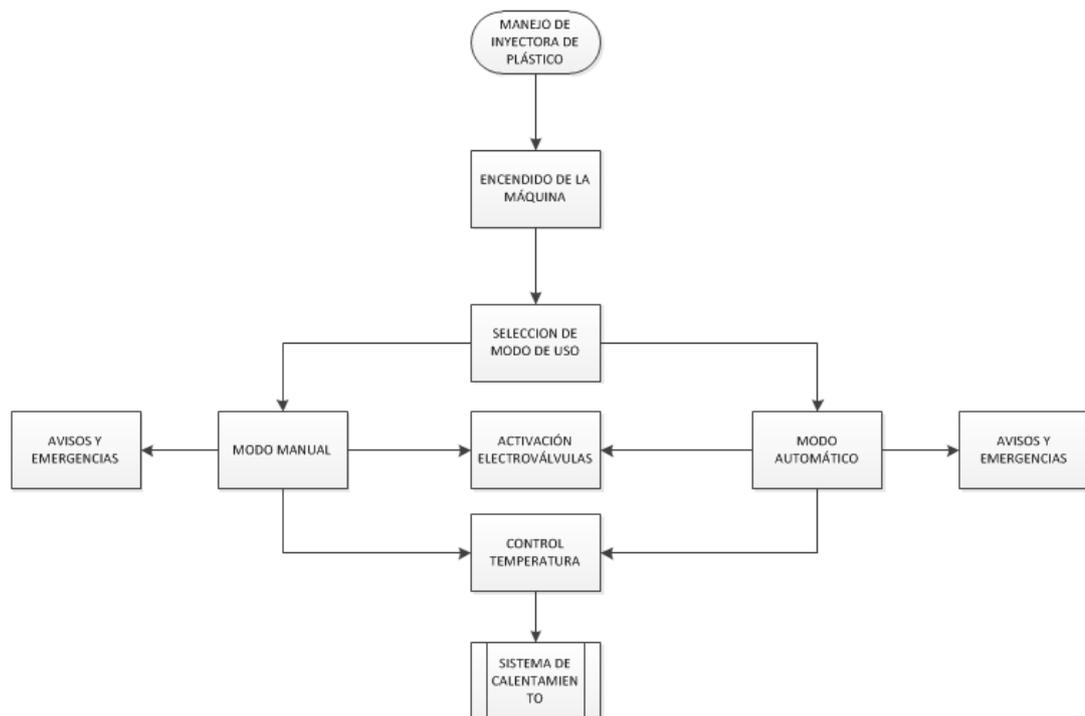


Figura 233. Operación general de la máquina e interacción de los bloques de programa.

A continuación, se explica cada uno de los bloques de programa, sus características y su funcionamiento.

6.5.1 MODO MANUAL

El modo manual implica que el operador por medio de la botonera sobre la máquina, o por medio de los botones del HMI, pueda operar la máquina sin restricciones, pero conservando las seguridades básicas. Esto es, no poder trabajar si la rejilla de protección está abierta, también debe funcionar el botón de parada de emergencia.

Este modo puede ser utilizado para la configuración de la máquina, para determinar cantidades de polímero a inyectar, temperaturas, o cuando se tiene moldes que no posean un sistema de expulsión.

Las acciones deben estar disponibles en este modo son:

- Encender motores
- Abrir o cerrar platos
- Acercar o alejar boquilla
- Cargar
- Inyectar

Para evitar sobrecargas sobre el sistema hidráulico, en la programación se evita que se active una bobina de salida si el final de carrera de un actuador correspondiente a esta acción, está activado.

Para este modo no existe una secuencia lógica de control, el operador comanda las acciones de la máquina a voluntad. Por esta razón no se muestra un diagrama de flujos de este bloque de programa.

En el Anexo F, se observa el programa correspondiente a este bloque.

6.5.2 MODO AUTOMÁTICO

El modo automático, ayuda al operador en el trabajo de la inyección de plástico de tal manera que éste ingresa los parámetros de funcionamiento, y la máquina es encargada de controlar el proceso. Es decir, se controlan los movimientos necesarios (secuencias), valores de temperatura, cuenta de ciclos de inyección y tiempo de enfriamiento. También debe tener la opción de iniciar, pausar, parar.

Para el modo automático se ha tomado las siguientes seguridades, que permiten que el operador y la máquina no sufran percances.

- Pausar el proceso de inyección si la rejilla de protección se abre.
- Paro completo de la máquina si se pulsa el botón de emergencia.

- No se procederá con el proceso de inyección si la temperatura del cañón no está controlada.

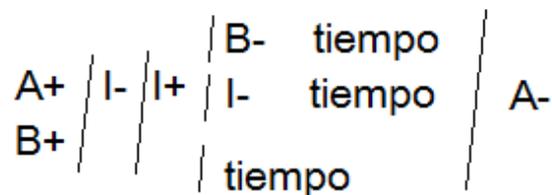
La secuencia de inyección, que se explica en el Capítulo Descripción del Problema, es la siguiente:

- I. Se acerca la boquilla hacia el molde.
- II. Se cierran los platos.
- III. Se carga el material.
- IV. Se inyecta el material.
- V. Mientras se realiza el enfriamiento de la pieza, si es necesario se vuelve a cargar de material.
- VI. Se abren los platos.
- VII. Si ya no se va a inyectar nuevamente, la boquilla debe alejarse, caso contrario se repite el paso número 2.

En Anexos se encuentra el diagrama de flujo de la lógica de control para este bloque.

Una vez determinado el funcionamiento de este bloque, se procede a realizar la programación en escalera con la ayuda de la redacción circuital que se describe a continuación.

Secuencia de actuadores y descripción de las funciones:



- **A+** : Cierra platos
- **B+**: Acerca la boquilla
- **I-**: Se carga material
- **I+**: Se inyecta material

- **Tiempo de enfriamiento:** Si todavía se necesita inyectar material en este proceso se vuelve a cargar el material, sino se aleja la boquilla (**I-** o **B-**).
- **A-:** Se abren los platos.

Entonces para esto se tiene que:

$$a_0 * iniciar \rightarrow U1 \qquad u_1 \rightarrow A+, B +$$

$$u_1 * a_1 * b_1 \rightarrow I -$$

$$u_1 * i_0 \rightarrow U2$$

$$u_2 \rightarrow I +$$

$$i_1 * u_2 \rightarrow U3$$

$$u_3 \rightarrow \text{Tiempo enfriamiento}$$

$$u_3 \rightarrow B - \text{ o } I - \text{ depende del contador}$$

$$u_3 * TE \rightarrow A - \text{ donde } TE \text{ tiempo enfriamiento}$$

$$u_3 * a_0 \rightarrow \text{Contador} + 1$$

En la programación realizada, se implementó todas las opciones de pausa, paro, ciclo continuo. En el Anexo F se encuentra la programación en ladder de este bloque.

6.5.3 ACTIVACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS

En este bloque se programa la activación de las bobinas de las electroválvulas, y de los motores eléctricos. Tanto el modo manual como el modo automático necesitan activar estos elementos, y por regla general en programación en escalera, se sabe que no se puede colocar la misma bobina en diferentes segmentos.

Además en la activación de cada salida debe existir las protecciones adecuadas, como paradas de emergencia o no forzar los actuadores de manera incorrecta; por ejemplo, si los platos están abiertos, y el operador sigue pulsando el botón de abrir platos, la electroválvula no se active y se evite la sobrecarga hidráulica.

Ya que este bloque de programa sólo se encarga de recibir las señales de activación desde los bloques de manual y automático, y las protecciones adecuadas, no se necesita realizar un diagrama de flujo.

En el Anexo F se puede observar la programación de este bloque.

6.5.4 CONTROL DE TEMPERATURA

Ya seleccionado el tipo de control que se va a implementar, se procedió a incorporarlo en la programación ladder en un bloque autónomo.

Para la implementación de este bloque, se utilizó la **Documentación didáctica SCE para la solución de automatización homogénea Totally Integrated Automation (TIA)** suministrada por SIEMENS. En el apartado: **Módulo TIA Portal 010-050. Procesamiento de los valores analógicos en SIMATIC S7-1200.**

El módulo análogo que se implementó, permite leer datos de voltaje o de corriente, en este caso se utilizará señales de voltaje de 0 a 10 V enviados desde el circuito acondicionador. Se utiliza 10 VDC apegándose al uso de señales eléctricas estandarizadas.

El primer paso para la lectura de los datos de temperatura, o de cualquier otro tipo de dato, es el de convertir esta señal análoga a una señal digital. Los valores análogos se almacenan como información en una serie de posiciones binarias. Entre más posiciones binarias haya disponible, la resolución aumentará. En la **Figura 234** se ejemplifica este proceso.

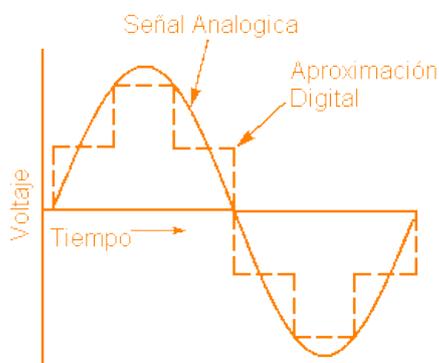


Figura 234. Digitalización de una señal.

Fuente: Recuperado de http://www.elotrolado.net/hilo_1900090_s140

Independientemente de la resolución del módulo analógico que se esté utilizando, SIEMENS estandariza el rango de valores de 0 a 27648. En este caso corresponde a que 0VDC equivale a 0, y 10VDC equivale a 27648.

Esta estandarización de SIEMENS permite que, si es que se tiene un valor de entrada mayor a 10VDC en el módulo, no exista pérdida de datos, ya que se tiene un rango de desbordamiento.

Luego de que la señal ha sido digitalizada, por regla general, se procede a normalizar para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas en el proceso. En TIA Portal V11 la normalización es exigida en la operación matemática. Los valores que van a ser normalizados deben ser convertidos a tipo REAL para minimizar errores. En la **Figura 235** se observa cómo se da la normalización.

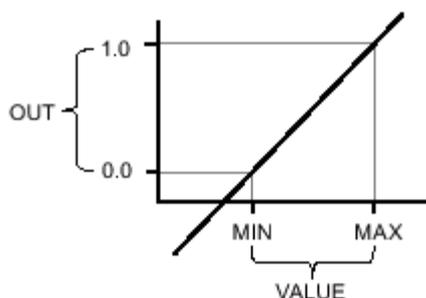


Figura 235. Normalización de un rango de valores.

Los valores de 0 a 1 deben ser escalados a los correspondientes valores de temperatura del proceso, esto es, 0°C y 350°C correspondientemente equivalente. Con la opción *scale_x* se procede a escalar los valores, y luego estos valores deben ser almacenados para poder ser utilizados.

Ya teniendo los datos de temperatura acordes, se puede proceder a la programación del control, mediante la consideración del estudio de las curvas de temperatura de cada zona.

Se debe determinar el error, la gradiente, y según los requerimientos llevar a cabo las acciones de control. En el Anexo G, se muestra un diagrama de flujo del control de temperatura del cañón de inyección donde

se resume el proceso explicado anteriormente, y se añade el control de cada zona que se propuso con anterioridad. En el Anexo F se muestra la programación de este bloque.

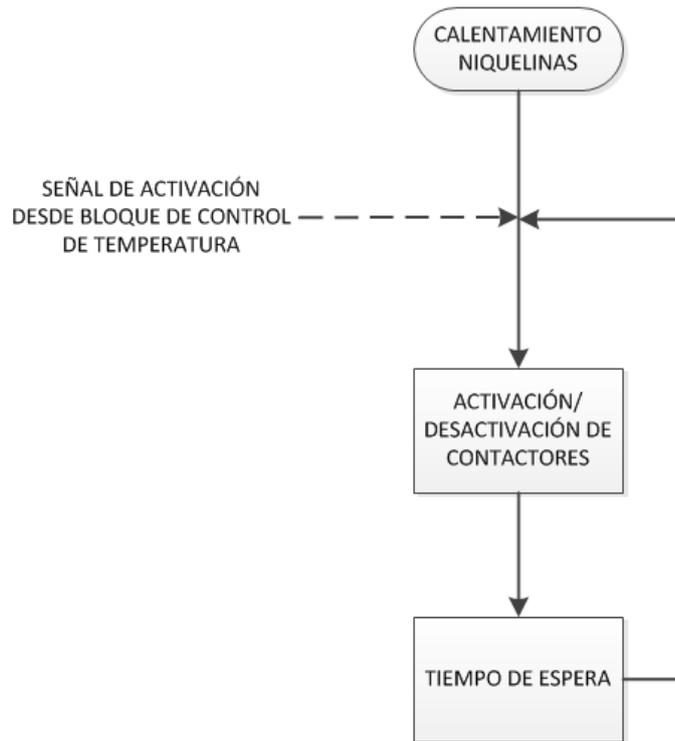


Figura 236. Diagrama de flujo de activación de niquelinas

6.5.5 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Desde el bloque de control de temperatura, y según las condiciones necesarias, se envían las señales para la activación de los relés que manejan los contactores de cada zona.

Si existen lecturas erróneas de temperatura por cualquier causa, el cálculo del error o la gradiente puede verse afectado, teniendo datos incorrectos y pueden producir señales de salida de control erróneas. Lo cual puede significar que el bloque del sistema de calentamiento active y desactive los contactores de manera muy repetitiva, hecho que puede reducir la vida útil de estos elementos.

Es por ello que en este bloque se implementará un método para evitar esta falla, imponiendo un tiempo de encendido mínimo de 5 segundos del contactor cuando éste sea energizado. En la **Figura 236**, se observa un diagrama de flujo que indica la lógica que se utiliza para la activación de las niquelinas.

Con respecto al enfriamiento, la única acción efectuada por el PLC es el de controlar el encendido de la bomba. El encendido del motor M2 se realizará siempre que el motor M1 se encienda.

En el Anexo F se puede observar la programación de este bloque.

6.5.6 AVISOS Y EMERGENCIAS

Los avisos y emergencias deben mostrarse de una manera muy clara, si es posible con señales tanto visuales como audibles. Esto puede evitar accidentes al operador y a la gente que se encuentre cerca, también puede indicar un problema en la máquina o un mal uso de ésta.

Los avisos y emergencias se muestran de forma visual en el touch panel, y por medio de luces en el gabinete principal. Los avisos que se incluyen en el programa son:

- Niquelinas encendidas.
- Modo automático activo.
- Modo manual activo.
- Rejilla abierta.
- Ingreso erróneo de temperatura.
- Temperatura ingresada no alcanzada (no permite la activación del modo automático).
- Alarma de no configurar número de ciclos.
- Alarma de no configurar el tiempo de enfriamiento.

En el Anexo F, se muestra la programación de este bloque.

6.5.7 BLOQUE PRINCIPAL (MAIN)

En el bloque principal, se incluyen las condiciones necesarias para que se activen los otros bloques, esto permite que el barrido del programa sea más rápido, dependiendo de qué bloques se activen.

Además, de esta manera se puede tener una programación más ordenada. En el Anexo F, se puede observar la programación de este bloque.

En el Anexo H, se muestran las variables utilizadas en la programación de los bloques. En el Anexo I se muestra las variables utilizadas que enlazaban algunas funciones del PLC comandadas desde el HMI.

6.6 DISEÑO DEL HMI

6.6.1 GENERALIDADES

Para la realización de la automatización y repotenciación de la máquina inyectora de plástico, se nos fue suministrada una pantalla táctil por parte del cliente. Ésta es una SIMATIC KTP600 Basic mono PN de Siemens que presenta las siguientes características:

- Pantalla táctil con 6 teclas de función.
- Pantalla LCD FSTN monocromática de 5.7”
- 4 tonos de gris
- Interfaz Profinet
- Configurable desde WinCC Flexible 2008 SP2

En el diseño del HMI se consideró la guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión (GEDIS), la cual se enfoca a ambientes industriales con supervisión computarizada y centralizada. El principal objetivo del diseño del HMI es que sea de fácil manipulación para el operador, además de que debe intuitivo, para que la navegación entre pantallas sea de forma fluida.

En el HMI existirá una pantalla principal con las opciones para elegir entre el modo manual y el modo automático. Dentro de éstas dos opciones

constarán los íconos respectivos para las pantallas de tendencias, alarmas, ayuda y el regreso a la pantalla principal.

Durante la elaboración del diseño del HMI hubo constantemente la retroalimentación por parte del operador de la máquina, con el fin de asegurar la correcta funcionalidad de la interfaz.

6.6.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS

6.5.2.1 PANTALLA PRINCIPAL

La primera ventana que se observa en el panel táctil al encender la máquina inyectora, es la pantalla principal. En ésta constan dos botones, el “Manual” y el “Automático” que son los que conducirán a los respectivos modos de funcionamiento de la máquina. En el centro de la pantalla se dispuso una imagen esquemática de una inyectora de plástico. En la parte de superior derecha de la pantalla se ha colocado la fecha y hora, mientras que en la parte inferior se colocó el texto “Elija el modo de funcionamiento” con la animación de parpadeo para llamar la atención del operador. Esta ventana se muestra en la **Figura 237**.



Figura 237. Pantalla principal del HMI.

6.5.2.2 PANTALLA DE FUNCIONAMIENTO MANUAL

De igual forma, en la parte superior derecha de la pantalla se dispuso la fecha y hora, hecho que se mantendrá en las ventanas subsiguientes. En esta ventana, se ubica la imagen esquema de la inyectora en la parte

izquierda; mientras que en la parte derecha se disponen los botones para el mando de la bomba que son “Start” y “Stop”. Debajo de éstos se coloca el botón “Calentar”, que es el que lleva a la pantalla en donde se ingresan los parámetros de temperatura para el calentamiento del cañón. Al lado de éste último, está el botón “Retroceder Inyección”, que se encarga del retroceso del tornillo recíprocante.

En la parte inferior de la pantalla, se han ubicado los botones para los diferentes movimientos de la máquina. Aquí constan los siguientes: “Abrir Platos”, “Cerrar Platos”, “Avanzar Boquilla”, “Retroceder Boquilla”, “Carga” e “Inyección”. Al lado de éstos, se encuentran los botones para acceder a la pantalla de alarmas , tendencias , ayuda  y pantalla principal . Cuando se produzca una alarma durante el proceso, el botón de alarmas parpadeará; mientras éste parpadee no se podrá realizar ninguna acción sobre la máquina. Esta ventana se muestra en la **Figura 238**.



Figura 238. Pantalla de funcionamiento manual.

6.5.2.3 PANTALLA DE FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO

Esta pantalla se muestra en la **Figura 239**. Al igual que en el modo manual, aquí se ubican también los botones para el mando de la bomba “Start” y “Stop”. Debajo de éstos, se sitúan los botones de “Sin retro” y “Tiempo de enfriamiento”. El primero, tiene la función de hacer retroceder la boquilla en cada ciclo mientras esté activado, caso contrario la boquilla retrocederá solamente en el último ciclo; mientras que el segundo botón

permite establecer el tiempo en que permanecerán cerrados los platos luego de la inyección, éste se configura en segundos mediante el teclado que aparece en la **Figura 240**. En este sector de la pantalla, se encuentra también un indicador que muestra el número de ciclos actual que realiza la máquina.



Figura 239. Pantalla de funcionamiento automático.

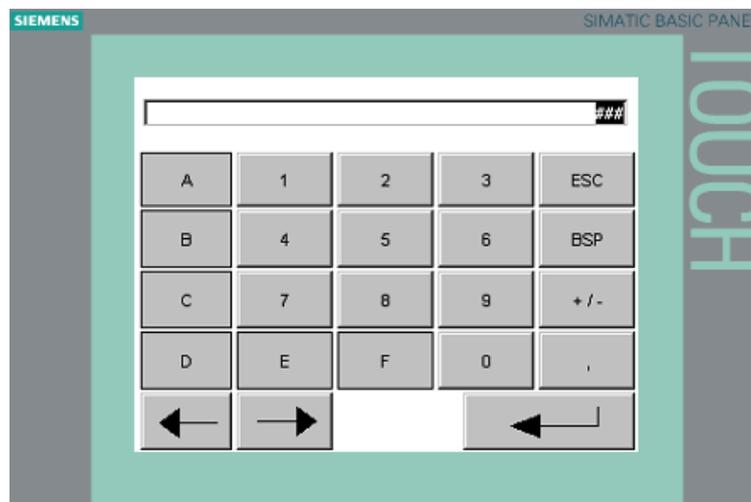


Figura 240. Teclado numérico para configuración de parámetros.

En la parte inferior de la pantalla se encuentran los botones: “N° ciclos” y “Calentar”. El primero, permite configurar el número de ciclos o inyecciones que va a realizar la máquina, mediante el teclado que aparece en la **Figura 240**; mientras que el segundo botón cumple la misma acción que en el modo

manual. Al lado de éstos, se ubican los siguientes botones: “play” ▶, que permitirá iniciar/continuar con el proceso de inyección; “pause” ||, que cumplirá la función de detener el proceso en cualquier instante; “stop” ■, que detendrá el proceso de inyección luego de cumplir el último ciclo. Al igual que en el modo manual, también se tiene los botones de alarma, ayuda, tendencias y pantalla principal.

6.5.2.4 PANTALLA DE CONFIGURACIÓN DE TEMPERATURAS

Esta ventana se divide en dos partes verticales. En la parte derecha es en donde el operador va a ingresar las temperaturas de “setpoint” para las tres zonas del cañón mediante el teclado. En la parte izquierda de la pantalla, se observa la temperatura actual de cada zona con el estado respectivo de cada contactor.

En la parte inferior se ha colocado un botón en forma de switch, el cual permite prender o apagar el sistema de calentamiento. En el sector derecho inferior se ubican los botones de regreso a la ventana anterior ⏪ y el botón de ayuda ?.



Figura 241. Pantalla de configuración de temperaturas.

6.5.2.5 PANTALLA DE TENDENCIAS

Al hacer clic en el botón de tendencias, se desplegará la ventana que se muestra en la **Figura 242**. Aquí se encuentran tres botones: “Zona 1”, “Zona 2” y “Zona 3”. Al hacer clic en uno de éstos, conducirá a la pantalla en donde

se grafica la curva de temperatura para la zona respectiva. Asimismo, se coloca en la parte inferior derecha un botón para el regreso a la ventana anterior.

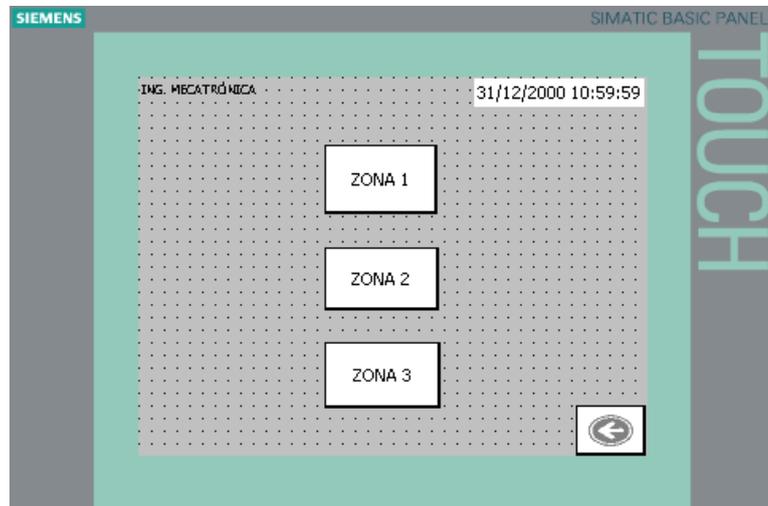


Figura 242. Pantalla principal para acceso a tendencias.

La ventana de tendencias en donde se grafica la curva de temperatura y setpoint se muestra en la **Figura 243**. La escala vertical llega hasta los 350°C, mientras que en el eje del tiempo se tiene un rango de dos minutos. En la parte inferior de la gráfica se observa el setpoint que fue ingresado con la posibilidad de poder cambiarlo accediendo mediante un clic. También se ubica un indicador del valor actual de temperatura, además de un botón para el regreso a la ventana anterior.

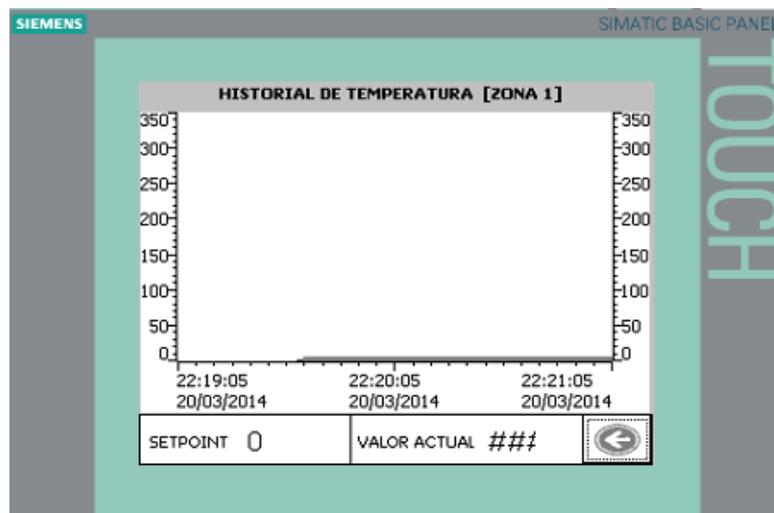


Figura 243. Pantalla de tendencias de la Zona 1.

6.5.2.6 PANTALLAS DE AYUDA

Se ha dispuesto tres ventanas de ayuda diferentes para las pantallas de configuración de temperatura, modo manual y modo automático. Cada ventana posee la descripción del funcionamiento e información importante de conocimiento para el operador.

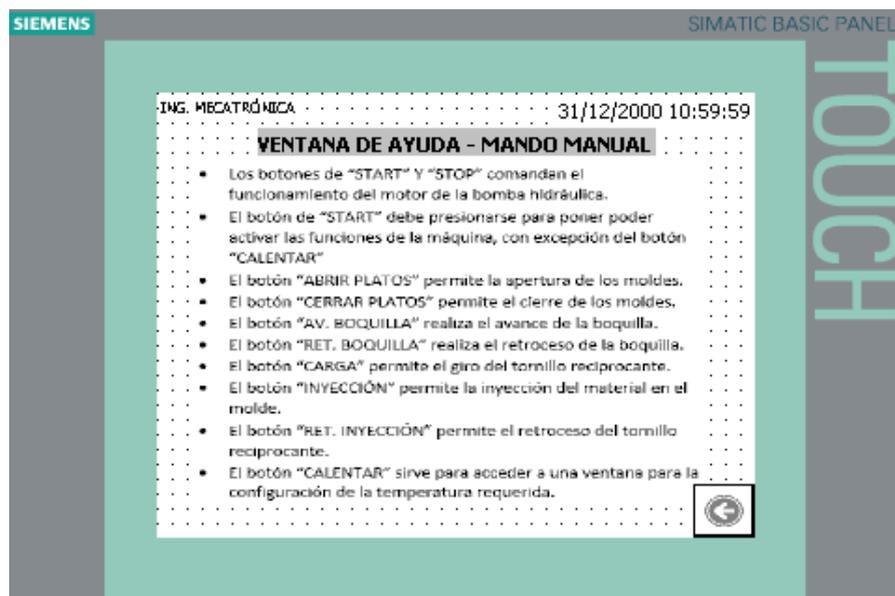


Figura 244. Ventana de ayuda para modo manual.

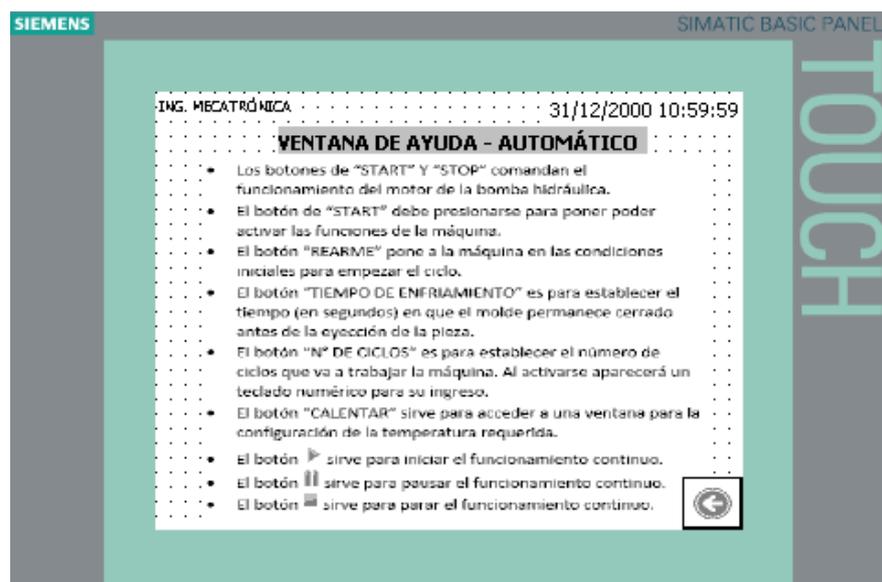


Figura 245. Ventana de ayuda para modo automático.

6.5.2.7 VENTANA DE AVISOS

En esta ventana se disponen los siguientes avisos con sus respectivas luces indicadoras (ver **Figura 247**).

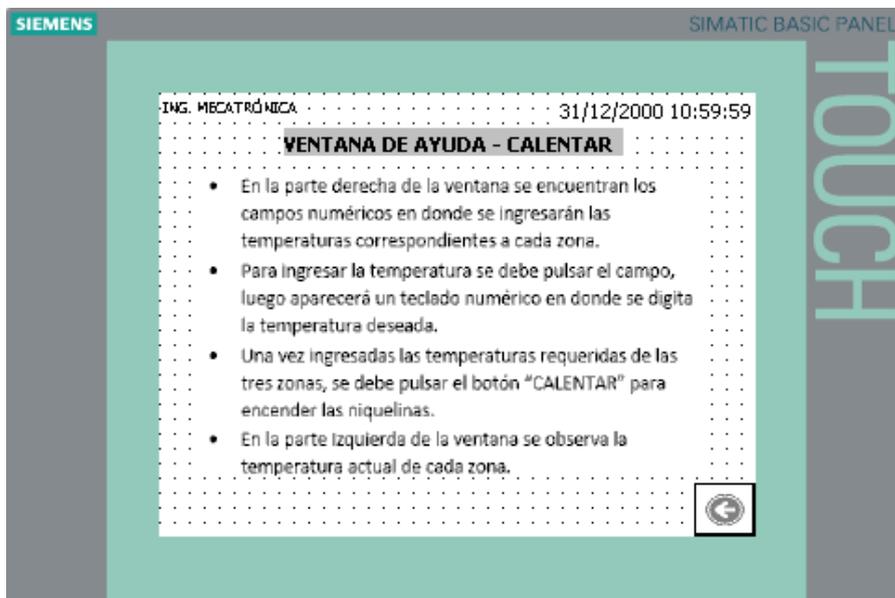


Figura 246. Ventana de ayuda para el proceso de calentar niquelinas

A continuación se muestra los avisos que se despliegan en las ventanas:

- Rejilla abierta: la luz se enciende cuando la rejilla correspondiente a la protección de los platos no está cerrada.
- Temperatura no configurada: la luz se enciende cuando en el modo automático se presiona el botón de “play” antes de haber configurado las temperaturas de las zonas del cañón.
- Temperatura no controlada: la luz se enciende cuando se ha puesto “play” antes de que la temperatura actual llegue al setpoint. La temperatura debe estar máximo a 5 grados por debajo del setpoint para que se pueda iniciar el modo automático.
- Ciclos no configurados: la luz se enciende cuando se ha puesto “play” sin haber colocado el número de ciclos que se van a realizar en el modo automático.

- Tiempo de enfriamiento no configurado: la luz se enciende cuando se ha puesto “play” antes de configurar el tiempo de enfriamiento en el modo automático.

En la parte inferior derecha de esta pantalla se encuentra un botón de “Registro de Avisos”, en el cual se puede apreciar en forma de texto los avisos sugeridos con la fecha y hora en que se dieron. Asimismo, en la parte inferior derecha constan un botón para “Borrar Registro” y otro para regresar a la pantalla anterior.

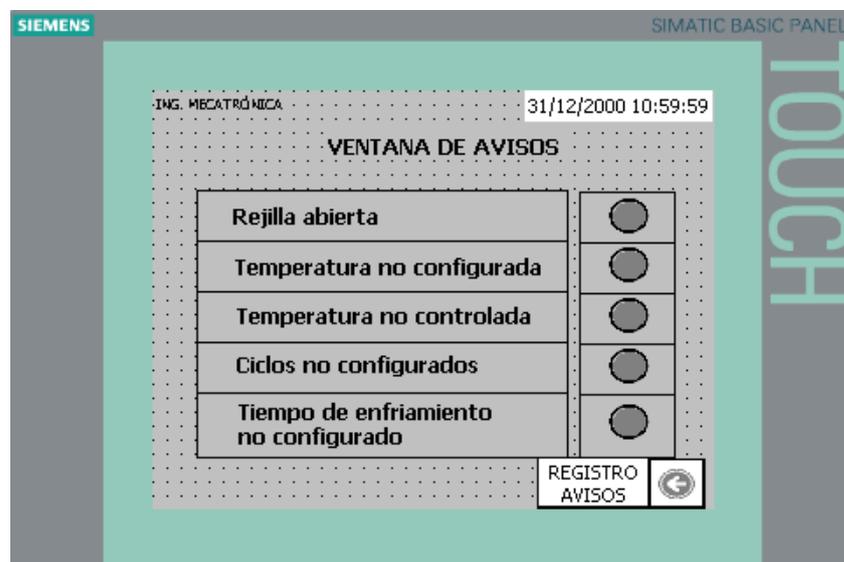


Figura 247. Ventana de avisos.

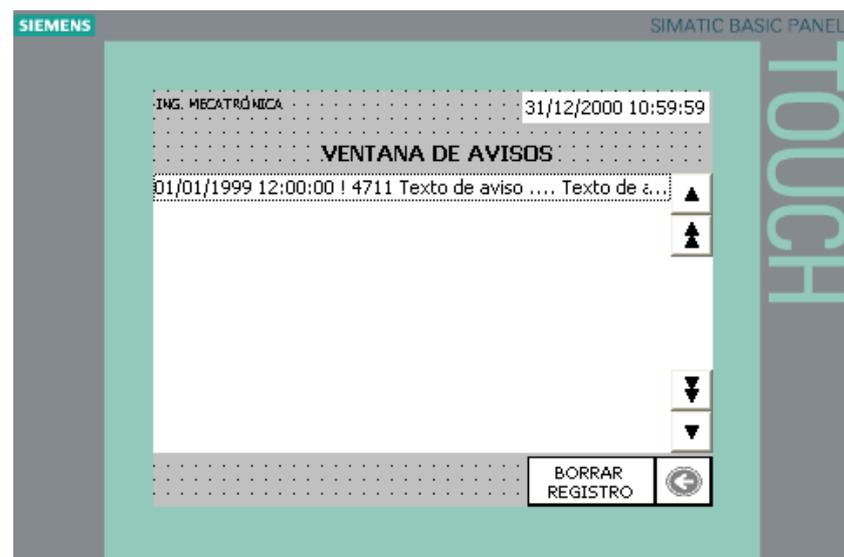


Figura 248. Registro de avisos.

En Anexo I, se observan los *tag links* utilizados en el desarrollo del HMI, es decir, se indican las variables del HMI y la variable del PLC a la que se enlaza.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se elaborará un análisis económico del proyecto que tiene como finalidad establecer la rentabilidad de la inversión efectuada. El análisis permitirá determinar el costo total del proyecto y se lo evaluará mediante los parámetros VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno).

La puesta en marcha de la inyectora de plástico, añadiendo la automatización de sus procesos, permitirá a la Mecánica Rojas volver al mercado de la inyección de plástico, ya que es la única máquina de este tipo que poseen. Además, la automatización, permitirá un ahorro económico en la producción, de tal manera que al tecnificarse los procesos, el desperdicio de material se reduce y los costos de operación disminuyen ya que el operador no debe ocuparse de los movimientos de la máquina.

7.2 INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO

7.2.1 COSTOS DIRECTOS

Dentro de los costos directos están los gastos por diseño e ingeniería, materiales y elementos de construcción, equipos o maquinaria y mano de obra.

7.2.1.1 DISEÑO E INGENIERÍA

En la **Tabla 17** se pueden observar los costos del diseño e ingeniería del proyecto, los cuales ascienden a 3450 dólares americanos.

Tabla 17. Costos de diseño e ingeniería del proyecto

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Subtotal
1	Autores	Hora	480	\$5,00	\$2.400,00
2	Asesoría Profesional	Hora	30	\$35,00	\$1.050,00
TOTAL					\$3.450,00

7.2.1.2 MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

En la **Tabla 18** se observan los materiales que se utilizaron para el desarrollo del proyecto.

Tabla 18. Costos de materiales y elementos de construcción del proyecto

CANT	DESCRIPCIÓN	V. UNIT	SUBTOTAL	IVA	TOTAL
1	Arrancador	\$ 420,62	\$ 420,62	\$ 50,47	\$ 471,09
1	Relay 24V 8P 10A mini 06591	\$ 3,60	\$ 3,60	\$ 0,43	\$ 4,03
1	Base mini relay LY-2 06596	\$ 2,25	\$ 2,25	\$ 0,27	\$ 2,52
3	Bornera de 35mm. Legrand. Para riel	\$ 4,23	\$ 12,69	\$ 1,52	\$ 14,21
6	Bornera de 6mm. Legrand. Para riel	\$ 1,67	\$ 10,02	\$ 1,20	\$ 11,22
2	Resortes para válvula de alivio	\$ 3,00	\$ 6,00	\$ 0,72	\$ 6,72
1	Neplo 1/4"	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 1,20	\$ 11,20
4	Borneras para PCB	\$ 0,27	\$ 1,08	\$ 0,13	\$ 1,21
2	Capacitor 2200uf	\$ 0,58	\$ 1,16	\$ 0,14	\$ 1,30
1	Espadín	\$ 0,75	\$ 0,75	\$ 0,09	\$ 0,84
1	Puente rectificador 4A	\$ 0,58	\$ 0,58	\$ 0,07	\$ 0,65
1	LM 358	\$ 0,40	\$ 0,40	\$ 0,05	\$ 0,45
2	Regulador voltaje 7812/7912	\$ 0,40	\$ 0,80	\$ 0,10	\$ 0,90
3	Capacitor electrolítico 10uf	\$ 0,22	\$ 0,66	\$ 0,08	\$ 0,74
2	Capacitor cerámico 0,1 uf	\$ 0,07	\$ 0,14	\$ 0,02	\$ 0,16
1	Resistencia 1/2W	\$ 0,03	\$ 0,03	\$ 0,00	\$ 0,03
3	AD620	\$ 10,49	\$ 31,47	\$ 3,78	\$ 35,25
7	Luz piloto	\$ 1,45	\$ 10,15	\$ 1,22	\$ 11,37
1	PCB	\$ 7,59	\$ 7,59	\$ 0,91	\$ 8,50
3	Zócalo 8 pin	\$ 0,09	\$ 0,27	\$ 0,03	\$ 0,30
1	Rollo estaño	\$ 2,63	\$ 2,63	\$ 0,32	\$ 2,95
150	Terminales para cables	\$ 0,03	\$ 4,50	\$ 0,54	\$ 5,04
1	Lata de thinner	\$ 1,44	\$ 1,44	\$ 0,17	\$ 1,61
1	Envase plástico 1lt	\$ 0,34	\$ 0,34	\$ 0,04	\$ 0,38
8	O-ring	\$ 0,75	\$ 6,00	\$ 0,72	\$ 6,72

Continúa

1	Relay 220 VAC 8P Riel DIN	\$ 4,70	\$ 4,70	\$ 0,56	\$ 5,26
1	Base relay 8P Riel DIN	\$ 3,50	\$ 3,50	\$ 0,42	\$ 3,92
2	Luz piloto est. Sólido corta	\$ 1,45	\$ 2,90	\$ 0,35	\$ 3,25
6	Silicon #14	\$ 1,65	\$ 9,90	\$ 1,19	\$ 11,09
3	Spaguetti 8mm (1")	\$ 1,60	\$ 4,80	\$ 0,58	\$ 5,38
2	Spaguetti 16mm (5/8")	\$ 2,80	\$ 5,60	\$ 0,67	\$ 6,27
1	2.5mm ² 12AWG bornera de riel	\$ 1,11	\$ 1,11	\$ 0,13	\$ 1,24
1	Módulo PLC S7-1200 4entradas	\$ 320,00	\$ 320,00	\$ 38,40	\$ 358,40
1	Termocupla tipo J 600°	\$ 13,64	\$ 13,64	\$ 1,64	\$ 15,28
1	Bornera 3 entradas PCB	\$ 3,77	\$ 3,77	\$ 0,45	\$ 4,22
4	Bornera 2P entradas PCB	\$ 1,37	\$ 5,48	\$ 0,66	\$ 6,14
4	Tubos de 6m PVC 3/4 plg	\$ 10,73	\$ 42,92	\$ 5,15	\$ 48,07
30	Codos de 90 3/4 pgl	\$ 0,64	\$ 19,20	\$ 2,30	\$ 21,50
5	Codos de 90 1/2 plg	\$ 0,43	\$ 2,15	\$ 0,26	\$ 2,41
5	Codos de 45 1/2 plg	\$ 0,68	\$ 3,40	\$ 0,41	\$ 3,81
8	Neplo corrido 3/4 plg	\$ 0,47	\$ 3,76	\$ 0,45	\$ 4,21
5	Neplos 10cm 3/4 plg	\$ 0,37	\$ 1,85	\$ 0,22	\$ 2,07
5	Neplos 20cm 1/2 plg	\$ 0,37	\$ 1,85	\$ 0,22	\$ 2,07
5	Universales 3/4 plg	\$ 1,92	\$ 9,60	\$ 1,15	\$ 10,75
3	Válvula tipo bola PVC 1/2 plg	\$ 4,96	\$ 14,88	\$ 1,79	\$ 16,67
1	Válvula tipo bola metálica 3/4 plg	\$ 15,00	\$ 15,00	\$ 1,80	\$ 16,80
8	Racores 1/2 plg	\$ 0,18	\$ 1,44	\$ 0,17	\$ 1,61
4	T para manguera	\$ 0,28	\$ 1,12	\$ 0,13	\$ 1,25
1	L para manguera	\$ 0,21	\$ 0,21	\$ 0,03	\$ 0,24
20	Manguera por metro 1/2 plg	\$ 0,99	\$ 19,80	\$ 2,38	\$ 22,18
2	Canales para desagües 8 mts	\$ 23,50	\$ 47,00	\$ 5,64	\$ 52,64
3	Tubos desague 2 plg 1 m	\$ 5,36	\$ 16,08	\$ 1,93	\$ 18,01
5	Codos desague 2 plg	\$ 1,20	\$ 6,00	\$ 0,72	\$ 6,72
8	Sujeta canaletas	\$ 0,85	\$ 6,80	\$ 0,82	\$ 7,62
1	PLC 1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	\$ 370,00	\$ 370,00	\$ 44,40	\$ 414,40
1	Módulo E/S digitales DI16 x 24VDC / DQ16 x relé	\$ 405,00	\$ 405,00	\$ 48,60	\$ 453,60
1	Touch Pannel KTP 600	\$ 740,00	\$ 740,00	\$ 88,80	\$ 828,80
1	Contactador 10A trifásico Bobina 220V	\$ 25,58	\$ 25,58	\$ 3,07	\$ 28,65
1	Breaker 10A tripolar	\$ 9,50	\$ 9,50	\$ 1,14	\$ 10,64
1	Bornera 12 puertos cable 12	\$ 8,00	\$ 8,00	\$ 0,96	\$ 8,96
1	Bornera 8 puertos cable 12	\$ 5,20	\$ 5,20	\$ 0,62	\$ 5,82
1	Bornera 6 puertos cable 14	\$ 4,50	\$ 4,50	\$ 0,54	\$ 5,04

Continúa

1	Gabinete eléctrico de 30X30X15 cm	\$ 20,84	\$ 20,84	\$ 2,50	\$ 23,34
10	Cable sucre 3x12AWG	\$ 2,93	\$ 29,30	\$ 3,52	\$ 32,82
5	Manguera para cableado de 1plg - 1m	\$ 4,00	\$ 20,00	\$ 2,40	\$ 22,40
5	Manguera para cableado de 3/4plg - 1 m	\$ 6,00	\$ 30,00	\$ 3,60	\$ 33,60
2	Tapas para intercambiador	\$ 18,00	\$ 36,00	\$ 4,32	\$ 40,32
2	Latas de pintura	\$ 2,90	\$ 5,80	\$ 0,70	\$ 6,50
1	Insumos de limpieza	\$ 50,00	\$ 50,00	\$ 6,00	\$ 56,00
1	Juego de tornillos y pernos	\$ 60,00	\$ 60,00	\$ 7,20	\$ 67,20
1	Pistola para cartucho de silicon	\$ 2,83	\$ 2,83	\$ 0,34	\$ 3,17
3	Masilla epóxica	\$ 2,33	\$ 6,99	\$ 0,84	\$ 7,83
1	Paquete amarras 8plg x 3,6mm	\$ 1,34	\$ 1,34	\$ 0,16	\$ 1,50
1	Adicionales	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 12,00	\$ 112,00
				TOTAL	\$ 3.421,05

7.2.1.3 EQUIPOS Y MAQUINARIA

En la implementación de este proyecto, se necesitaron utilizar algunas máquinas para llevar a cabo tareas de reparación o reconstrucción de partes mecánicas. En la **Tabla 19** se describen las máquinas utilizadas y los costos que generaron.

Tabla 19. Descripción de costos de equipos y maquinaria

Máquina/Equipo	Costo/Hora	Horas por equipo	Costo Total
Torno	\$ 15,00	4,00	\$ 60,00
Fresadora	\$ 12,00	4,00	\$ 48,00
Soldadora	\$ 15,00	1,00	\$ 15,00
Moladora	\$ 5,00	2,00	\$ 10,00
Taladaro de Banco	\$ 5,00	1,00	\$ 5,00
Prensa Hidráulico	\$ 5,00	2,00	\$ 10,00
Sierra	\$ 8,00	1,00	\$ 8,00
Esmeril	\$ 5,00	3,00	\$ 15,00
Compresor	\$ 5,00	5,00	\$ 25,00
Rectificadora	\$ 8,00	2,00	\$ 16,00
TOTAL			\$ 212,00

7.2.1.4 MANO DE OBRA

Algunas tareas por su complejidad, fue necesario realizarlas por medio de personal calificado, los cuales representan costos que se muestran en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Costos de mano de obra

N°	Trabajador	Salario/Hora	Horas	Costo
1	Técnico Metalmeccánico	\$ 4	25	\$ 100
			TOTAL	\$ 100

7.2.2 COSTOS INDIRECTOS

Dentro de los costos indirectos están involucrados los gastos que tienen que ver con servicios básicos, transporte, materiales de oficina. Esto se puede observar en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Descripción de costos indirectos

N°	Descripción	Costo
1	Tecnología de la Información	\$ 50
2	Transporte	\$ 60
3	Materiales de Oficina	\$ 20
4	Servicios Básicos	\$ 50
5	Otros	\$ 60
TOTAL		\$ 240

7.2.3 PRESUPUESTO TOTAL

El presupuesto total, es la suma de todos los costos anteriormente expuestos, estos se muestran en la **Tabla 22**. Este costo equivale al total necesario para emprender el proyecto.

Tabla 22. Descripción del presupuesto total

N°	Descripción	Subtotal
1	Diseño e Ingeniería	\$ 3450
2	Materiales y elementos de construcción	\$ 3421,05
3	Equipos y maquinaria	\$ 212
4	Mano de obra	\$ 100
5	Gastos generales	\$ 240
TOTAL		\$ 7423,05

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

En esta parte se estudiará los ingresos y egresos que presenta el proyecto y se evaluará su beneficio. La vida normal o útil de las máquinas y herramientas se considera de 10 años, por lo que se ha tomado este intervalo de tiempo para el análisis.

7.3.1 INGRESOS ECONÓMICOS

Según la fuente financiera de la Mecánica Industrial Rojas, a donde pertenece la máquina de inyección del proyecto, el ingreso bruto mensual por concepto de elaboración de piezas plásticas sería de 2150 dólares aproximadamente. Con esto se tiene un ingreso anual de 25800 dólares para el primer periodo.

7.3.2 EGRESOS

7.3.2.1 COSTOS DE OPERACIÓN

En la **Tabla 23** se muestran los egresos mensuales y anuales de la máquina en el primer periodo.

Tabla 23. Descripción de costos por operación de la máquina

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor Total
1	Materia Prima (Pellets)	\$ 1011,4	\$ 1011,4
1560	Energía (Kw/h)	\$ 0,086	\$ 134,16
1	Operario	\$ 400	\$ 400
1	Aditivos	\$ 150	\$ 150
		TOTAL MENSUAL	\$ 1695,56
		TOTAL ANUAL	\$ 20346,72

7.3.2.2 DEPRECIACIÓN

Para el cálculo de la depreciación se tomó en cuenta el Método Línea Recta, en el que el valor del proyecto se reduce de forma igual durante cada periodo. Esto se muestra en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Depreciación anual del proyecto

Depreciación	
Valor inicial	\$ 7423,05
Valor residual	\$ 742,305
Número de Años	10
Depreciación Anual	\$ 668,07

7.3.2.3 MANTENIMIENTO

Se consideran los costos estimados debido al mantenimiento correctivo y preventivo. Esto se muestra en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Descripción de los costos de mantenimiento anual

Costos de Mantenimiento (Anual)	
Mantenimiento correctivo	\$ 100
Mantenimiento preventivo	\$ 40
TOTAL	\$ 140

7.3.3 BENEFICIO

Aquí se muestra el resultado de la ganancia anual, es decir, ingresos menos egresos en el primer periodo (ver **Tabla 26**).

Tabla 26. Beneficio General Anual del proyecto

Beneficio General Anual	
Ingresos	25800 \$
Costos de Operación	20346,72 \$
Depreciación	668,074608 \$
Mantenimiento	140 \$
BENEFICIO	4645,20 \$

7.4 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

La evaluación del proyecto compara, mediante distintos parámetros, si el flujo de caja proyectado permite al inversionista obtener la rentabilidad deseada, además de recuperar la inversión. Los parámetros que se tomarán en cuenta para evaluar el proyecto son el VAN y el TIR.

7.4.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Es una herramienta que calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja originados por una inversión. Con esto se puede medir la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión.

7.4.1.1 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

La TMAR es la tasa de ganancia anual que solicita ganar el inversionista para llevar a cabo la instalación y operación del proyecto. La TMAR se la define como:

$$TMAR = i + f + i * f \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde, i es el premio al riesgo y f es la inflación.

El premio al riesgo según Baca (2006), debe ser un valor entre 10 y 15%, por lo que se eligió un valor promedio del 12.5%. La inflación que se debe tomar en cuenta es un promedio de las proyecciones de los años de vida útil

del proyecto. En el caso de Ecuador, no existen proyecciones de la inflación debido a que ha sido muy variante. Por esto, se ha considerado la inflación hasta el momento del año en curso, con lo que se tiene un valor del 3.01% (Dato obtenido de la página web del Banco Central del Ecuador).

Con esto se tiene una tasa mínima aceptable de rendimiento de:

$$TMAR = 0.125 + 0.0301 + (0.125 * 0.0301) = 0.16 = 16\%$$

En la **Tabla 27** se detallan los ingresos y egresos que tendrá el proyecto durante el tiempo de vida útil.

Tabla 27. Proyección del beneficio obtenido en la vida útil del proyecto por cada año.

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	25800,00	26576,58	27376,54	28200,57	29049,41
Depreciación	668,07	668,07	668,07	668,07	668,07
Costos de Operación	20346,72	20959,16	21590,03	22239,89	22909,31
Mantenimiento	140,00	144,21	148,55	153,03	157,63
Beneficio	4645,21	4805,14	4969,88	5139,58	5314,39

Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
29923,79	30824,50	31752,32	32708,06	33692,57
668,07	668,07	668,07	668,07	668,07
23598,88	24309,20	25040,91	25794,64	26571,06
162,38	167,26	172,30	177,49	182,83
5494,46	5679,96	5871,03	6067,86	6270,61

Tabla 28. Flujo de caja neto para el cálculo del VAN

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
-7423,0512	4645,21	4805,14	4969,88	5139,58	5314,39
16%	4004,49	3571,00	3183,99	2838,54	2530,25
Flujo de caja neto	-3418,56	152,43	3336,43	6174,97	8705,22

Continúa

Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
5494,46	5679,96	5871,03	6067,86	6270,61
2255,16	2009,74	1790,81	1595,56	1589,71
10960,38	12970,12	14760,93	16356,49	17946,21

El criterio es que si el VAN es mayor o igual a cero, se acepte la inversión, caso contrario se la rechace. En este caso el VAN es de 17946,21 lo que indica que el proyecto es rentable. Además, se puede apreciar en la **Tabla 28** que a partir del segundo año ya se recupera la inversión y se obtienen ganancias del proyecto.

7.4.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno permite medir la rentabilidad de una inversión, mostrando cual sería la tasa de interés más alta a la que el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias. En otras palabras, el TIR es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. Es aceptable el proyecto siempre y cuando la TIR es superior al rendimiento requerido.

El TIR que proporciona Excel es de 39%, y en vista de que es mayor que la tasa mínima aceptable de rendimiento que es del 16%, se puede decidir aceptar la inversión.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Se logró la recuperación de la inyectora de plástico, y todas sus funciones originales, con la mejora en la implementación de un sistema automático y una operación más sencilla y dinámica. Se entregaron los manuales de usuario y de mantenimiento, planos del nuevo sistema eléctrico, además de realizar una capacitación al personal para la operación de la máquina. Por lo tanto, se cumplió con los requerimientos de la empresa auspiciante y del dueño de la inyectora, quienes se sienten satisfechos con el proyecto realizado, plasmando su conformidad en dos cartas, que se muestran en el Anexo O.
- La repotenciación del sistema mecánico de la máquina se logró con la reparación de los mecanismos que permiten su movimiento y con un exhaustivo mantenimiento del sistema hidráulico en su totalidad. El nuevo sistema de enfriamiento para la máquina y las piezas plásticas, permitió una mejor calidad de las partes conformadas, debido a que se disminuye el encogimiento y la deformación en éstas; además, la incorporación de este sistema implica un ahorro de este recurso.
- El re-diseño del gabinete eléctrico permite una correcta distribución de los elementos de potencia y de control, además de facilitar la identificación de las conexiones para los procesos de mantenimiento. Para ello, se realizaron planos eléctricos que se observan en el Anexo K. Este sistema se encuentra en perfecto funcionamiento, y con las protecciones debidas para evitar riesgos de trabajo para el operador, y brindar el resguardo adecuado a los elementos eléctricos.

- Para la operación de la inyectora se implementó una pantalla táctil y se reutilizó una botonera en la máquina (ver **Figura 59**), las cuales permiten el uso de dos modos de operación, tanto manual como automático. El uso de la interfaz es fácil e intuitivo para el operador, además se cuenta con avisos luminosos, advertencias, y seguridades para preservar el buen funcionamiento de la misma.
- El nuevo conexionado y el control implementado para el sistema de calentamiento permite controlar tres zonas con diferente temperatura en el cañón, tal como sugiere Rosato D. et al., en *Injection Molding Handbook*, página 677. Se implementó un control de tipo ON/OFF con un rango de error permisible de ± 3 °C, recordando que los valores recomendados de temperatura de trabajo para diferentes polímeros tiene un rango de ± 20 °C (*Practical Guide to Injection Moulding*, página 165). Se comprobó mediante pruebas experimentales que el control implementado cumple con las especificaciones de diseño.
- Mediante pruebas de campo, se determinó que se puede alcanzar temperaturas de hasta 220°C para la fusión de materiales plásticos en la máquina inyectora, siendo necesario implementar niquelinas de mayor potencia en caso de materiales que requieran de mayor temperatura de fusión como el HD-PE.
- La inversión del proyecto será recuperada antes del segundo año según lo esperado por la empresa, demostrando la importancia del mejoramiento y repotenciación de maquinaria que aparentemente deja de ser útil, a comparación con los costos de compra de maquinaria nueva.
- Por falta de información de la producción anterior, no se puede evaluar en qué porcentaje mejoró ésta con la automatización. Sin

embargo, la mejora en producción se da con la anulación de tiempos muertos y la disminución del tiempo de ciclo de inyección.

8.2 RECOMENDACIONES

- Con respecto al uso de la inyectora de plástico, se recomienda que cuando se utilicen moldes sin canales de enfriamiento, se realicen pausas en la producción cada hora, para que se enfríen los moldes.
- Si existe algún problema mecánico, eléctrico, o de control, remitirse al manual de usuario y de mantenimiento entregado, en el cual se explica cómo sobrellevar los problemas más comunes, y los números de contacto de servicio técnico.
- Para la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), se recomienda implementar un sistema de estudios con mayor peso de las horas de prácticas de laboratorios en Sistemas Hidráulicos y en Control Eléctrico Industrial, para una formación más integral que permita a los futuros profesionales estar en capacidad de adaptar la tecnología a equipos usados sin altas inversiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEROS SISA. (s.f.). Obtenido de <http://sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%20P20.pdf>
- APQUA, P. (1995). Los plásticos en nuestra sociedad. In P. APQUA, *Los plásticos en nuestra sociedad* (p. 109). Barcelona: Editorial Reverté.
- Beltrán, M. (s.f.). Tecnología de polímeros.
- Billmeyer, F. (2004). *Ciencia de los Polímeros*. Barcelona: Reverté.
- Cao, E. (2004). *Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos*.
- Cornish, M. L. (s.f.). El ABC de los plásticos. En M. L. Cornish, *El ABC de los plásticos* (págs. 7-9).
- Crawford, R. J. (2002). *Plastics Engineering*. En R. J. Crawford, *Plastics Engineering* (p. 530). Oxford: Butterworth Heinemann.
- Dondé, M. (2005). *Transporte de Momentum y Calor. Teoría y Aplicaciones a la Ingeniería de Proceso*. Yucatán: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Echeverría, E. (s.f.). *Exxon Mobil - Lubricants & Specialties. Espuma y Atrapamiento del Aire*. Obtenido de http://www.viselubricantes.cl/PDF_Mobil/Espuma_y_Atrapamiento_de_Aire.pdf
- Enríquez, G. (1994). *Guía Práctica para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas*. México: Limusa.
- Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Facultad Ingeniería Industrial. (2007). *Curso de Procesos de Manufactura* .
- Gómez, C. (s.f.). Procesos basados en transferencia de calor.
- Goodship, V. (2004). *Practical Guide to Injection Moulding*. Shawbury: Rapra Technology Limited.

- Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: Prentice-Hall.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Prentice Hall.
- Jones, P. (2008). *The Mould Design Guide*. Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación.
- López P., E. P. (2004). *Análisis numérico del flujo laminar en desarrollo con altos números de Prandtl ente dos cilindros concéntricos*. Caracas.
- Majumdar, S. (2001). *Oil Hydraulic Systems. Principles and Maintenance*. Nueva Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Márquez, J. (s.f.). *Diseño y Transformación de Plásticos. Análisis Térmico de la Inyección - Variación de las temperaturas en el ciclo*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Mata, F. (Septiembre de 2002). *Caracterización de los Sistemas de Lubricación y Refrigeración en las Máquinas*. La Mancha.
- Menges, G., & Mohren, G. (1983). *Moldes para Inyección de Plásticos*. México: G. Gili S.A.
- Michaeli, W., Greif, H., Kretzschmar, G., & Ehrig, F. (2001). *Training in Injection Molding*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications.
- Paclt, R. (2011). *Cooling/Heating System of the Injection Molds*. *Journal for Technology of Plasticity*.
- Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona.
- Rodríguez, J., Castro, L., & Juan, d. R. (2006). *Procesos industriales para materiales no metálicos*. Madrid: Vision Net.

Rosato, D., Rosato, D., & Rosato, M. (2000). *Injection Molding Handbook*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

Schneider Electric. (2012). Control Panel Electrical Guide.

SUMITEC. (s.f.). *Acero grado maquinaria - AISI 1020*. Obtenido de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf>

Tecnología de los Plásticos. (13 de Junio de 2011). Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>

Téllez, S. (s.f.). *Introducción al Proceso de Inyección de Plásticos*. Obtenido de <http://www.cnad.edu.mx/sitio/matdidac/md/plasticos/MANUALPARTINYPLAS.pdf>