



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE
LAS MATRICES DE LAS SOPLADORAS DE PLÁSTICO Y MODELACIÓN
DE UNA MATRIZ EN CFD; CON LA FINALIDAD DE MEJORAR LOS
ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLASTICO**

AUTORES: BRYAN LEONARDO ROBAYO PALADINES

PABLO ESTEBAN RODRÍGUEZ GARCÍA

DIRECTOR: WILSON SÁNCHEZ OCAÑA

LATACUNGA

2018



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MATRICES DE LAS SOPLADORAS DE PLÁSTICO Y MODELACIÓN DE UNA MATRIZ EN CFD; CON LA FINALIDAD DE MEJORAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLASTICO**” realizado por los señores BRYAN LEONARDO ROBAYO PALADINES, y PABLO ESTEBAN RODRÍGUEZ GARCÍA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores BRYAN LEONARDO ROBAYO PALADINES, y PABLO ESTEBAN RODRÍGUEZ GARCÍA para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 16 de enero del 2018

**ING. WILSON EDMUNDO SÁNCHEZ OCAÑA
DIRECTOR**



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **BRYAN LEONARDO ROBAYO PALADINES**, con cedula de ciudadanía N° 0502275332, y **PABLO ESTEBAN RODRÍGUEZ GARCÍA**, con cedula de ciudadanía N° 1721038295, declaramos que este trabajo de titulación *“AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MATRICES DE LAS SOPLADORAS DE PLÁSTICO Y MODELACIÓN DE UNA MATRIZ EN CFD; CON LA FINALIDAD DE MEJORAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLASTICO”* ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándolos en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 16 de enero del 2018

Bryan Leonardo Robayo Paladines

C.C.: 0502275332

Pablo Esteban Rodríguez García

C.C.: 1721038295



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **BRYAN LEONARDO ROBAYO PALADINES** y **PABLO ESTEBAN RODRÍGUEZ GARCÍA** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LAS MATRICES DE LAS SOPLADORAS DE PLÁSTICO Y MODELACIÓN DE UNA MATRIZ EN CFD; CON LA FINALIDAD DE MEJORAR LOS ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD, EN LA EMPRESA INPLASTICO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 16 de enero del 2018

Bryan Leonardo Robayo Paladines

C.C.: 0502275332

Pablo Esteban Rodríguez García

C.C.: 1721038295

DEDICATORIA

Este trabajo lo quiero dedicar a mis padres Jaime y Esperanza, a mis hermanas, quienes han influenciado en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome y haciéndome una persona de bien y a todas las personas que confiaron y estuvieron a lo largo de mi formación como profesional.

Bryan Leonardo

A mis padres, Joni y Ximena quienes me han apoyado incondicionalmente en todo momento, por sus consejos, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y han sido parte fundamental de la consecución del objetivo de ser un profesional.

Pablo Esteban

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa de mi vida, a mi familia que siempre me brindaron su apoyo, a mis docentes, amigos y compañeros que formaron parte del proceso como profesional, a todos ustedes mis más sinceros agradecimientos.

Bryan Leonardo

A mi familia, amigos, compañeros y docentes, quienes estuvieron presentes en la evolución y formación como profesional. Un sincero agradecimiento a cada uno de ustedes.

Pablo Esteban

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix

CAPÍTULO I

1. PROBLEMÁTICA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Referencias de estudios previos realizados	1
1.3. Planteamiento del problema	2
1.4. Descripción del proyecto	2
1.5. Justificación e importancia	3
1.6. Objetivos	4
1.6.1. Objetivo general	4
1.6.2. Objetivos específicos	4
1.7. Alcance	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Producción de envases plásticos por soplado de aire	5
2.1.1. Procesos productivos	5
a. Moldeo por inyección - soplado	5

b.	Moldeo por extrusión - soplado	6
2.1.2.	Elementos constituyentes del sistema de producción	8
a.	Plásticos	8
b.	Maquina Sopladora - Extrusora	11
c.	Moldes	12
d.	Sistema de enfriamiento.....	13
2.2.	Sistemas de enfriamiento de las matrices de producción	13
2.2.1.	Métodos de enfriamiento de las matrices de producción.....	14
a.	Perdida de calor por conducción.....	14
b.	Perdida de calor por convección	15
c.	Perdida de calor por radiación	16
d.	Transferencia de calor en las tuberías	16
2.2.2.	Elementos del sistema de enfriamiento.....	17
a.	Chiller	17
b.	Torre de enfriamiento	19
c.	Moldes	20
2.3.	PLC S7-1200.....	20
a.	Módulos de señales y de comunicación.....	22
2.4.	Interfaz hombre maquina (HMI).....	23
2.5.	Equipos y accesorios de control.....	24
2.5.1.	Contactores	24
2.5.2.	Interruptor Seccionador	26
2.5.3.	Sensores	27
a.	Sensores de nivel	27
b.	Sensores de temperatura	28
2.5.4.	Válvulas	30
a.	Válvula antirretorno	30
b.	Válvula de bola	31
c.	Electroválvulas.....	31
2.6.	Técnicas de análisis de dinámica de fluido computacional (CFD).....	32
2.6.1.	Campos de aplicación	32
2.6.2.	Ventajas e inconvenientes.....	33

2.6.3.	Criterios de convergencia	34
a.	Nivel residual RMS	34
b.	Nivel residual MAX.....	34
2.6.4.	Códigos CFD: estrategias a seguir	35
a.	Identificación del proceso.	35
b.	Ejecución del Solver.	35
c.	Postproceso.	36
2.7.	Cálculo y selección de bombas	36
2.7.1.	Selección de los diámetros de la tubería	37
2.7.2.	Cálculo del número de Reynolds y la pérdida por fricción	38
2.7.3.	Cálculo de la potencia de la bomba	39

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	40
3.1.	Antecedentes Investigativos	40
3.2.	Fundamentación legal	41
3.3.	Variables de investigación	42
3.4.	Operacionalización de variables	42
3.5.	Modalidad de la investigación	43
3.5.1.	Investigación bibliográfica.....	43
3.5.2.	Investigación de campo.....	44
3.5.3.	Investigación experimental	44
3.5.4.	Investigación aplicada.....	44
3.5.5.	Investigación correlacional	45
3.6.	Técnica de recolección de datos	45
3.6.1.	La observación en la planta industrial	45
3.7.	Técnica de análisis de datos.....	45

CAPÍTULO IV

4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	46
4.1.	Análisis del sistema actual de enfriamiento.....	46
4.1.1.	Enfriamiento de las máquinas extrusoras de plástico	46

4.1.2.	Enfriamiento de las matrices de producción	46
4.1.3.	Análisis del consumo energético	46
a.	Análisis consumo energético chiller HENN M.T.A. TAE 101	47
b.	Análisis consumo energético chiller KOOLANT KOOLERS HCV-7500 ..	51
c.	Análisis consumo energético chiller número 03	55
d.	Análisis de costos referentes al sistema de enfriamiento.....	59
4.2.	Análisis de la carga térmica	61
4.3.	Diseño del sistema centralizado de enfriamiento.....	65
4.3.1.	Análisis de la carga térmica proyectada.....	65
a.	Carga térmica por pérdidas en tuberías.....	65
b.	Carga térmica de las sopladoras.....	68
c.	Carga térmica de diseño.....	69
4.4.	Descripción del sistema de enfriamiento	70
4.5.	Diseño de la red hidráulica de enfriamiento	71
4.5.1.	Datos iniciales	72
4.5.2.	Cálculo de pérdidas en tuberías y accesorios.....	72
a.	Cálculos de la línea de succión	72
b.	Cálculo en la línea de descarga.....	76
c.	Cálculo de pérdidas en la línea de la tubería la molde.....	79
d.	Cálculo en la línea del molde.....	81
e.	Cálculo de la pérdida total de (hLT).....	82
f.	Cálculo de la carga total sobre la bomba (hA).....	83
g.	Cálculo de la potencia de la bomba (PotB).....	83
4.6.	Diseño del algoritmo de control y registro	84
4.6.1.	Programación PLC S7-1200	84
a.	Configuración inicial	84
b.	Bloques de programación	87
4.6.2.	Programación HMI KTP 400.....	90
a.	Configuración inicial	90
b.	Creación de imágenes	91
c.	Comunicación PLC – HMI	96
4.7.	Selección de equipos y accesorios hidráulicos	97

4.8.	Selección de equipos e instrumentos de control y potencia.....	99
4.9.	Construcción de la red hidráulica de enfriamiento	101
4.10.	Construcción del tablero de control	102
4.11.	Implementación del nuevo sistema de enfriamiento.....	104

CAPÍTULO V

5.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	111
5.1.	Pruebas hidráulicas	111
5.2.	Pruebas térmicas	112
5.3.	Pruebas eléctricas y de control.....	113
5.4.	Modelado en CFD de la matriz de soplado en ANSYS.....	115
5.4.1.	Análisis de transferencia de calor	115
a.	Mallado para el modelo de refrigeración	117
b.	Aplicación de condiciones de borde	119
5.4.2.	Convergencia y resultados	122
5.5.	Análisis del consumo energético	126
5.5.1.	Configuración chiller 01 encendido.....	127
5.5.2.	Configuración chiller 02 encendido.....	128
5.5.3.	Configuración chiller 01 y chiller 02 encendidos	129
5.6.	Validación de la hipótesis	130

CAPÍTULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	131
6.1.	CONCLUSIONES	131
6.2.	RECOMENDACIONES	132

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
--	------------

SIMBOLOGÍA	137
-------------------------	------------

ANEXOS	140
---------------------	------------

ANEXO A	DATOS DEL FABRICANTE DE LOS EQUIPOS REFRIGERADORES INDUSTRIALES
ANEXO B	DATASHEET ELECTROVALVULAS
ANEXO C	DIAGRAMAS HIDRAULICOS
ANEXO D	DIAGRAMAS DE CONEXIONES ELECTRICAS
ANEXO E	PROGRAMACION EN TIA PORTAL
ANEXO F	ANALISIS EN CFX
ANEXO G	MANUAL DEL USUARIO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de termoplásticos, propiedades y aplicaciones	10
Tabla 2. Características de los distintos tipos de polietileno	11
Tabla 3. Temperaturas en procesos de enfriamiento.....	18
Tabla 4. Ventajas e inconvenientes en la utilización de las técnicas CFD	33
Tabla 5. Operacionalización de variable independiente	42
Tabla 6. Operacionalización de variable dependiente.....	43
Tabla 7. Costo del kWh en Cotopaxi	60
Tabla 8. Datos obtenidos en el proceso de producción.....	62
Tabla 9. Informe de producción	64
Tabla 10. Características de la tubería del circuito hidráulico	66
Tabla 11. Detalle de tramos de tubería.....	67
Tabla 12. Carga térmica instalada.....	69
Tabla 13. Datos de trabajo de la tubería de enfriamiento	98
Tabla 14. Especificaciones de los accesorios hidráulicos utilizados en el sistema....	98
Tabla 15. Datos técnicos del PLC S7-1200	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Preforma obtenida por inyección.....	6
Figura 2. Envase obtenido por soplado.....	6
Figura 3. Esquema de un extrusor de tornillo.....	7
Figura 4. Esquema de moldeo por extrusión y soplado.....	8
Figura 5. Componentes de una extrusora de plástico.....	11
Figura 6. Molde para soplado de envases.....	12
Figura 7. Transferencia de calor en tuberías.....	17
Figura 8. Funcionamiento de un chiller.....	18
Figura 9. Esquema de una torre de enfriamiento.....	19
Figura 10. Comportamiento del fluido en el molde.....	20
Figura 11. PLC S7-1200.....	21
Figura 12. Especificación de los módulos de señales.....	22
Figura 13. Especificación del módulo de comunicación.....	23
Figura 14. Pantalla Táctil SIEMENS KTP 400.....	24
Figura 15 Contactor.....	25
Figura 16. Interruptor seccionador de mando giratorio.....	27
Figura 17 Tipos de medidores de nivel por flotadores.....	28
Figura 18. Curva de temperatura RTD.....	29
Figura 19. RTD PT100 de tres hilos.....	29
Figura 20. Configuraciones del puente Wheatstone.....	30
Figura 21 Válvula de bola.....	31
Figura 22. Partes de una electroválvula.....	32
Figura 23. Datos de la tubería de plástico cedula 80.....	37
Figura 24. Potencia demandada por el chiller HENN.....	48
Figura 25. Potencia demandada por la bomba y compresor.....	48
Figura 26. Potencia demandada por la bomba.....	49
Figura 27. Consumo energético en una hora del chiller HENN.....	50
Figura 28. Potencia demandada por el chiller KOOLANT.....	51
Figura 29. Inicia el tiempo de trabajo de la bomba.....	52
Figura 30. Finaliza el tiempo de trabajo de la bomba.....	52
Figura 31. Finaliza el tiempo de trabajo de la bomba y compresor.....	52

Figura 32. Consumo energético en una hora del chiller KOOLANT	54
Figura 33. Potencia demandada por el chiller 03	55
Figura 34. Finaliza el tiempo de trabajo del compresor.....	56
Figura 35. Inicia el tiempo de trabajo del compresor.....	56
Figura 36. Finaliza el tiempo de trabajo del compresor.....	57
Figura 37. Energía consumida en una hora por el chiller número 03	58
Figura 38. Gráfica de temperatura ambiente vs tiempo	66
Figura 39. Diagrama de Moody	74
Figura 40. Selección de módulos de expansión.	85
Figura 41. Activación del servidor web.	85
Figura 42. Asignación de la dirección IP.	86
Figura 43. Configuración de la zona horaria.....	86
Figura 44. Activación de las marcas del sistema.	87
Figura 45. Configuración inicial del HMI.	90
Figura 46. Asignación de la dirección IP del HMI.	91
Figura 47. Plantilla para HMI	91
Figura 48 Asignación operación de botones	92
Figura 49. Imagen Raíz	92
Figura 50. Imagen INFO SIST	93
Figura 51. Configuración del indicador “CARGA TÉRMICA”	93
Figura 52. Configuración del indicador	94
Figura 53. Configuración de visibilidad.	94
Figura 54. Imagen PRODUCCIÓN	95
Figura 55 Configuración de indicadores	95
Figura 56. Imagen REGISTRO.....	96
Figura 57. Variable asociada al indicador de tiempo MS 00	96
Figura 58. Conexión entre PLC y HMI.....	97
Figura 59 Conexión PROFINET.....	97
Figura 60. Contactor de 440 V	100
Figura 61. Pantalla HMI Siemens	100
Figura 62. Selectores y botón de paro de emergencia.....	101
Figura 63. Montaje de la tubería en el área de producción	101

Figura 64. Instalación de accesorios hidráulicos.....	102
Figura 65. Red hidráulica de enfriamiento en el área de producción.....	102
Figura 66. Tablero de control en construcción.....	103
Figura 67. Parte interior del tablero de control	103
Figura 68. Tablero de control vista frontal.....	104
Figura 69. Cuarto de máquinas - parte exterior.....	105
Figura 70. Distribución de los chillers en el interior del cuarto de máquinas.....	105
Figura 71. Conexión de las electroválvulas	106
Figura 72. Red de enfriamiento desde el cuarto de máquinas.....	106
Figura 73. Conexión de la red de enfriamiento.....	107
Figura 74. Línea de salida y retorno de.....	107
Figura 75. Conexión del agua	108
Figura 76. Caja de distribución del cuarto de máquinas	109
Figura 77. Alimentación de 220 VAC para el tablero de control	109
Figura 78. Conexión interna del tablero de control.....	110
Figura 79. Presión a la salida de la bomba principal.....	111
Figura 80. Presión de la línea de enfriamiento.....	112
Figura 81. Temperatura de set point	112
Figura 82. Temperatura máxima del	113
Figura 83. Máquinas sopladoras encendidas.....	114
Figura 84. Medición de voltajes y corrientes	114
Figura 85. Matriz de envases de plástico realizada en SOLIDWORKS.....	116
Figura 86. Interface del software Ansys	116
Figura 87. Módulo Fluid Flow (CFX) de Ansys.....	117
Figura 88. Configuración de la malla.....	118
Figura 89. Calidad de los elementos	118
Figura 90. Mallado de elementos	119
Figura 91. Región de contacto envase-cortador superior.....	119
Figura 92 Región de contacto envase-cortador inferior.....	120
Figura 93. Región de contacto envase-bloque de aluminio	120
Figura 94. Región de contacto bloque de aluminio-fluido.....	121
Figura 95. Configuración de temperatura inicial de los envases de polietileno.....	121

Figura 96. Asignación de condiciones de borde al agua refrigerante	122
Figura 97. Convergencia de transferencia de calor generado en el módulo CFX....	122
Figura 98. Desequilibrio de calor para el dominio del molde, envases y agua.....	123
Figura 99. Temperatura del agua a la salida del molde.....	123
Figura 100. Temperatura del bloque de aluminio	124
Figura 101. Temperatura envases de polietileno.....	124
Figura 102. Temperatura de los cortadores.....	125
Figura 103. Flujo de calor en las paredes.....	125
Figura 104. Flujo de calor correspondiente.....	126
Figura 105. Analizador AEMC 3945	126
Figura 106. Conexión del analizador de energía.....	127
Figura 107. Curva de consumo energético chiller 01	127
Figura 108. Curva de consumo energético chiller 02	128
Figura 109. Curva de consumo energético chiller 01 y chiller 02	129

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el desarrollo e implementación de un sistema centralizado y autónomo de enfriamiento el cual, permitió la reducción del consumo energético, la disminución de la temperatura ambiente al interior de la planta de producción y el acceso a un registro de las horas de trabajo de las máquinas sopladoras utilizadas en la producción de envases de HDPE. El diseño de la matriz de soplado utilizada para el análisis térmico se lo realizó utilizando un software CAD, para su posterior modelación de la transferencia de calor en un software CAE, de esta manera se comprobó que el sistema de enfriamiento cumple con los parámetros necesarios para la producción de envases de HDPE mediante el método de extrusión – soplado. El diseño de la red hidráulica del sistema de enfriamiento, se lo realizó considerando parámetros de presión, caudal y temperatura, para la posterior selección de equipos y accesorios. El diseño del sistema eléctrico y de control, se lo realizó en función a las necesidades operativas de la planta de producción. El funcionamiento en manera general se basa a partir de: La carga total térmica requerida por la planta de producción que es registrada por el PLC, para la posterior selección de los chillers en función de su capacidad de enfriamiento.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **EMPRESA INPLASTICO**
- **REFRIGERACION INDUSTRIAL**
- **TRANSFERENCIA DE CALOR**

ABSTRACT

The present titling work consists of the development and implementation of a centralized and autonomous cooling system enabled the reduction of energy consumption, the reduction of the ambient temperature inside the production plant, and a recording of the working hours of the blow moulding machines used in the production of HDPE containers. The design of the blowing matrix used for thermal analysis was carried out using CAD software, for later modelling of heat transfer in CAE software, thus proving that the cooling system meets the parameters required for the production of HDPE containers by the extrusion-blowing method. The design of the hydraulic network of the cooling system was carried out considering pressure, flow and temperature parameters for the subsequent selection of equipment and accessories. The design of the electrical and control system was carried out according to the operational needs of the production plant. The general operation is based on: The total thermal load required by the production plant that is registered by the PLC, for the subsequent selection of the chillers according to their cooling capacity.

KEY WORDS:

- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **INPLASTICO COMPANY**
- **INDUSTRIAL COOLING**
- **HEAT TRANSFER**

CAPÍTULO I

1. PROBLEMÁTICA

1.1. Antecedentes

Gustavo Monge, en los análisis de resultados obtenidos en su proyecto de tesis realizado en la empresa de aluminio CEDAL S.A., acota que “La automatización de las bombas del sistema de enfriamiento Chiller – Intercambiadores y Tanques – Intercambiadores, de los tanques naturales y de color, permite mantener una temperatura estable dentro del rango de 24 a 27 °C, logrando reducir los rechazos y tiempos perdidos por reprocesos”. De esta manera se evidencia que, la automatización del sistema de enfriamiento Chiller – Intercambiador, tiene impacto directo en los índices de productividad, así como en la vida útil de los elementos involucrados en los procesos productivos, ya que, al tener una temperatura constante, los esfuerzos por variaciones de temperatura se reducen.

La empresa INPLASTICO cuenta con equipos para el enfriamiento de las matrices de producción de envases plásticos, controladas manualmente, por lo que, en base al proyecto realizado por Gustavo Monje, se plantea optimizar los índices de productividad de la empresa, mediante la automatización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras.

1.2. Referencias de estudios previos realizados

El tema “AUTOMATIZACIÓN DE BOMBAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CHILLER – INTERCAMBIADORES Y TANQUES - INTERCAMBIADORES, DE LOS TANQUES NATURALES Y DE COLOR, MEDIANTE EL CONTROL DEL CAUDAL, PARA MANTENER ESTABLE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE ANODIZADO Y COLOREADO DE

ALUMINIO”, redactado y creado por el Ing. Gustavo Monge, se relaciona con el presente proyecto de investigación, en donde uno de los puntos en común, es la reducción del consumo energético de los equipos destinados al enfriamiento de las matrices de producción.

Con el análisis de información de la tesis de Gustavo Monge, se puede concluir que, mediante la automatización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico por medio de chillers, se mejora el acabado y se mantiene las características físicas deseadas de los envases plásticos, además se reduce el consumo energético, lo que tiene influencia directa en los costos de producción.

1.3. Planteamiento del problema

Actualmente la empresa INPLASTICO cuenta con un sistema de refrigeración para las matrices de soplado de plástico, por medio de chillers (enfriadores de agua), los cuales son accionados de manera manual por los operadores de turno. Este sistema de operación está basado en la percepción de demanda de enfriamiento por parte del operador, por lo que existe alto consumo de energía. Además, los componentes mecánicos y eléctricos se desgastan injustificadamente, afectando a su tiempo de vida, aumentando la necesidad de mantenimiento.

Por ello, la empresa INPLASTICO, ha decidido implementar la automatización de este sistema enfriamiento mediante agua, así como también tener un registro de su funcionamiento, con el objetivo de reducir los costos de producción y la optimización de los procesos de producción.

1.4. Descripción del proyecto

El proyecto está dirigido a la automatización del sistema de enfriamiento de las matrices o moldes utilizados en las máquinas para la elaboración de los envases de

plástico por el método de extrusión - soplado, en la empresa INPLASTICO, así como la de implementar un registro del tiempo de trabajo de las máquinas sopladoras. El proyecto en su primera etapa consta de un fundamento teórico, en el cual se detalla las características de todos los elementos que forman parte del sistema de enfriamiento, así como el estado actual de dicho sistema; posterior a ello se realiza el diseño, análisis y la selección de estos elementos que conforman el sistema, paralelamente se realizará el análisis térmico mediante un software CAE. Luego de esto se procederá con la construcción e implementación del proyecto. Una vez instalado el sistema se procede a la realización de las pruebas respectivas y al análisis de los resultados obtenidos. Al término del proyecto se emitirán las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Con la realización de este proyecto, se desea conseguir una reducción del consumo energético del sistema de enfriamiento, llevar un registro con los tiempos de operación de las sopladoras.

1.5. Justificación e importancia

En la actualidad las industrias a nivel nacional e internacional tienen como prioridad la optimización de los procesos de producción, con el fin de obtener el máximo rendimiento de sus equipos, con un bajo costo operacional y esto se ve reflejado en las utilidades de cada una de las empresas o industrias.

La empresa INPLASTICO, ubicada en el sector Sur de la ciudad de Latacunga, forma parte del sector industrial de la provincia de Cotopaxi, en la cual utiliza para sus procesos de producción maquinaria y equipos que son alimentados por energía eléctrica; por lo que se ve en la necesidad de optimizar sus procesos.

Mediante la automatización y centralización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico, se plantea optimizar este proceso, ya que en la

actualidad este sistema es controlado manualmente, sin la consideración de la demanda de enfriamiento de las máquinas, incrementado así el consumo de energía eléctrica, desgaste en los componentes físicos de los chillers, produciendo pérdidas económicas a la empresa.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Automatizar el sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico y modelar una matriz en CFD; con la finalidad de mejorar los índices de productividad, en la empresa INPLASTICO.

1.6.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis previo del sistema de enfriamiento actual.
- Diseñar el nuevo sistema automático de enfriamiento.
- Diseñar el algoritmo de control para automatizar el sistema de enfriamiento y el registro de tiempos de producción de las sopladoras de plástico.
- Seleccionar los equipos y accesorios que formarán parte de sistema automático de enfriamiento.
- Implementar la automatización del sistema automático de enfriamiento.
- Realizar el modelado en CFD de la matriz de soplado.
- Validar la automatización del sistema de enfriamiento.

1.7. Alcance

Con la automatización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico, se obtendrá un mejoramiento en los índices de productividad de la empresa INPLASTICO, como son la reducción del consumo energético de los chillers y la optimización en la producción.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Producción de envases plásticos por soplado de aire

La tecnología de moldeo por soplado ofrece una serie de ventajas sobre otros procesos de grandes volúmenes de producción, como la inyección, y presenta, al mismo tiempo, factores de coste favorables. El procedimiento utiliza plásticos con un peso molecular más elevado, por lo que es posible obtener paredes más delgadas y resistencias más elevadas a igualdad de peso. (Capela, 1995)

2.1.1. Procesos productivos

Existen distintos métodos de moldeo por soplado, aplicados en la industria, y la elección de cada uno de éstos, dependerá del producto a obtener y de la disponibilidad de materia prima y maquinaria.

a. Moldeo por inyección - soplado

Utiliza preformas de plástico en el cual el enfriamiento es muy rápido. Estas preformas son producidas por la inyección de la materia prima en estado líquido en los respectivos moldes, como se indica en la figura 1.

Una vez que se la preforma esta lista, se la calienta hasta llegar a un punto en el cual aumenta su flexibilidad, se la coloca en el molde, en el cual tomará su forma final. Se inyecta aire a una determina presión, lo que provoca la expansión de la preforma, obteniendo así, el producto final, como se muestra en la figura 2.

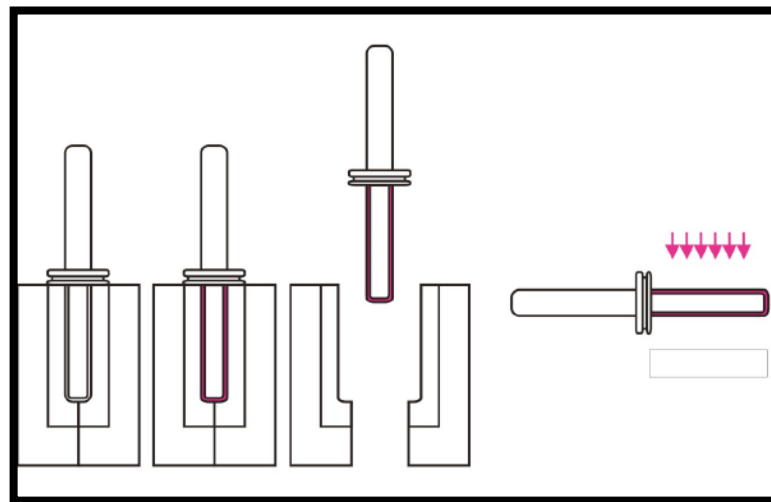


Figura 1. Preforma obtenida por inyección

Fuente: (Lesur, 2011)

La ventaja de la producción de envases plásticos por este método es su velocidad, es mucho más rápido que la producción por extrusión – soplado, pero solo se la puede aplicar para envases de composición química específica. (Lesur, 2011).

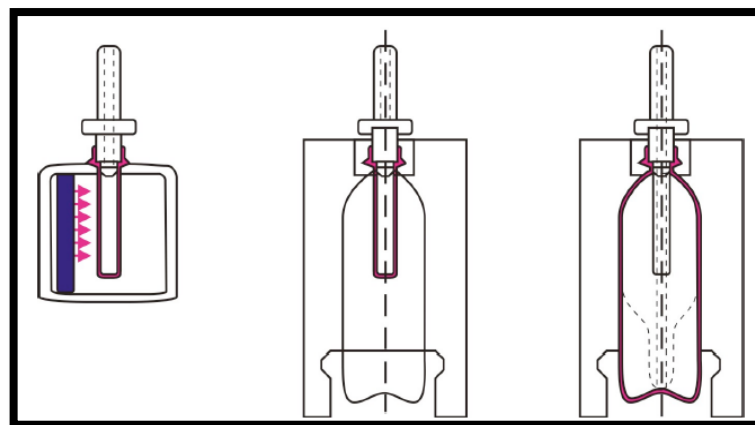


Figura 2. Envase obtenido por soplado

Fuente: (Lesur, 2011)

b. Moldeo por extrusión - soplado

Consiste en obtener una preforma por medio del proceso de extrusión, la cual es colocada en un molde hueco y, por medio de la inyección de aire, se obtiene el producto deseado.

Como describe (Kalpakjian & Schmid, 2002), en la extrusión, las materias primas en forma de gránulos o polvo termoplástico alimentan al barril, el cual se equipa con un tornillo helicoidal que mezcla los pellets y los transporta hacia el dado, como se muestra en la figura 3. La fricción mecánica calienta y funde los pellets, la acción del tornillo también aumenta la presión dentro del barril. Los tornillos tienen tres secciones diferentes:

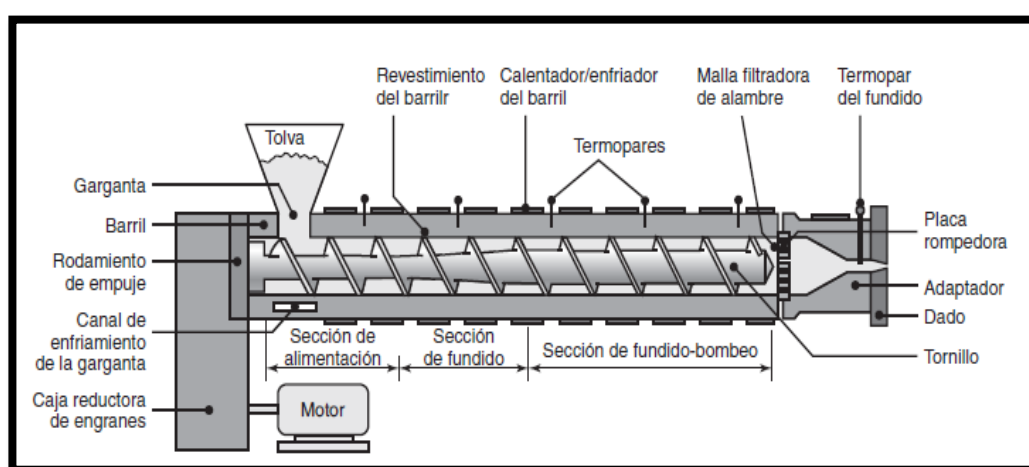


Figura 3. Esquema de un extrusor de tornillo.

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

- *Sección de alimentación:* Transporta el material de la tolva a la región central del barril.
- *Sección de fundido:* en donde el calor generado por el cizallamiento viscoso de los pellets y los calentadores eternos funden el plástico.
- *Sección de bombeo:* ocurre cizallamiento adicional y fusión por aumento de presión.

En el proceso de soplado, previamente se encierra dentro de un molde el tubo o preforma, el cual se lo conoce como parison, y luego se sopla aire hacia afuera para llenar la cavidad, como se indica en la figura 4. Por lo general, el soplado se realiza

con un chorro de aire a una presión de 350 a 700 kPa (50 a 100 PSI). (Kalpakjian & Schmid, 2002).

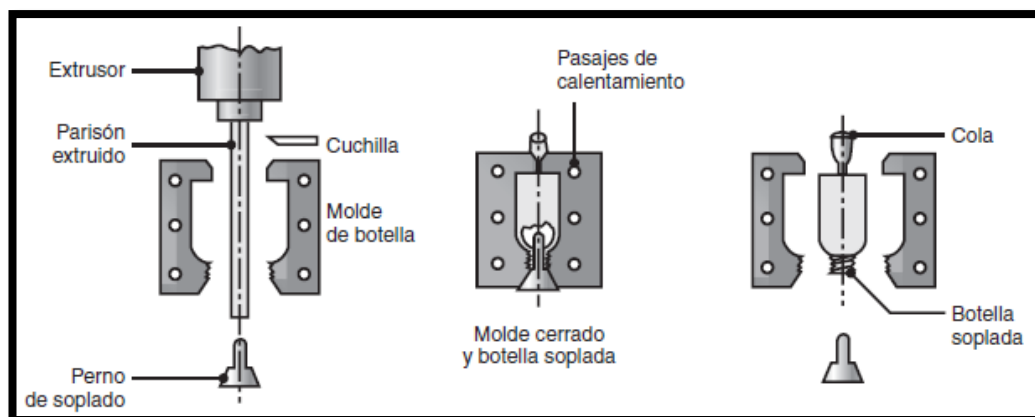


Figura 4. Esquema de moldeo por extrusión y soplado

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

La empresa INPLASTCO, en su planta de producción, cuenta con máquinas para la fabricación de envases por el método de extrusión – soplado. Para la fabricación de accesorios adicionales para los envases, tales como correas y tapas, dispone de máquinas inyectoras, lo que le permite a la empresa, ser una de las líderes de la región, en el área del conformado de plásticos.

2.1.2. Elementos constituyentes del sistema de producción

a. Plásticos

Son compuestos constituidos por moléculas que forman estructuras muy resistentes, que permiten moldeo mediante presión y calor. La American Society for Testing Materials (ASTM), define como plástico a cualquier material de un extenso y variado grupo que contiene como elemento esencial una sustancia orgánica de gran peso molecular, siendo sólida en su estado final; ha tenido o puede haber tenido en alguna etapa de su manufactura (fundido, cilindrado, prensado, estirado, moldeado,

etc.) diferentes formas de fluidificación, mediante la aplicación, junta o separada, de presión o calor. (Laboratorio de Producción, 2008)

Clasificación

Los materiales plásticos pueden clasificarse en varias categorías según el origen del monómero base, su comportamiento frente al calor, la reacción de síntesis, su estructura molecular o su mercado. De acuerdo con su comportamiento frente al calor se clasifican en termoplásticos y termoestables. (Lesur, 2011).

Termoestables. Son los plásticos que una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a deformarse

Termoplásticos. Son los plásticos que a temperatura ambiente son plásticos o deformables, se derriten a un líquido cuando se calientan y se endurecen en un estado vítreo, cuando son suficientemente enfriados. Después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos.

Materiales más comunes para la extrusión

Como se indica en (Lesur, 2011), los materiales termoplásticos más comunes utilizados en la producción de envases plásticos por el método de extrusión – soplado, son:

- Polietileno de baja densidad (LDPE)
- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Policloruro de vinilo(PVC)
- Polipropileno (PP)
- Poliestileno (PS)

- Poliestileno de alto impacto (HIPS)
- Poliamidas (nylon) (PA)
- Polietilentereftalato (PET)

En la Tabla 1, se describen las propiedades físicas y aplicaciones de los tipos de termoplásticos utilizados como materia prima a nivel industrial.

Tabla 1.

Tipos de termoplásticos, propiedades y aplicaciones

NOMBRE		PROPIEDADES	APLICACIONES
Policloruro de vinilo (PVC)		Amplio rango de dureza Impermeable	Tubos, desagües, puertas, ventanas
Poliestireno (PS)	Duro	Transparente pigmentable	Juguetes, pilotos coche
	Expandido (porexpan)	Esponjoso y blando	Aislamiento térmico y acústico, envasado, embalaje
Polietileno (PE)	Alta densidad	Rígido, resistente y transparente	Utensilios domésticos (cubos, juguetes)
	Baja densidad	Blando y ligero, transparente	Depósitos, envases alimenticios
Metacrilato (plexiglás)		Transparente	Faros, pilotos de automóvil, ventanas, carteles luminosos, gafas de protección, relojes...
Teflón (fluorocarbonato)		Deslizante. Antideslizante.	Utensilios de cocina (sartenes, paletas...), superficies de encimeras...
Nailon (PA poliamida)		Flexible y resistente a la tracción, traslucido, brillante	Hilo de pesca, levas, engranajes, tejidos, medias
Celofán		Transparente (con o sin color). Flexible y resistente. Brillante y adherente.	Embalaje, envasado, empaquetado.
Polipropileno(PP)		Translucido, flexible resistente.	Tapas de envases, bolsas, carcasas
Poliéster (PET)			Botellas de agua, envases champú, limpieza

Fuente: (Albuerno, 2008)

En la Tabla 2, se describen las características físicas y térmicas de los materiales utilizados para la elaboración de envases en la empresa INPLASTICO.

Tabla 2.

Características de los distintos tipos de polietileno

Característica	Material	
	HDPE	LDPE
Conductividad térmica	0,33 kcal / mh°C	0,26 kcal / mh°C
Calor específico	0,45 kcal / kg°C	0,50 kcal / kg°C
Densidad a 20 °C	0,94-0,96 g / cm ³	0,92-0,94 g / cm ³
Tiempo de secado (secado previo)	1-1,5 h a 65 °C	1-1,5 h a 65 °C

Fuente: (Mink, 2004)

b. Máquina Sopladora - Extrusora

Desde su creación, estas máquinas han evolucionado con el tiempo, lo que ha permitido a las industrias incrementar los índices de productividad y reducir su consumo energético, para lo cual se han implementado sistemas de control y monitoreo automáticos. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

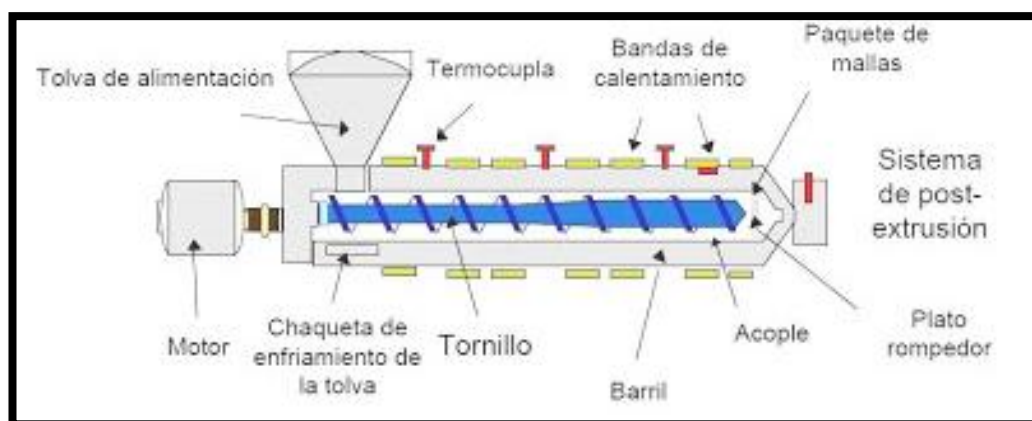


Figura 5. Componentes de una extrusora de plástico

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

Una máquina de moldeo por extrusión (figura 5) cuenta con un sistema de alimentación por donde ingresa la materia prima, un tornillo de transporte accionado por un motor acoplado a un reductor de velocidad, que moviliza la materia prima, la

cual es calentada a lo largo de su trayectoria por una camisa calefactora hasta una determinada temperatura. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

c. Moldes

Los moldes utilizados para la producción de envases por extrusión trabajan con bajas presiones, por lo que la diversidad de materiales para la fabricación de estos es grande. Los moldes de aluminio presentan muy buena conductividad térmica, son fáciles de fabricar, pero su durabilidad no es muy elevada. En comparación los moldes de acero son más duraderos y rígidos, y los de cobre-berilio son los que presentan mejor conductividad térmica. Los moldes de aluminio son los más empleados pues son los que presentan el mejor equilibrio entre conductividad térmica, duración y costo, figura 6. (OMAX, 2012)

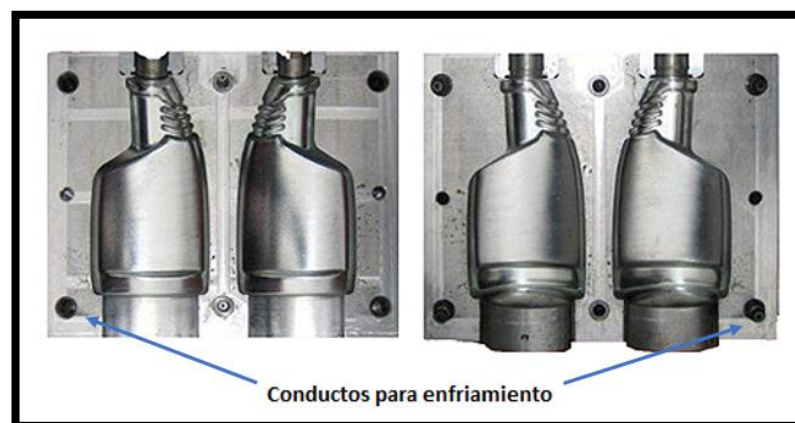


Figura 6. Molde para soplado de envases.

Fuente: (OMAX, 2012)

Se debe tener en consideración algunos aspectos en la selección de materiales para la fabricación moldes para este proceso, tales como la capacidad para transmitir y mantener constante una temperatura, la resistencia al uso, considerando la vida útil para la producción, la facilidad de ser colado y maquinado y su disposición a ser reparado, en caso de ser necesario

d. Sistema de enfriamiento

El soplado de termoplásticos utiliza procesos de adición de calor a la materia prima, para cambiar su estado y de esta manera, darle la forma requerida. Esto conlleva a la necesidad de la utilizar de sistemas de enfriamiento en estos procesos de producción. Según (Capela, 1995) puede identificar dos tipos de requerimientos de enfriamiento y son:

Enfriamiento de máquina. Comprende el sistema interior de refrigeración de cada una de las maquinas sopladoras de plástico. Los rangos de temperatura con los cuales se trabajan no requieren de gran precisión, por lo que los sistemas de control asociados constan de circuitos simples.

Enfriamiento del proceso. Aquí, se debe tener en cuenta que las temperaturas son controladas, y tiene impacto directo sobre la solidificación del plástico, una vez procesado.

Como se detalla, en la producción de envases plásticos no se utiliza un solo sistema de enfriamiento, lo que conlleva a métodos de control distintos en cada subsistema. En el caso del enfriamiento del proceso, lo que se busca es tener un control sobre la variación de temperatura del envase, así como en el lapso de tiempo en el que esto sucede.

2.2. Sistemas de enfriamiento de las matrices de producción

Uno de los puntos críticos en el proceso de producción de envases plásticos, es el proceso de enfriamiento de los moldes, ya que de esto depende los tiempos de producción de los envases, además este control de temperatura tiene impacto directo en la calidad final del producto. (Michaeli & Brümmer, 2008)

Si se aumenta la presión del aire de soplado, puede aumentar la transferencia de calor entre el molde y la pieza, elevando el coeficiente global de transferencia de calor y, por ende, aumentando el flujo de calor disipado del molde. Además del enfriamiento en el molde, el calor también puede ser disipado de la superficie interna del envase. Los procesos que incrementan el flujo de calor en la superficie interna son conocidos como enfriamiento de superficie interna. (Michaeli & Brümmer, 2008)

En el enfriamiento de superficie externa, se realiza la transferencia de calor por conducción, mediante el contacto entre las paredes de la pieza del envase extruido y el molde, el cual tiene en su interior conductos que transportan un líquido refrigerante, el que absorbe el calor y reduce su temperatura. Los rangos de temperatura, y los tiempos de contacto entre el molde y la pieza, dependen del tipo de envase a producir. (Michaeli & Brümmer, 2008)

2.2.1. Métodos de enfriamiento de las matrices de producción

Para analizar los métodos de enfriamiento de las matrices de producción, se debe tener en cuenta los principios de transferencia de calor involucrados en el proceso, así como los conceptos fundamentales de termodinámica.

a. Pérdida de calor por conducción

La transmisión de calor por conducción puede realizarse en cualquiera de los tres estados de la materia: sólido, líquido o gaseoso; y se produce mediante la transferencia de la energía de vibración entre las moléculas o por el movimiento de electrones libres. La conducción es particularmente importante en los metales (la transmisión de calor entre fluidos en intercambiadores de calor se da a través de una pared sólida) y se produce sin movimiento visible de materia. (Dorán, 1988)

En el proceso de fabricación de envases por el método de extrusión – soplado, el parison que sale de la boquilla de la extrusora, tiene temperaturas entre los 160 °C y 180 °C. Por inyección de aire comprimido, el parison se expande, poniéndose en contacto directo con las paredes internas del molde. Es en este momento en el que se da lugar a la transferencia de calor entre el envase soplado, y la matriz de producción.

Se asume que el calor ganado por el molde es el calor perdido por el envase soplado, por lo que para determinar la cantidad de calor cedido se aplica la fórmula de la tasa de transferencia de calor, tomada de (Holman J. P., 1999).

$$q = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad [W] \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde \dot{m} es el flujo másico, C_p es el calor específico y ΔT , es la diferencia de temperaturas antes y después de la extracción de calor.

b. Pérdida de calor por convección

Como se describe en (Holman J. P., 1999, p. 28), la transferencia de calor por convección, el gradiente de temperatura depende de la rapidez con la que un fluido conduce calor.

$$q = h * A * (T_w - T_f) \quad [W] \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde A , es el área de contacto entre el sólido y el fluido, T_w y T_f es la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido, y h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, el cual se lo determina experimentalmente.

En el proceso de producción de los envases por extrusión – soplado, circula agua a 10 °C por los conductos internos de las matrices de producción, a una rapidez determinada. Este proceso, permite transferir el calor del molde hacia el agua, la cual a su vez circula por las tuberías internas del chiller.

Al interior del chiller, existe un intercambiador de calor, el cual enfría nuevamente el agua, transfiriendo al ambiente el calor absorbido en el proceso, por medio de un circuito de refrigeración.

c. Pérdida de calor por radiación

La transferencia de calor por radiación térmica se produce cuando existe intercambio de calor entre dos cuerpos, sin que exista entre ellos un medio material, la cual se determina por la ley de la radiación de Stefan – Boltzman. (Holman J. P., 1999).

$$q = \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4) \quad [W] \quad [\text{Ec. 3}]$$

Debido a que la diferencia de temperaturas entre la cara exterior del molde y la temperatura ambiente es máxima de 30 °C, los valores obtenidos por pérdidas de calor por radiación son despreciables.

d. Transferencia de calor en las tuberías

Para determinar el calor absorbido en las tuberías por el fluido refrigerante en una línea centralizada de enfriamiento, en estado estacionario, se utiliza la fórmula descrita por (Karlekar, 1996), como se indica a continuación:

$$\dot{Q} = \frac{2 * \pi * k * (T_i - T_o)}{2,3 \log \left(\frac{r_o}{r_i} \right)} \left[\frac{BTU}{h * ft \text{ lineal}} \right] \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

- k es la conductividad térmica del material de la tubería en $\left[\frac{BTU}{ft * h * ^\circ F} \right]$
- T_i es la temperatura en la cara interior de la tubería en [°F]
- T_o es la temperatura en la cara exterior de la tubería [°F]
- r_o es el radio exterior en [in]
- r_i es el radio interior en [in]

En la figura 7, se describe los parámetros considerados en el flujo de calor unidimensional a través de un cilindro hueco. Este principio es utilizado para determinar la absorción de calor en el agua de enfriamiento, por efecto de la diferencia de temperaturas con el ambiente.

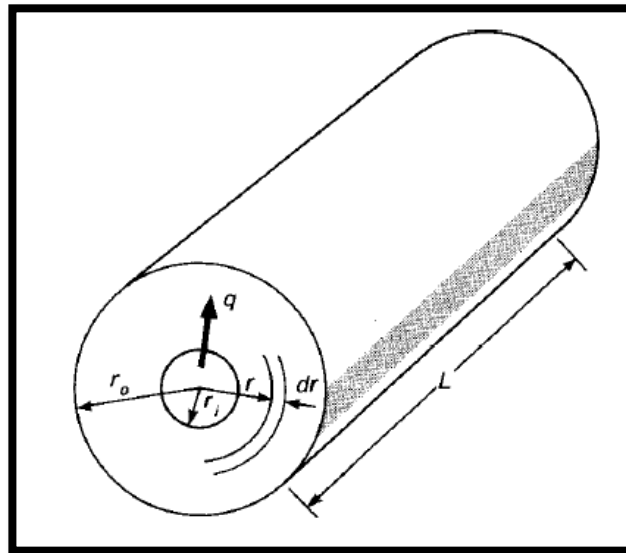


Figura 7. Transferencia de calor en tuberías

Fuente: (Holman J. P., 1999)

2.2.2. Elementos del sistema de enfriamiento

a. Chiller

El enfriador de agua o water chiller es una unidad enfriadora de líquidos. En modo bomba de calor también puede servir para calentar ese líquido. El evaporador tiene un tamaño menor que el de los enfriadores de aire, y la circulación del agua se proporciona desde el exterior mediante bombeo mecánico. (EcoChillers, 2013).

Los Chillers pueden ser enfriadores de aire o agua. Para enfriar el agua, (figura 8) incorporan el uso de torres de enfriamiento las cuales mejoran la termodinámica, en comparación con los chillers para enfriar aire. (EcoChillers, 2013)

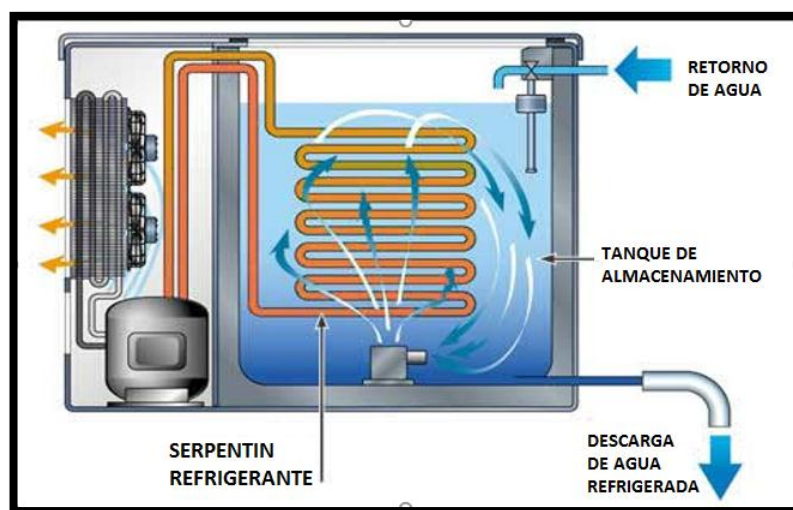


Figura 8. Funcionamiento de un chiller

Fuente: (EcoChillers, 2013).

La configuración de las temperaturas de trabajo de los chillers depende del proceso a enfriar. La Tabla 3, indica valores de temperatura recomendados, los cuales han sido obtenidos de manera experimental.

Tabla 3.

Temperaturas en procesos de enfriamiento

PROCESO	RANGO
Moldes	7 a 14 °C
Enfriadores de Aceite	23 a 35 °C
Compresores de aire	23 a 35 °C
Post-enfriadores	20 a 30 °C
Termorreguladores	7 a 15 °C
Aire para formadoras	7 a 10 °C

Fuente: (Nieto, 2014)

Método de control

Un chiller es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión (evaporación), refrigerante y tuberías, además de bomba de impulsión de agua desde el proceso, sistema electrónico de

control del sistema, depósito de agua, gabinete, etc. Distintos procesos requieren alimentarse con distintos caudales, presiones y temperaturas de agua. El agua se puede enfriar a temperaturas finales que alcanzan los $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, inclusive temperaturas negativas con la adición de anticongelantes, por ejemplo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bajo cero). (EcoChillers, 2013).

b. Torre de enfriamiento

La finalidad de la torre de enfriamiento (figura 9), es la extracción de calor del sistema hidráulico de cada una de las maquinas extrusoras instaladas en la empresa, las cuales en su interior cuentan con intercambiadores de calor. Después de que el agua se enfría, se reintroduce como agua de proceso. El agua que tiene que enfriarse generalmente tiene temperaturas entre 40 y $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. El agua se bombea a la parte superior de la torre de enfriamiento y de ahí fluye hacia abajo a través de tubos de plástico o madera. Esto genera la formación de gotas. Cuando el agua fluye hacia abajo, emite calor que se mezcla con el aire de arriba, provocando un enfriamiento de 10 a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Cerde, 2012).

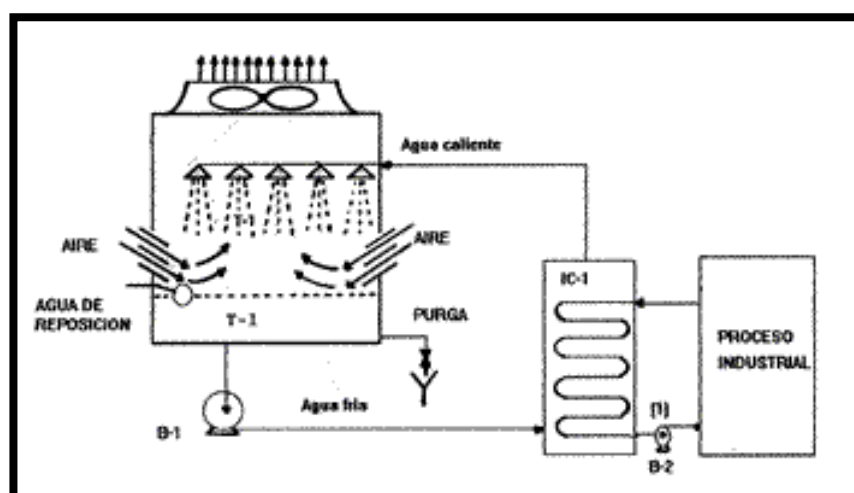


Figura 9. Esquema de una torre de enfriamiento

Fuente: (Cerde, 2012)

c. Moldes

Los moldes o matrices son los elementos que le dan la forma final a los envases plásticos. Al ponerse en contacto directo con la masa de polietileno, se produce una transferencia de calor del envase, hacia el molde. Este calor debe ser extraído para evitar defectos en la producción, por lo que cada uno de los moldes o matrices, cuentan en su interior con un sistema de tuberías (figura 10), a través de las cuales circula el líquido refrigerante (agua u otros) a temperaturas que están en el rango de $5^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$.

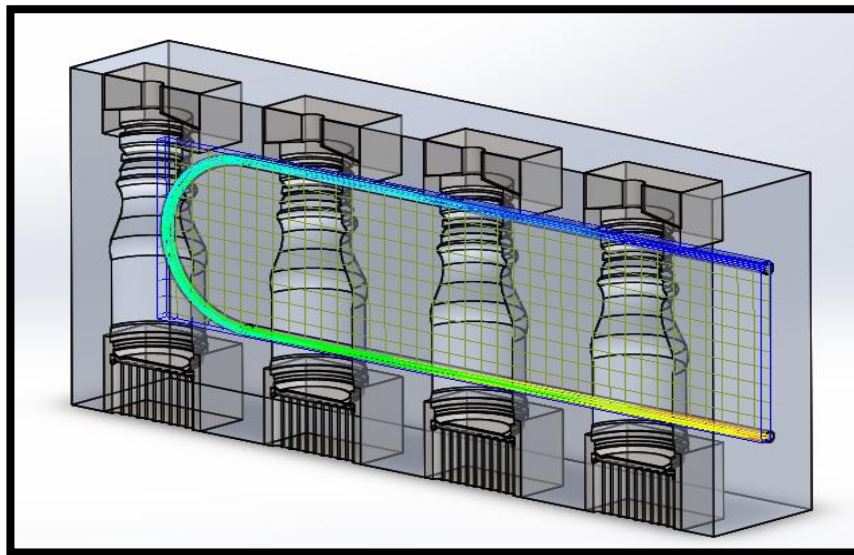


Figura 10. Comportamiento del fluido en el molde

2.3. PLC S7-1200

El PLC S7-1200 es un controlador lógico programable que ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos o equipos, para las distintas tareas de automatización, en las diferentes industrias.

“Este controlador posee un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida; la lógica de este PLC puede vigilar y controlar los dispositivos que se requieren automatizar, además este PLC tiene la capacidad de

vigilar las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario.” (SIEMENS AG, 2009)

Por lo cual, este PLC S7-1200 es idóneo para nuestro sistema de automatización para el enfriamiento de los moldes de las sopladoras de plástico ya que brinda las características de protección, robustez, y facilidad en la programación, por lo que se trata de un PLC amigable con el usuario. En la figura 11 se observa al PLC S7-1200 y cada una de sus partes.

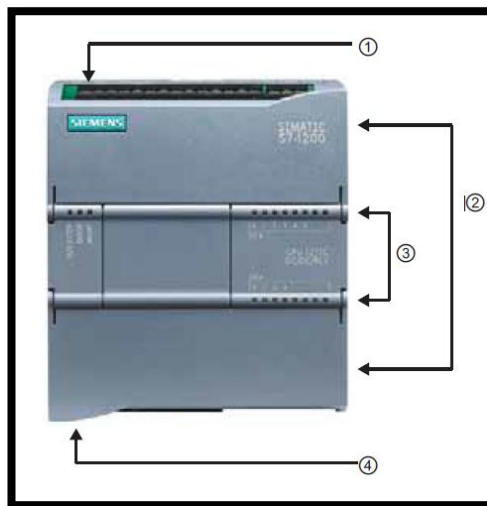


Figura 11. PLC S7-1200

Fuente: (SIEMENS AG, 2009)

Dónde:

1. Conector de corriente
2. Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
3. LEDs de estado para las E/S integradas
4. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones.

a. Módulos de señales y de comunicación

“Los módulos de señales se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU.” (SIEMENS AG, 2009)

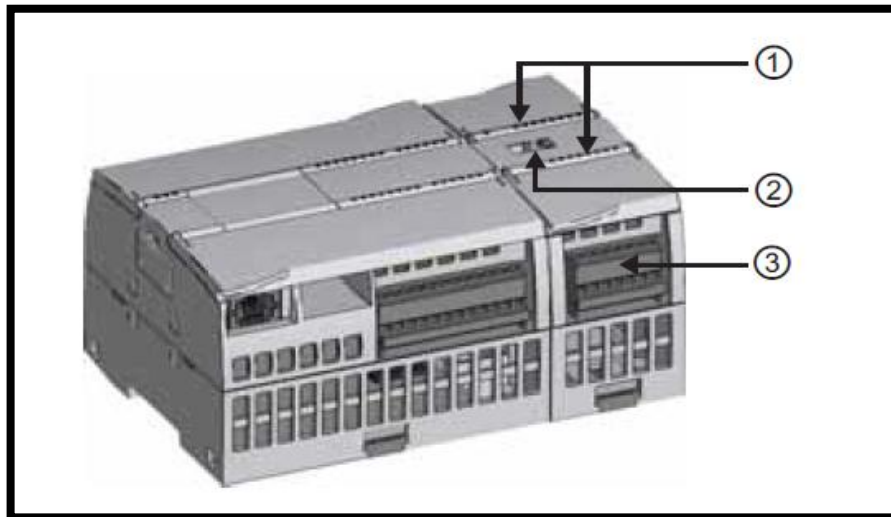


Figura 12. Especificación de los módulos de señales

Fuente: (SIEMENS AG, 2009)

Dónde:

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

En la figura 12 se puede ver la tipología de los conectores tanto de un bus de datos como de las entradas, en nuestro caso especial vamos a utilizar un cable 18 AWG para la conexión del PLC y los demás equipos “La gama SE-1200 provee módulos de comunicación (CMs) que ofrecen funciones adicionales para el sistema. Hay dos módulos de comunicación, a saber: RS232 y RS485.” (SIEMENS AG, 2009)

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

En la figura 13 se puede observar la parte física del módulo de comunicación, en nuestro caso es un módulo de comunicación RS232.

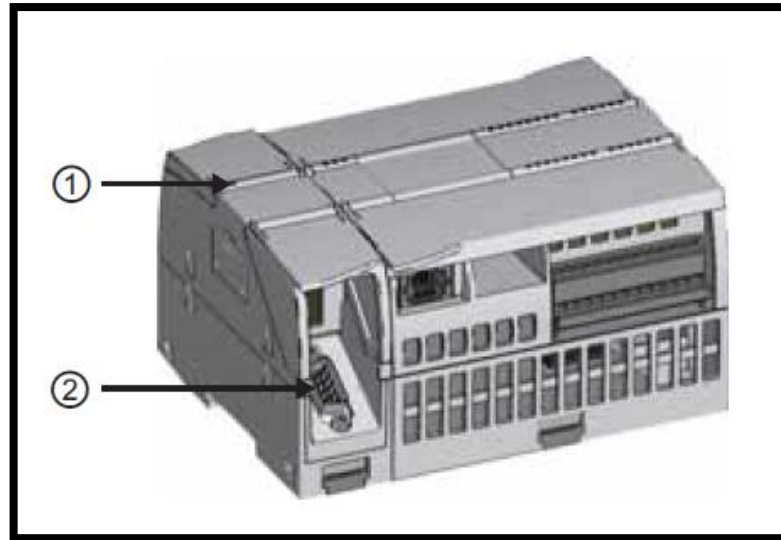


Figura 13. Especificación del módulo de comunicación

Fuente: (SIEMENS AG, 2009)

Dónde:

1. LEDs del estado del módulo de comunicación.
2. Conector de comunicación.

2.4. Interfaz hombre maquina (HMI)

Un sistema HMI (Human Machine Interfaz) aplicado a las computadoras, en el ámbito industrial es el sistema que vuelve evidentes las diferentes funcionalidades disponibles en un sistema de automatización y control. Debe acomodarse a las tareas que los usuarios desean realizar y a su visión del sistema de automatización. (Romero, 2011).

Las señales de los procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en un servidor, PLC's (Controladores Lógicos

Programables), RTU (Unidades Remotas de I/O) o variadores de velocidad. Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. (Ríos, 2013)

En la figura 14, se observa un ejemplo de pantalla HMI, utilizado para la visualización de variables y procesos asociados a sistemas de automatización a nivel de la industria.



Figura 14. Pantalla Táctil SIEMENS KTP 400

Fuente: (SIEMENS)

2.5. Equipos y accesorios de control

2.5.1. Contactores

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos. (figura 15). (Vilches, 2014).

Son muchas y variadas las aplicaciones que requieren contactores. La elección del contactor con el calibre más apropiado depende directamente de las características de cada aplicación. (Schneider Electric, 2015)



Figura 15 Contactor

Fuente: (Eléctrica Industrial Elizondo, 2016).

Los fabricantes incluyen en sus catálogos tablas que permiten determinar el calibre de los contactores en función del tipo general de aplicación (distribución o control de motores) y de las tensiones y corrientes utilizadas. (Schneider Electric, 2015). Dichas tablas se establecen para:

- Cadencias de funcionamiento < a 30 ciclos de maniobras por hora (los motores estándar admiten 6 arranques por hora),
- Una temperatura ambiente de 40 °C,
- Una tensión ≤ 440 V.

En estas condiciones, un contactor puede conmutar una corriente igual a su propia corriente asignada de empleo según las categorías de empleo AC-1 o AC-3. En los demás casos puede ser necesaria una desclasificación, es decir, utilizar un contactor de calibre superior que se determina consultando las tablas o curvas correspondientes.

Elegir un contactor para una aplicación concreta significa fijar la capacidad de un aparato para establecer, soportar e interrumpir la corriente en el receptor que se desea

controlar, en unas condiciones de utilización establecidas, sin recalentamientos ni desgaste excesivo de los contactos. (Schneider Electric, 2015).

2.5.2. Interruptor Seccionador

“El interruptor es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, tolerar e interrumpir corrientes en un circuito en condiciones normales, incluidas las condiciones especificadas de sobrecarga durante el servicio, y tolerar durante un tiempo determinado corrientes dentro de un circuito en las condiciones anómalas especificadas, como en caso de un cortocircuito” (norma IEC 947-3).

El mecanismo vinculado al dispositivo de mando manual garantiza la apertura y el cierre brusco de los contactos, independientemente de la velocidad de accionamiento del operario. Por lo tanto, el interruptor está diseñado para ser manejado con carga con total seguridad. Sus características se basan en las categorías de empleo normativas utilizadas para clasificar los circuitos cuya alimentación resulta más o menos difícil de establecer o interrumpir en función del tipo de receptores utilizados. (Schneider Electric, 2015).

Los interruptores que cumplan las condiciones de aislamiento especificadas en las normas para los seccionadores son interruptores seccionadores, aptitud que el fabricante debe certificar marcando el aparato con un símbolo. Al igual que los seccionadores, los interruptores y los interruptores seccionadores (figura 16) se pueden completar con un dispositivo de enclavamiento para el enclavamiento y, según el caso, con fusibles. (Schneider Electric, 2015).



Figura 16. Interruptor seccionador de mando giratorio

Fuente: (Schneider Electric, 2015).

2.5.3. Sensores

Existe gran variedad de sensores y dispositivos de control para sistemas hidráulicos, la elección de cada uno de ellos depende de la aplicación, los requerimientos de seguridad y el aspecto económico. Independientemente de la marca o del fabricante, todos se basan en un principio de funcionamiento común, tal como se detalla a continuación. (Creus, 1997).

a. Sensores de nivel

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel líquidos y de sólidos, cuyos principios de lectura son distintos. (Creus, 1997). Existe gran variedad de instrumentos medidores de nivel, por ejemplo, los medidores de nivel por flotadores, como se muestra en la figura 17.

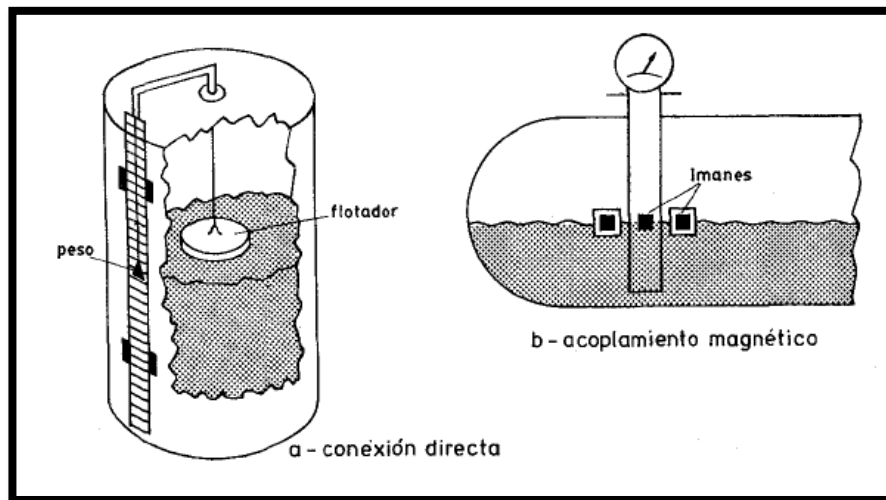


Figura 17 Tipos de medidores de nivel por flotadores

Fuente: (Creus, 1997)

b. Sensores de temperatura

Un sensor de temperatura es un instrumento que transforma los valores de temperatura de un cuerpo, máquina o proceso, en señales de voltaje. Existen tres tipos de sensores de temperatura y son los termopares, los RTD y termistores.

Termistores Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para cambios relativamente pequeños en la temperatura. (Creus, 1997).

Termopares Se basa en el efecto por Seebeck en 1821, de la circulación de corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuya unión se mantiene a distinta temperatura. (Creus, 1997).

RTD La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura como se indica en la figura 18, las cuales son propias del elemento de detección. (Creus, 1997).

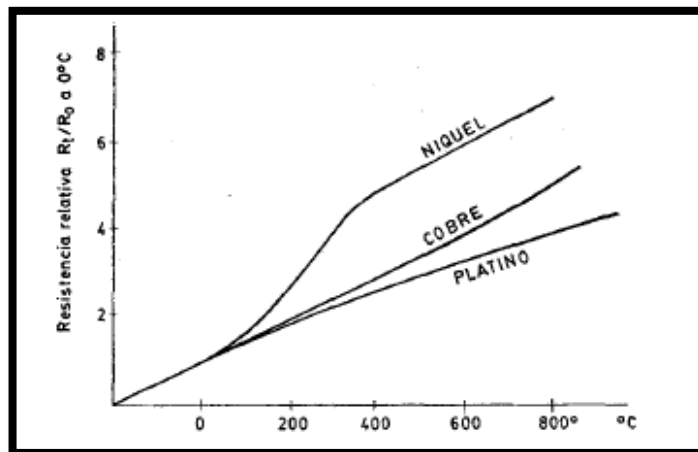


Figura 18. Curva de temperatura RTD

Fuente: (Creus, 1997).

El platino es el material más adecuado desde el punto de precisión y de estabilidad, pero presenta el inconveniente de su coste. En general la sonda de resistencia de platino, utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0°C, llamada PT100 (figura 19). (Creus, 1997).

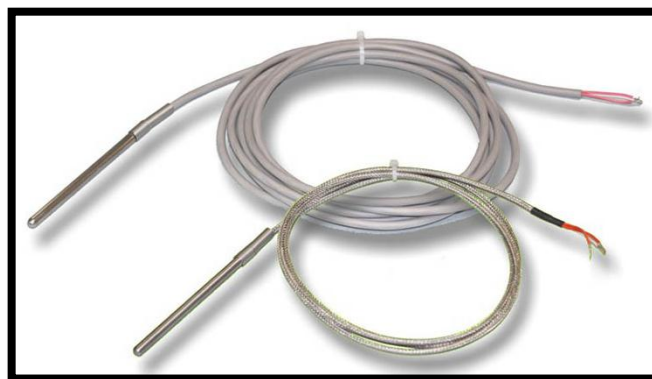


Figura 19. RTD PT100 de tres hilos

Fuente: (PIXSYS, 2016)

La variación de resistencia de las sondas es medida con un puente Wheatstone dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos y de cuatro hilos, según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente. En la figura 22 puede verse estas distintas configuraciones. (Creus, 1997)

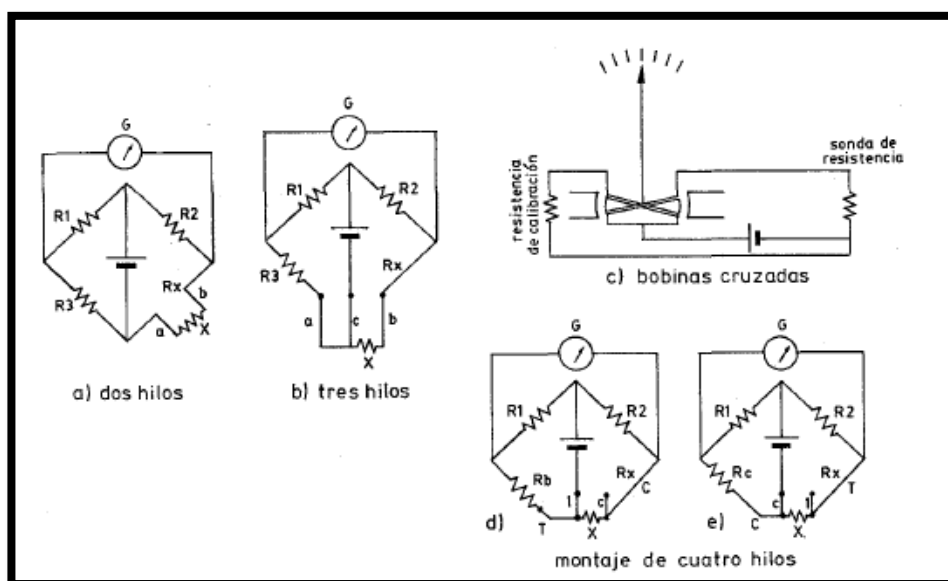


Figura 20. Configuraciones del puente Wheatstone

Fuente: (Creus, 1997).

2.5.4. Válvulas

Las válvulas son las encargadas de regular el caudal del fluido de control que modifica el valor de la variable medida y por tanto de la variable controlada. Las válvulas son los principales elementos finales de control. Se comportan como un orificio de área variable. (Golato, 2016). Existe gran diversidad de tipos de válvulas, y la elección de la válvula correcta depende de las necesidades y características del fluido a controlar. A continuación, se detallan las válvulas consideradas para el desarrollo del presente proyecto

a. Válvula antirretorno

Las válvulas de retención son también conocidas como válvulas check, válvulas de contraflujo, válvulas de no retorno, entre otros nombres. Tienen como propósito permitir el flujo en un sólo sentido, su aplicación principal es en la descarga de bombas. Tiene como función prevenir que el flujo bombeado regrese una vez que las bombas se detienen; también evitan que el flujo de retorno provoque un giro inverso de las

bombas, lo cual puede, en algunos casos, dañar los equipos de bombeo. Las válvulas que contienen resortes o mecanismos internos susceptibles a interceptar sólidos no pueden utilizarse en aplicaciones de aguas residuales, y su uso se limita a proyectos de agua potable o aguas crudas (pozos). (URBACA, 2012).

b. Válvula de bola

En la válvula de bola (figura 21.), un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido. El sellado en válvulas de bola es excelente, la bola contacta de forma circunferencial y uniforme el asiento, el cual suele ser de materiales blandos. (VALVIAS, 2016)

Las aplicaciones más frecuentes de la válvula de bola son de obertura/cierre. No son recomendables usarlas en servicios de parcialmente abiertas por un largo tiempo bajo condiciones de alta caída de presión a través de la válvula, ya que los asientos blandos pueden tener tendencia a salir de su sitio y obstruir el movimiento de la bola. (VALVIAS, 2016).

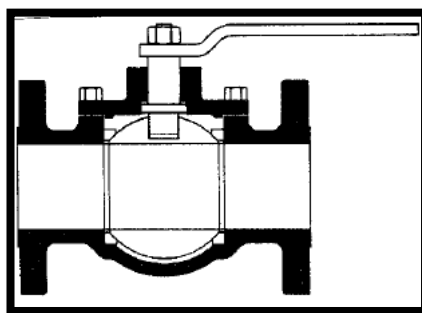


Figura 21 Válvula de bola

Fuente: (Golato, 2016)

c. Electroválvulas

Son equipos que realizan la función del control del caudal de un fluido que se comanda a distancia por medio de una eléctrica sobre un servo-actuador que la posiciona acorde a la orden de un controlador. (figura 22). (Golato, 2016).

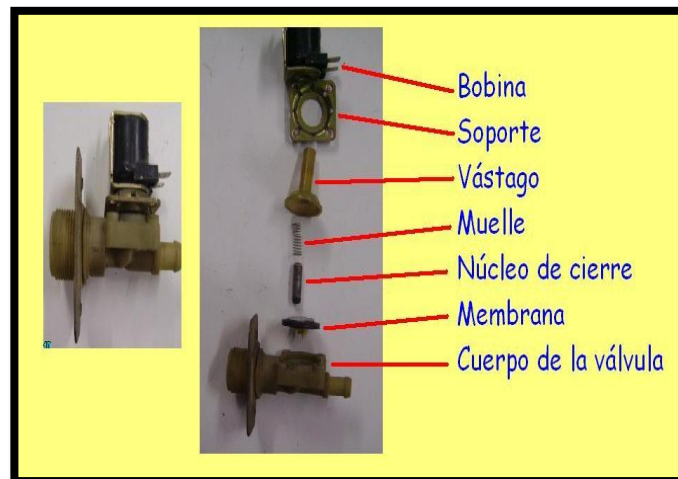


Figura 22. Partes de una electroválvula

Fuente: (Creus, 1997)

La elección correcta de una electroválvula depende de las características del fluido a controlar (presión, temperatura, viscosidad, etc.), así como el método de control a utilizar (discreto o continuo). x

2.6. Técnicas de análisis de dinámica de fluido computacional (CFD)

El CFD, consiste básicamente en el empleo de computadoras y de técnicas numéricas para resolver todos aquellos problemas físicos que están relacionados con el movimiento de los fluidos, y en ocasiones, de otros fenómenos asociados como la transferencia de calor, las reacciones químicas, el arrastre de sólidos, etc. (Fernández, 2012).

2.6.1. Campos de aplicación

“El repaso a la evolución de las técnicas computacionales en la Mecánica de Fluidos demuestra como la industria aeroespacial fue pionera en el empleo de estas herramientas. Sin embargo, hoy en día su utilización se ha ido extendiendo a todo tipo de procesos industriales, gracias a la universalización de códigos comerciales y a la progresiva mejora de los algoritmos que implementan.” (Fernández, 2012)

Para nuestro caso especial, se encuentra la industria pesada y metalúrgica, ya que se centra en el estudio de flujos de metales líquidos a altas temperaturas, estudio de sistemas de refrigeración entre otras aplicaciones.

2.6.2. Ventajas e inconvenientes

En la Tabla 4 se va a detallar las ventajas y los inconvenientes que tiene el uso de las técnicas CFD, ya que es muy importantes conocerlas antes de realizar un estudio o análisis CFD.

Tabla 4.

Ventajas e inconvenientes en la utilización de las técnicas CFD

VENTAJAS	INCOVENIENTES
Reducción sustancial de los tiempos y costes en los nuevos diseños.	Las técnicas CFD no son baratas. <ul style="list-style-type: none"> • Máquinas de gran capacidad de cálculo. • Programas con un precio no asequible al gran público.
Posibilidad de analizar sistemas o condiciones muy difíciles de reproducir experimentalmente. <ul style="list-style-type: none"> • Velocidades hipersónicas, temperaturas muy altas o bajas, movimientos relativos, etc. 	Se necesita personal calificado. <ul style="list-style-type: none"> • Ejecutar programas y definir modelos. • Analizar soluciones.
Capacidad de estudiar sistemas bajo condiciones peligrosas <ul style="list-style-type: none"> • Accidentes, situaciones límite de equipos, etc. 	No siempre es posible obtener resultados lo suficientemente precisos. <ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de simplificar el fenómeno. • Imposibilidad práctica de todo tipo de ejecuciones.
Nivel de detalle prácticamente ilimitado. <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad para estudios paramétricos. • Gran cantidad de información. • Sin coste por aumento de sensores. 	Limitación de los modelos existentes para la turbulencia, la combustión, flujos multifásicos.
Valor añadido del producto	Tendencia a creerse los resultados sin la suficiente contrastación.

Fuente: (Fernández, 2012)

2.6.3. Criterios de convergencia

Existe una gran variedad de métodos para el criterio de convergencia. Es necesario tener en cuenta que un criterio de convergencia puede verse afectado por el número de iteraciones configuradas por el usuario, lo cual puede afectar a los resultados finales.

ANSYS, en su módulo de ayuda al usuario, describe que se debe considerar el valor residual RMS (Root Mean Square o raíz media cuadrada), los valores máximos residuales (MAX residual), así como los balances de flujo generales. El grado o de convergencia requerida depende del propósito del fin u objetivo de la simulación. Estos valores de convergencia pueden ser observados durante el proceso de solución del módulo CFX-Solver Manager, mediante la configuración de pantallas disponibles para la visualización del proceso.

a. Nivel residual RMS

Los valores superiores a $1E^{-4}$, causan valores obtenidos poco fiables. Con valores en el nivel $1E^{-4}$, implican pérdida de convergencia, pero pueden ser suficientes para algunas aplicaciones ingenieriles. Valores en el nivel $1E^{-5}$, implican una buena convergencia, usualmente suficiente para la mayoría de procesos de ingeniería. Para valores en el rango $1E^{-6}$ o inferiores, garantizan una fina convergencia y ocasionalmente se aplica para solución de aplicaciones que involucran geometrías complejas.

b. Nivel residual MAX

Normalmente son 10 veces el tamaño de los valores residuales RMS. Se aplica el criterio de convergencia similar a los valores residuales RMS, incrementados por un factor 10. En algunas situaciones, cuando los valores residuales máximos son mucho

más grandes que los valores RMS, se recomienda utilizar el criterio de convergencia utilizando los niveles residuales máximos.

2.6.4. Códigos CFD: estrategias a seguir

Para la correcta simulación y obtener los resultados esperados es necesario seguir ciertas estrategias o planteamientos para que nos proporcione la información en tiempo y forma deseada, estas estrategias son una serie de interrogantes que se debe hacer para la simulación y que es lo que se espera de ella.

A continuación, se va a detallar cuales son los pasos correctos para realizar una correcta simulación y un buen análisis de resultados esperado q lo obtenido sea de gran ayuda para las aplicaciones deseadas.

a. Identificación del proceso.

Básicamente aquí se busca los objetivos de la simulación, la identificación del dominio a modelar y el diseño y creación de la malla. En este punto se debe responder ciertas interrogantes como:

- ¿Qué fenómenos físicos se necesitan incluir en el análisis?, ¿Qué hipótesis simplificativas hay q hacer?, ¿De cuánto tiempo se dispone para la simulación?, ¿Cómo se va aislar la zona de interés del dominio físico?, ¿Se puede aproximar el modelo a un caso 2D, o a un caso axisimétrico?, ¿Qué tipo de malla se va emplear?, ¿Qué grado de resolución requiere la malla en las distintas zonas?, ¿Se dispone de suficiente memoria computacional?, etc.

b. Ejecución del Solver.

Este segundo punto comprende la implantación del modelo numérico y su ejecución y la monitorización del proceso iterativo, para lo cual hay que responder las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son los modelos físicos apropiados?, ¿Qué propiedades relevantes tendrá el fluido a modelar?, ¿Cuáles son las condiciones de operación?, ¿Cuáles son las condiciones iniciales y de contorno?, ¿Cuáles son los parámetros apropiados para los modelos?, ¿Son compatibles las condiciones de contorno elegidas?

c. Postproceso.

Finalmente, el análisis de resultados comprende dos importantes tareas: la propia validación de la solución y las revisiones y mejora del modelo que podrían derivarse del estudio de los resultados. En este caso, lo que el usuario debe plantearse es:

- Analizar los resultados y revisar la solución para obtener información relevante, las herramientas de postproceso cuantitativas, tales como gráficos, integrales, valores, promedios, se utilizan para conocer fuerzas y momentos, balances, coeficientes medios de transferencia de calor, integrales de superficie y volumétricas, los resultados obtenidos deben responder a las siguientes interrogantes: ¿Son coherentes con lo que predicen las teorías?, ¿Son semejantes a los publicados en la literatura científica?, etc.

2.7. Cálculo y selección de bombas

El cálculo para la selección de una bomba es un punto muy importante y de interés para la realización de este proyecto, ya que bajo este estudio se determina el tipo de bomba que vamos a utilizar en el sistema de enfriamiento, para eso hay que partir de aspectos generales como la selección de la tubería adecuada, tener en cuenta los accesorios que vamos a instalar en el circuito hidráulico, caudales de diseño, presiones y temperaturas de trabajo, entre otros aspectos importantes, es por ello que en este

apartado se detalla cómo es el proceso para la selección de la bomba, y que se va a utilizar en el Capítulo III para los cálculos correspondientes.

2.7.1. Selección de los diámetros de la tubería

Para la selección de la tubería es necesario tener en cuenta el tipo de fluido que va a recorrer por la tubería, el caudal de diseño y de trabajo, además de las presiones en las que va a trabajar el fluido, así como la temperatura del fluido.

Con estos datos se determina el material de la tubería, así como los diámetros de la tubería, el tipo de cedula; todos estos datos se encuentran en el apéndice F del libro de Mecánicas de fluidos de Robert Mott 6Ed, en este caso una tubería de plástico cédula 80. En la figura 23 se puede observar los datos de la tubería de plástico cedula 80.

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.095	2.41	0.215	0.017 92	5.5	0.000 253	2.350 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.119	3.02	0.302	0.025 17	7.7	0.000 497	4.617 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.126	3.20	0.423	0.035 25	10.7	0.000 976	9.067 × 10 ⁻⁵
1/2	0.840	21.3	0.147	3.73	0.546	0.045 50	13.9	0.001 625	1.510 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.154	3.91	0.742	0.061 83	18.8	0.003 00	2.787 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.179	4.55	0.957	0.079 75	24.3	0.004 99	4.636 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.191	4.85	1.278	0.106 5	32.5	0.008 91	8.278 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.200	5.08	1.500	0.125 0	38.1	0.012 27	1.140 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.218	5.54	1.939	0.161 6	49.3	0.020 51	1.905 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.276	7.01	2.323	0.193 6	59.0	0.029 44	2.735 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.300	7.62	2.900	0.241 7	73.7	0.045 90	4.264 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.318	8.08	3.364	0.280 3	85.4	0.061 74	5.736 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.337	8.56	3.826	0.318 8	97.2	0.079 86	7.419 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.375	9.53	4.813	0.401 1	122.3	0.126 3	1.173 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.432	10.97	5.761	0.480 1	146.3	0.181 0	1.682 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.500	12.70	7.625	0.635 4	193.7	0.317 4	2.949 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.593	15.06	9.564	0.797 0	242.9	0.498 6	4.632 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.687	17.45	11.376	0.948 0	289.0	0.705 6	6.555 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.750	19.05	12.500	1.042	317.5	0.852 1	7.916 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.842	21.39	14.314	1.193	363.6	1.117	0.1038
18	18.000	457.2	0.937	23.80	16.126	1.344	409.6	1.418	0.1317
20	20.000	508.0	1.031	26.19	17.938	1.495	455.6	1.755	0.1630
24	24.000	609.6	1.218	30.94	21.564	1.797	547.7	2.535	0.2344

Figura 23. Datos de la tubería de plástico cedula 80

Fuente: (Mott, 2006)

Con estos datos, se procede a calcular el área de la tubería y la velocidad del fluido, con las siguientes ecuaciones:

$$Area = \frac{\pi * Di^2}{4} \quad [Ec. 5]$$

$$Velocidad = \frac{Qd}{Area} \quad [Ec. 6]$$

Dónde:

Di: Diámetro interior de la tubería

Qd: Caudal de diseño

2.7.2. Cálculo del número de Reynolds y la pérdida por fricción

El número de Reynolds sirve para determinar si el fluido es turbulento o laminar al paso de la tubería, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$NR = \frac{V * \phi_i * \rho}{\eta} \quad [Ec. 7]$$

Dónde:

V: Velocidad del fluido

ϕ_i : Diámetro interior de la tubería

ρ : Densidad del fluido

η : Viscosidad dinámica del fluido.

Si el número de Reynolds es menor que 2000 el flujo es laminar, si es mayor a 4000 el flujo es turbulento. Calculado el número Reynolds y determinado si el flujo es laminar o turbulento se determina las pérdidas de energía por fricción con la ecuación de Darcy:

$$hL = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad [Ec. 8]$$

Dónde:

f: factor de fricción

L: longitud de la corriente del flujo

D: Diámetro de la tubería

v: Velocidad promedio del flujo

Todos los cálculos de pérdidas se detallarán en el capítulo III, en los cálculos de la selección de la bomba.

2.7.3. Cálculo de la potencia de la bomba

Para el cálculo de la potencia de la bomba es necesario haber calculado el total de pérdidas que se encuentra en el circuito hidráulico, tener el caudal de diseño y el rendimiento de la bomba, con esto se puede ya determinar la potencia de la bomba:

$$Potencia\ de\ la\ bomba = \frac{hA * \varphi * Qd}{n} \quad [Ec. 9]$$

Donde:

hA: carga total sobre la bomba

φ : peso específico del fluido

Qd: caudal de diseño

n: rendimiento de la bomba

Con estos datos, se puede seleccionar la bomba que satisfaga las necesidades y requerimientos del diseño realizado, en base a las características técnicas descritas por cada uno de los fabricantes de bombas.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Antecedentes Investigativos

“Para la automatización de procesos, se desarrollaron máquinas operadas con Controles Programables (PLC), actualmente de gran ampliación en industrias como la textil y la alimentación. Para la información de las etapas de diseño y control de la producción se desarrollaron programas de computación para el dibujo (CAD), para el diseño (CAD/CAE), para la manufactura CAM, para el manejo de proyectos, para la planeación de requerimientos, para la programación de la producción, para el control de calidad, etc. Por otra parte, la automatización electromecánica tradicional ya ha reducido significativamente la participación de este costo en los costos de producción. Actualmente en Ecuador la participación típica del trabajo directo en el costo de la producción industrial es de 10 % o 15 % y en algunos productos de 5 %.” (García, 2010).

La automatización en los procesos industriales se basa en la capacidad para controlar la información necesaria en el proceso productivo, mediante mecanismos de medición y evaluación de las normas de producción. A través de diversos instrumentos controlados por la información suministrada por la computadora, se regula el funcionamiento de las máquinas u otros elementos que operan el proceso productivo. (García, 2010).

El uso del agua fría para mantener condiciones controladas de temperatura y humedad fue con clientes industriales que vieron las ventajas económicas que ésta nueva tecnología prometía. En ese entonces sólo se podía contar con equipos que enfriaban y deshumedecían el aire por contacto directo con el agua fría lo que requería

que la temperatura del agua fría se mantuviera por debajo de la temperatura del punto de rocío que se pretendía lograr en el aire de suministro durante todo el proceso pues el intercambio térmico aire-agua era en paralelo. Esto limitaba el diferencial de temperatura en el agua a valores relativamente bajos de donde comienza a popularizarse el uso del diferencial de 5 °C que muchos aún hoy continúan usándolo.

La introducción de los serpentines de enfriamiento aletados mejora esta situación pues permite el intercambio de calor aire-agua en contra flujo que es más eficiente y por ello es capaz de producir diferenciales más altos en el agua fría lo que reduce costos y eleva la eficiencia de la instalación. (Almendariz & Lara, 2014).

Es muy importante conocer las aplicaciones y ventajas que tiene un sistema automatizado de enfriamiento de agua, ya que abarca la competencia de gestionar la operación y control de los sistemas electromecánicos con iniciativa y liderazgo basado en indicadores de proceso. Llegando a la conclusión que el proyecto es de investigación aplicada.

3.2. Fundamentación legal

El artículo 173 de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), establece que el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) es el organismo técnico público encargado de ejecutar los procesos de evaluación externa, acreditación y aseguramiento de la calidad de la educación superior, así como de normar el proceso de autoevaluación. En el mismo artículo también se establece que:

Las universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y conservatorios superiores del país, tanto públicos como particulares, sus carreras y programas, deberán someterse en forma obligatoria

a la evaluación interna y externa, a la acreditación, a la clasificación académica y al aseguramiento de la calidad de la educación. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010).

3.3. Variables de investigación

Variable Independiente: Automatización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico y modelación de una matriz en CFD.

Variable Dependiente: Mejorar los índices de productividad, específicamente el consumo energético de los chillers, en la empresa INPLASTICO.

3.4. Operacionalización de variables

Tabla 5.

Operacionalización de variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Automatización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico y modelación de una matriz en CFD.	El sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico es en sistema centralizado de los chiller o	Diseño del circuito hidráulico y selección de la bomba.	Montaje de la tubería adecuada y accesorios. Instalación y montaje de la bomba seleccionada.
	enfriadores de agua, ubicados en un cuarto de máquinas y controlados a través de un PLC con indicadores en una pantalla HMI. La modelación de la matriz en CFD, indica la	Programación del PLC para la automatización del encendido y apagado de los chillers.	Software de programación. Fundamentos de programación.
	transferencia de calor entre el fluido y una	Diseño de la pantalla HMI	Software de programación.

CONTINÚA →

matriz específica de una sopladora específica para determinar el comportamiento de la matriz a modelar.	Diseño de la matriz a modelar.	Utilización de un software CAD
	Simulación del fluido a través de la matriz	Utilización de un software CAE
		Análisis de resultados

Tabla 6.

Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Mejorar los índices de productividad, en la empresa INPLASTICO.	Los índices de productividad son medidores que indican que la empresa ha mejorado en sus productos tanto en calidad y servicio todo esto optimizando los recursos como energía o materia prima.	Consumo energético de los chillers	Medición de voltaje, corriente y potencia de los chillers en un tiempo determinado
		Consumo energético de las sopladoras	Registro del tiempo de funcionamiento de las sopladoras
		Tiempos de producción de envases de plástico.	Conteo de envases de plástico en un tiempo determinado.

3.5. Modalidad de la investigación

3.5.1. Investigación bibliográfica

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se hace uso de varias fuentes bibliográficas que permiten identificar y acceder a la información acerca de cómo realizar una automatización industrial, las características y funciones del PLC S7-1200, así como la simulación de transferencia de calor con la herramienta CFD.

3.5.2. Investigación de campo

La investigación de campo se desarrolla en la empresa INPLASTICO ubicada en el sector sur de la ciudad de Latacunga, donde se encuentra el objeto de estudio. Se obtiene información directa sobre el estado actual del sistema de enfriamiento, los equipos que conforman dicho sistema y el método de control de los mismos.

3.5.3. Investigación experimental

En la investigación y desarrollo del presente proyecto se hace uso de ciertas actividades metódicas y técnicas, como son la de recolección de datos para obtener información específicamente la medición de la potencia, energía, voltajes y corrientes en los chillers, esto se midió con el equipo FLUKE 1735 Power Logger, que son necesarios para el diseño del sistema actual de enfriamiento. Se obtiene información por medio de la medición de variables físicas las cuales son la temperatura del agua 10°C, la presión 4 bares y caudal 10 m³/h en la tubería del fluido, esto se midió con una pistola de calor, un manómetro instalado en la tubería y el caudal se revisó en la placa de datos de las bombas de cada uno de los chillers. Se realiza el control sobre el valor de ciertas variables que son la temperatura, presión y caudal, para el análisis de sus efectos en el proceso de extrusión y el proceso de soplado de los envases de plástico.

3.5.4. Investigación aplicada

La finalidad de este proyecto es mejorar el consumo energético de los chillers de la empresa INPLASTICO, mediante la automatización del sistema de enfriamiento de las matrices de las sopladoras al implantar un control automatizado de los equipos de

enfriamiento, junto a una base de datos que permita el registro de las horas de trabajo de cada una de las sopladoras.

3.5.5. Investigación correlacional

Se analiza el comportamiento de la demanda de refrigeración de las máquinas sopladoras, en función a su capacidad de producción. Estos datos son los que permiten el dimensionamiento de la carga térmica total requerido por la planta de producción, referente a las matrices utilizadas para moldear los distintos tipos de envases. Los datos se detallan en la Tabla 12.

3.6. Técnica de recolección de datos

3.6.1. La observación en la planta industrial

La obtención de datos como el voltaje, corriente potencia y energía de los chillers son necesarios para la automatización del sistema de enfriamiento, la técnica de la observación y la técnica de la medición, se midió las presiones, temperaturas y caudales de trabajo. La presión de trabajo en la tubería del fluido es de 4 bar, la temperatura del fluido de enfriamiento es de 7°C y el caudal de trabajo es de 10 m³/h.

3.7. Técnica de análisis de datos

Para analizar los datos de voltaje, corriente, potencia y energía de manera experimental, se utiliza la técnica gráfica, la cual ayuda a determinar la relación que existe entre los resultados obtenidos con el sistema de enfriamiento actual y los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas ya con el sistema centralizado y automatizado de enfriamiento de las matrices de las sopladoras de plástico. El análisis detallado se muestra en el Capítulo V.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Análisis del sistema actual de enfriamiento

El sistema de enfriamiento de la planta de producción se divide en dos subsistemas, que son:

- Enfriamiento de las máquinas extrusoras de plástico
- Enfriamiento de las matrices de producción

Enfriamiento de las máquinas extrusoras de plástico

La empresa INPLASTICO, cuenta con un sistema centralizado de enfriamiento (anexo C-2), dedicado a la extracción de calor del sistema hidráulico de cada una de las máquinas sopladoras instaladas en el área de producción, el cual, por medio de una torre de enfriamiento con una capacidad de 10 toneladas de refrigeración, acoplada a una bomba centrífuga de 4HP, mantiene circulando agua continuamente al interior del sistema de tuberías a una temperatura entre 10°C y 15°C.

Enfriamiento de las matrices de producción

A diferencia del enfriamiento del sistema hidráulico de las máquinas extrusoras, el enfriamiento de las matrices de producción debe ser controlado, ya que esto influye de manera directa en la calidad final de los envases plásticos, para lo cual se utilizan intercambiadores de calor (chillers), los cuales garantizan que la temperatura del agua de enfriamiento se encuentre entre 5 °C y 10 °C.

El sistema actual de enfriamiento de las matrices se encuentra sectorizado, como se describe en el anexo C-1. En los anexos A-1, A-2, A-3 y A-4, se detallan las características de los chillers que son utilizados actualmente.

Análisis del consumo energético

El consumo energético de los chillers está asociado con la capacidad de producción de la planta. La puesta en marcha de las sopladoras genera una carga térmica, la cual debe ser extraída por los chillers (Tabla 12).

En coordinación con la dirección de producción de la empresa, se estableció las fechas para la toma de datos (potencia y energía). En estas fechas, las máquinas sopladoras asociadas a los chillers correspondientes (anexo C-1) trabajaron a su máxima capacidad de producción. El equipo utilizado fue el analizador de energía FLUKE 1735 Power Logger.

Cuando un chiller arranca, realiza un escaneo del sistema (presión y nivel de refrigerante, nivel de agua en el tanque de almacenamiento, configuración de rangos de temperaturas), y si no hay alarmas, procede al encendido de la bomba principal, encargada de hacer circular el agua por el sistema. Dependiendo de la temperatura del agua en el tanque del chiller, el compresor del circuito de refrigeración se encenderá y por medio del serpentín ubicado al interior del tanque del chiller, enfriar el agua del proceso.

a. Análisis consumo energético chiller HENN M.T.A. TAE 101

La toma de datos con el analizador *FLUKE 1735 Power Logger*, inició a las 16h36 del 01 de diciembre del 2016, y finalizó a las 14h00 del 02 de diciembre del 2016. Para analizar con mayor detalle los valores de potencia demandada por el chiller, se tomó un lapso de una hora aleatoria, ya que como se observa en la gráfica general (figura 24), la curva de potencia demandada es periódica, además se observa que existe dos niveles de potencia consumida, una que representa el consumo exclusivo de la bomba, y otro nivel de potencia mayor, en cual el consumo corresponde a la bomba y el compresor de refrigeración, trabajando simultáneamente.

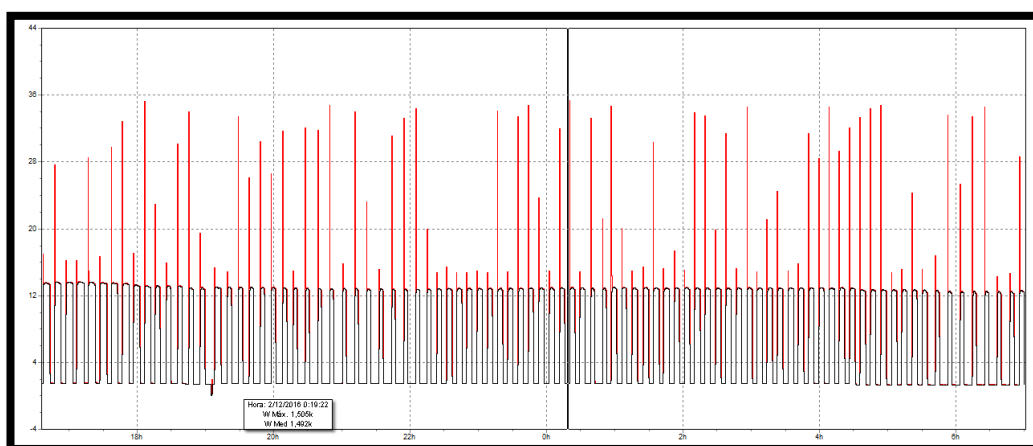


Figura 24. Potencia demandada por el chiller HENN

En la figura 25. Se considera un lapso de una hora (17:00 a 18:00), en el cual se distingue dos valores distintos de potencia en distintos periodos de tiempo.

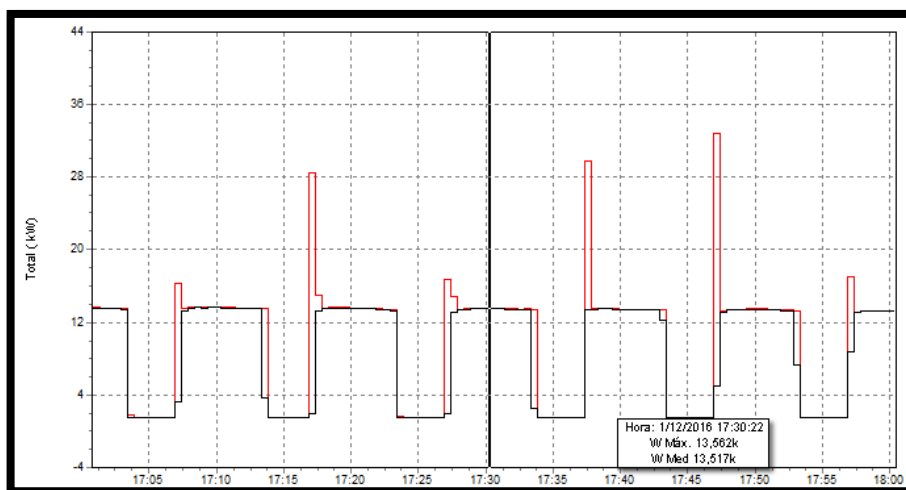


Figura 25. Potencia demandada por la bomba y compresor

El mayor valor (13,517 [kW]) corresponde a la demanda de potencia conjunta, entre la bomba principal y el circuito de refrigeración (compresor). Se puede observar que el período de tiempo promedio de duración de este valor demandado de potencia es de seis minutos. Los valores pico visualizados en gráfica, corresponden a los valores de corriente de arranque del compresor, cuyo valor es 32,84 [kW].

El menor valor de potencia demandada corresponde a la carga de la bomba del circuito hidráulico, cuyo valor es de 1,505 [kW], con un período de duración promedio de 4 minutos. (figura 26).

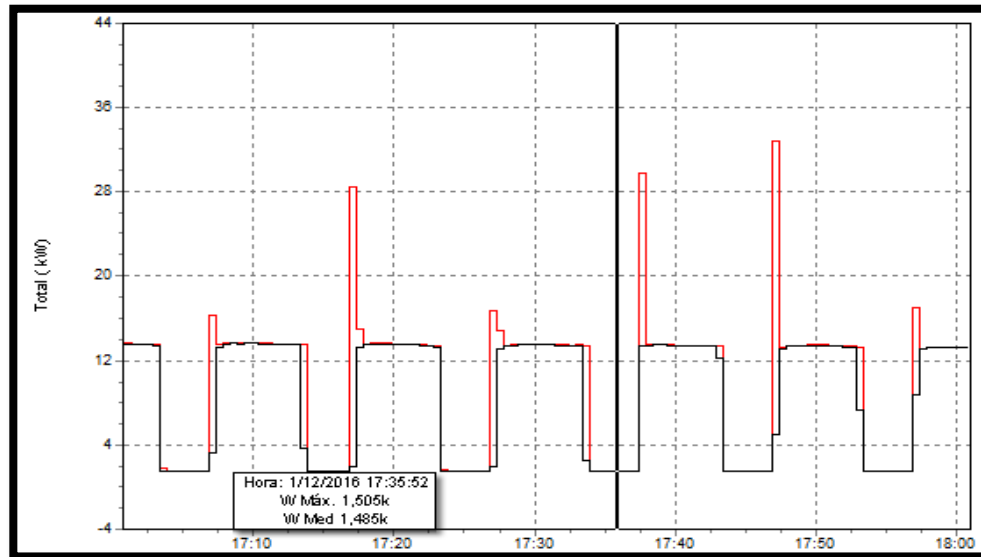


Figura 26. Potencia demandada por la bomba

Analizando la figura 26, el tiempo de duración de cada ciclo es de 10 minutos, teniendo seis ciclos en una hora, de los cuales en el 60% del tiempo (0,6 h) pasan activos el compresor y la bomba, en tanto que el 40% restante solo trabaja la bomba (0,4h). Con estos datos, se calcula el consumo energético estimado correspondiente al compresor del chiller HENN. (E_{CHENN})

$$E_{CHENN} = \text{Tiempo} * \text{Potencia} \quad [\text{Ec. 10}]$$

$$E_{CHENN} = 0,6 [h] * 13,517 [kW]$$

$$E_{CHENN} = 8,11 [kWh]$$

De igual manera se procede al cálculo de la potencia demandada por la bomba del chiller HENN. (E_{BHENN})

$$E_{BHENN} = \text{Tiempo} * \text{Potencia} \quad [\text{Ec. 11}]$$

$$E_{BHENN} = 0,4 [h] * 1,505 [kW]$$

$$E_{BHENN} = 0,602 [kWh]$$

La energía total consumida del chiller HENN ($E_{HENNcal}$), en una hora será entonces:

$$E_{HENNcal} = E_{CHENN} + E_{BHENN} \quad [Ec. 12]$$

$$E_{HENNcal} = 8,1 [kWh] + 0,6 [kWh]$$

$$E_{HENNcal} = 8,713 [kWh]$$

Para verificar los datos, se realiza la comparación con los valores obtenidos en el analizador de energía en el mismo intervalo de tiempo (figura 27).

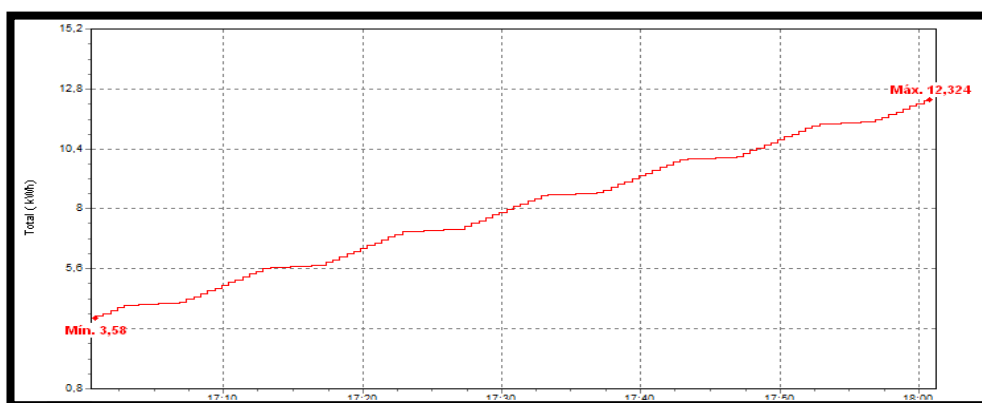


Figura 27. Consumo energético en una hora del chiller HENN

$$E_{HENNdat} = E_{18H00} - E_{17H00} [kWh]$$

$$E_{HENNdat} = 12,324 - 3,58 [kWh]$$

$$E_{HENNdat} = 8,74 [kWh]$$

Comparando el valor de la energía calculada ($E_{HENNcal}$) con el valor de energía obtenida mediante el Power Logger ($E_{HENNdat}$), del chiller de marca HENN, se confirma que los valores calculados son correctos. Este valor de energía se toma como base para el cálculo de energía consumida mensualmente por el chiller días

$$E_{HENNmes} = E_{HENNcal} * 24[h] * 30[días]$$

$$E_{HENNmes} = 8,713[kWh] * 24[h] * 30[días]$$

$$E_{HENNmes} = 6272,78 \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

Dónde:

$$E_{HENN_{mes}}: \text{Energía consumida al mes por el chiller HENN} \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

b. Análisis consumo energético chiller KOOLANT KOOLERS HCV-7500

La toma de datos se realizó con el analizador *FLUKE 1735 Power Logger*, inició a las 15h12 del 30 de noviembre del 2016, y finalizó a las 15h34 del 01 de diciembre del 2016.

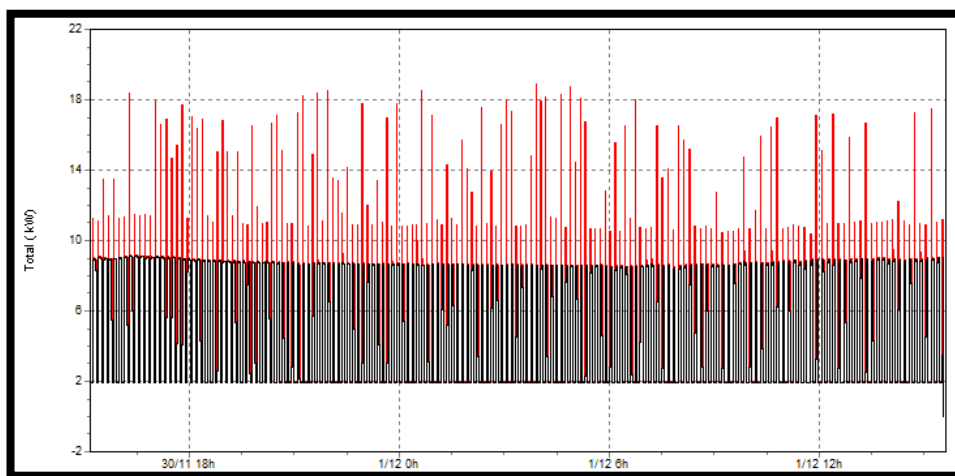


Figura 28. Potencia demandada por el chiller KOOLANT

Para analizar el con mayor detalle los valores de potencia demandada por el chiller, se tomó un lapso de una hora aleatoria, ya que como se observa en la gráfica general (figura 28), la curva de potencia demandada es periódica.

En la figura 29, se considera un lapso de una hora (17:00 a 18:00), en el cual se distingue dos valores distintos de potencia en diferentes periodos de tiempo. El valor de potencia referente a la bomba inicia a las 17:26:44 horas (figura 29) y finaliza a las 17:29:44 horas (figura 30), determinándose así un período de tiempo de tres minutos, con un valor de potencia media de 1,943 [kW]

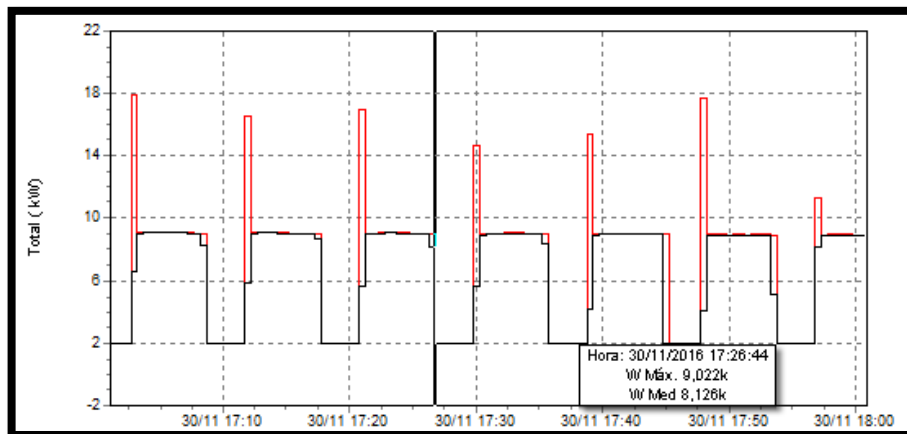


Figura 29. Inicia el tiempo de trabajo de la bomba

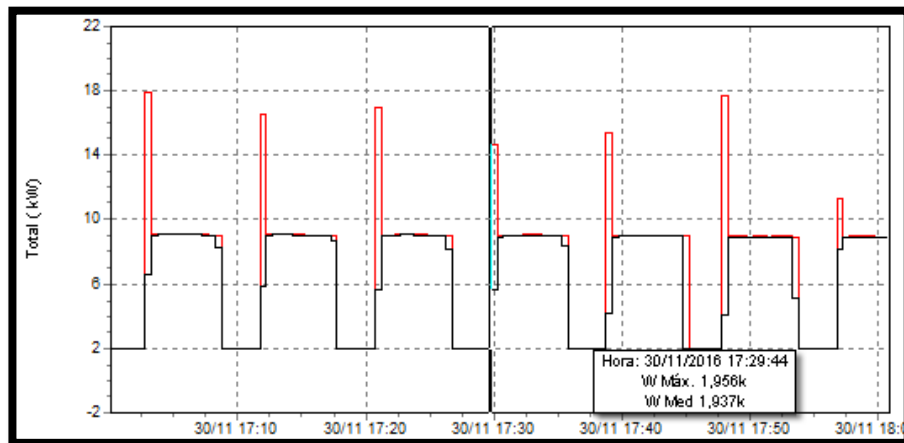


Figura 30. Finaliza el tiempo de trabajo de la bomba

El valor de potencia referente a la bomba y al compresor trabaja al mismo tiempo, inicia a las 17:29:44 horas (figura 30) y finaliza a las 17:35:44 horas (figura 31), determinándose así un período de tiempo de tres minutos, con un valor de potencia media de 9,015 [kW].

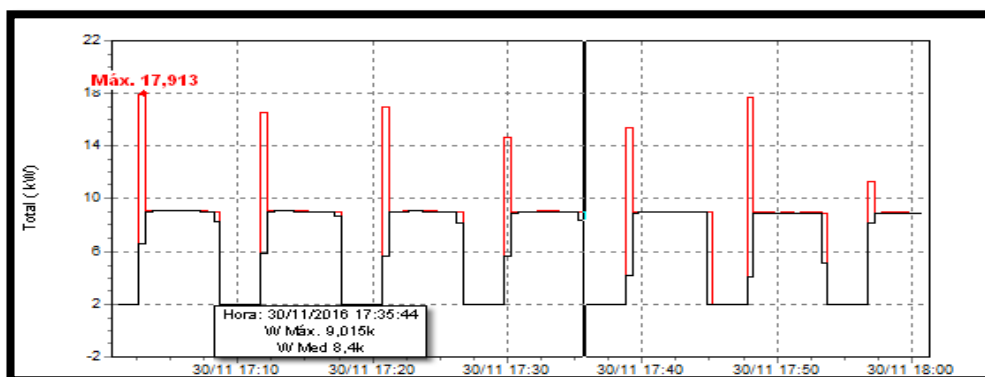


Figura 31. Finaliza el tiempo de trabajo de la bomba y compresor

Analizando la figura 31, el tiempo de duración de cada ciclo es de 9 minutos, de los cuales en el 66,66% del tiempo (0,6666 h) pasan activos el compresor y la bomba, en tanto que el 33,33% restante solo trabaja la bomba (0,3333 h). Con estos datos, se calcula el consumo energético estimado correspondiente al compresor y bomba del chiller KOOLANT KOOLERS.

$$E_{C_{KOL}} = \text{Tiempo} * \text{Potencia} \quad [\text{Ec. 13}]$$

$$E_{C_{KOL}} = 5,417 \text{ [kWh]}$$

Dónde:

$E_{C_{KOL}}$: Consumo energético del compresor del chiller KOOLANT KOOLERS
[kWh]

De igual manera se procede al cálculo de la potencia demandada por la bomba del chiller KOOLANT KOOLERS

$$E_{B_{KOL}} = \text{Tiempo} * \text{Potencia} \quad [\text{Ec. 14}]$$

$$E_{B_{KOL}} = 0,647 \text{ [kWh]}$$

Dónde:

$E_{B_{KOL}}$: Consumo energético de la bomba del chiller KOOLANT KOOLERS
[kWh]

La energía total consumida en una hora será entonces:

$$E_{KOLcal} = E_{C_{KOL}} + E_{B_{KOL}} \quad [\text{Ec. 15}]$$

$$E_{KOLcal} = 6,065 \text{ [kWh]}$$

Dónde:

E_{KOLcal} : Energía total consumida en una hora del chiller KOOLANT KOOLERS
[kWh]

Para verificar los datos, se realiza la comparación con los valores obtenidos en el analizador de energía en el mismo intervalo de tiempo (figura 32).

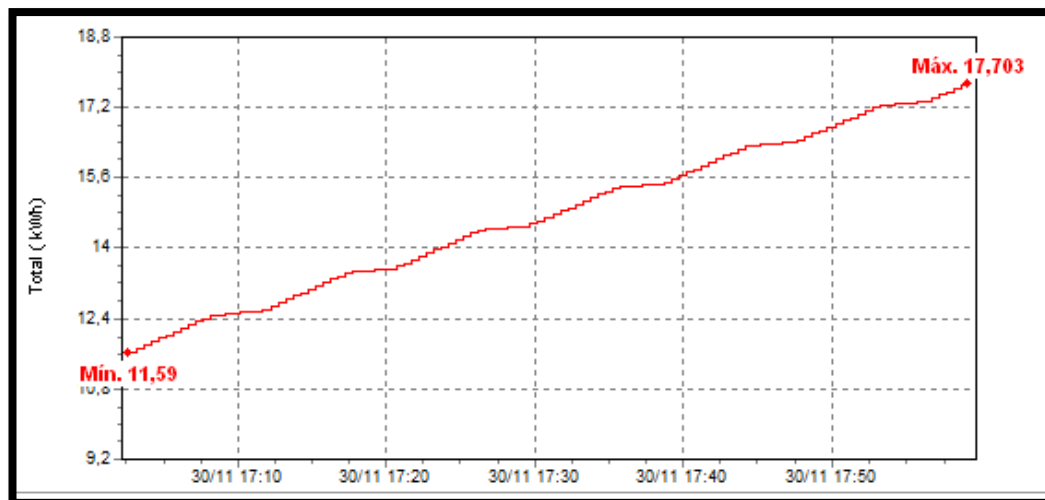


Figura 32. Consumo energético en una hora del chiller KOOLANT

$$E_{KOLdat} = E_{18H00} - E_{17H00} [kWh]$$

$$E_{KOLdat} = 17,703 - 11,59 [kWh]$$

$$E_{KOLdat} = 6,113 [kWh]$$

Dónde:

E_{KOLdat} : Energía total consumida en una hora del chiller KOOLANT KOOLERS [kWh] obtenida mediante el Power Logger.

Comparando el valor de la energía calculada (E_{KOLcal}) con el valor de energía obtenida mediante el Power Logger (E_{KOLdat}), se confirma que los valores calculados son correctos. Este valor de energía se toma como base para el cálculo de energía consumida mensualmente por el chiller KOOLANT KOOLERS.

$$E_{KOLmes} = E_{KOLcal} * 24[h] * 30[días]$$

$$E_{KOLmes} = 6,065 * 24[h] * 30[días]$$

$$E_{KOLmes} = 4366,08 \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

Dónde:

$E_{KOL_{mes}}$: Energía consumida al mes por el chiller KOOLANT KOOLERS $\left[\frac{kWh}{mes}\right]$

c. Análisis consumo energético chiller número 03

Las máquinas sopladoras #4 y #6 (de la antigua nomenclatura), para el enfriamiento de sus respectivas matrices de soplado, están asociadas a un chiller del cual se desconoce su serie, modelo, capacidad de enfriamiento y demás características técnicas. La información disponible (corriente, voltaje, potencia eléctrica) ha sido obtenida por medio de equipos de medición (pinza amperimétrica, voltímetro).

Con estos datos, se configuró el analizador de energía, para de esta manera obtener los datos necesarios y determinar el consumo energético del chiller genérico. La toma de datos se la realizó desde las 16h23 del día 02 de diciembre del 2016 hasta las 13h35 del día 03 de diciembre del 2016. Al igual que en los casos anteriores, se puede observar un comportamiento periódico de la potencia del chiller (figura 33).

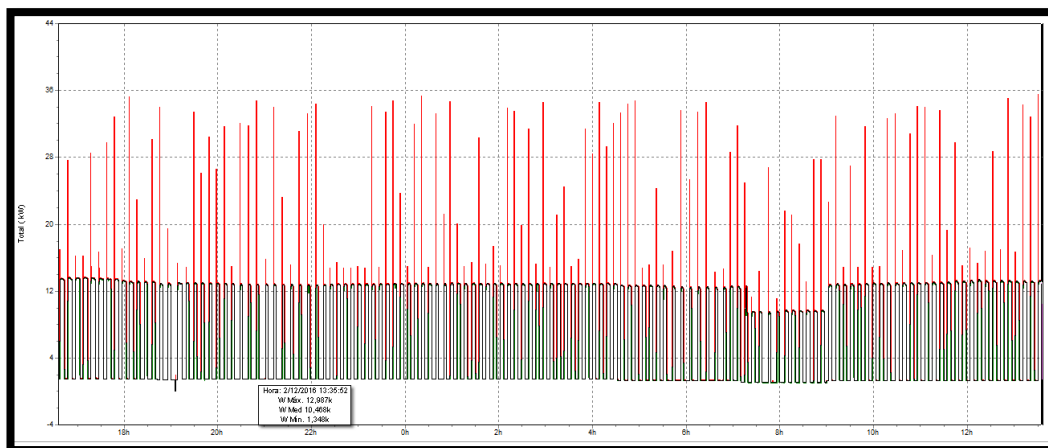


Figura 33. Potencia demandada por el chiller 03

Para el análisis de la demanda de energía, se analiza los valores de potencia y energía en el lapso de una hora aleatoria, en este caso, desde las 08h00 hasta las 09h00.

Como en los casos anteriores, existe dos valores de potencia, de los cuales el menor observado en la gráfica es de 1,073 [kW], correspondiente a la carga únicamente de la

bomba, cuyo período inicia a las 08:29:22 (figura 33) y finaliza a las 08:33:22 (figura 34), es decir, con un intervalo de 4 minutos.

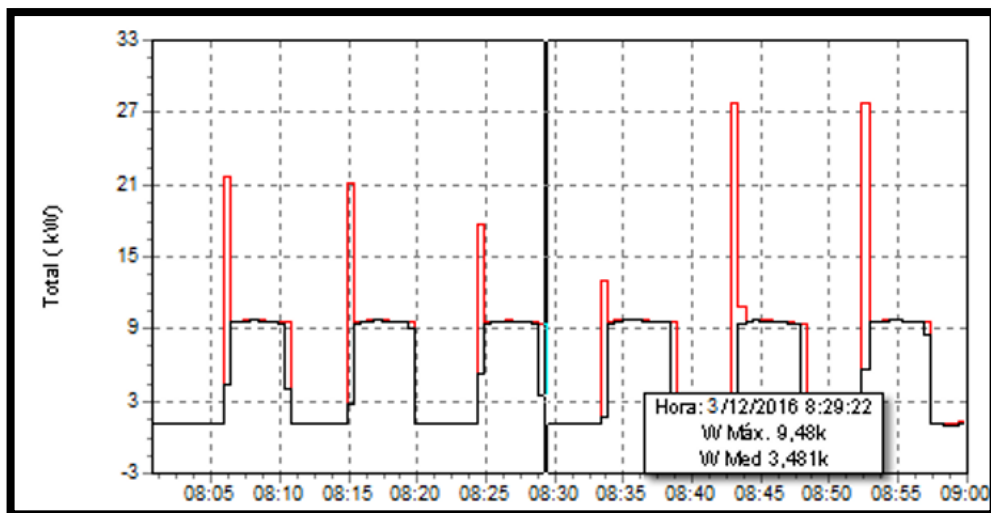


Figura 34. Finaliza el tiempo de trabajo del compresor

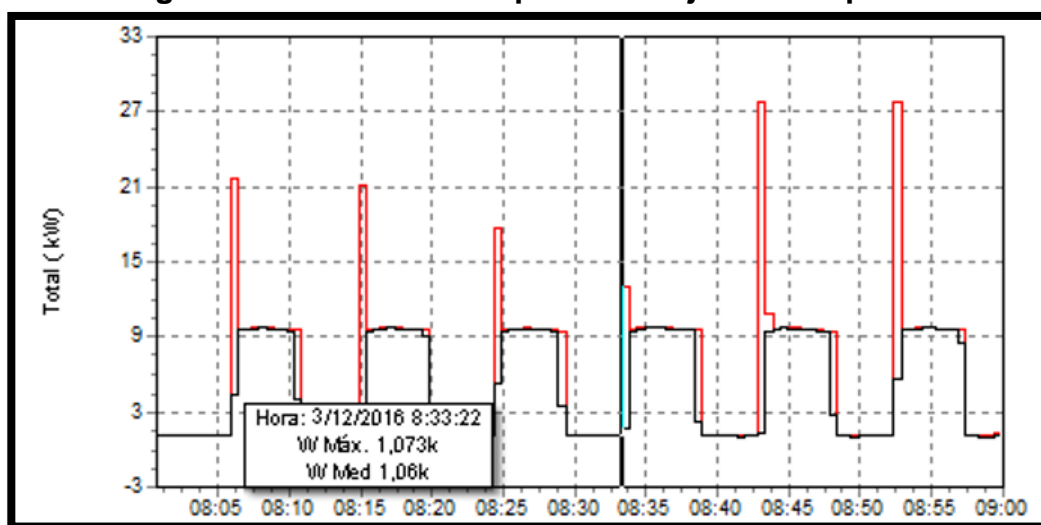


Figura 35. Inicia el tiempo de trabajo del compresor

El mayor valor observado en la figura 35, es de 9,513[kW], y corresponde al trabajo de la bomba y el compresor en simultaneo, cuyo lapso de tiempo inicia a las 08:33:22 (figura 35), y finaliza a las 08:38:52 (figura 36), es decir con un período de 5m30s.

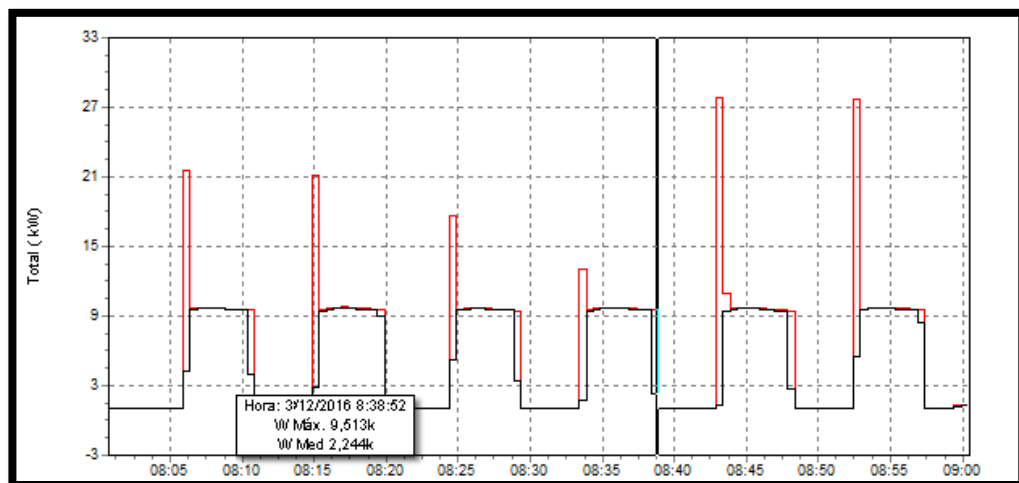


Figura 36. Finaliza el tiempo de trabajo del compresor

Como conclusión, el tiempo del ciclo es de 9m30s, en donde en el 42,105% del tiempo (0,421H), actúa solo la bomba del chiller y en el 57,895% del tiempo (0,579H), están en funcionamiento el compresor y el chiller. Con estos datos se procede a realizar análisis del consumo energético del chiller, iniciando con el consumo del compresor y la bomba cuando trabajan al mismo tiempo.

$$E_{C_{03}} = \text{Tiempo} * \text{Potencia} \quad [\text{Ec. 16}]$$

$$E_{C_{03}} = 0,579[h] * 9,513 [kW]$$

$$E_{C_{03}} = 5,508 [kWh]$$

Dónde:

$E_{C_{03}}$: Consumo energético del compresor del chiller #03 [kWh]

A continuación, se procede al cálculo energético correspondiente a la bomba del chiller.

$$E_{B_{03}} = \text{Tiempo} * \text{Potencia} \quad [\text{Ec. 17}]$$

$$E_{B_{03}} = 0,421 [h] * 1,073 [kW]$$

$$E_{B_{03}} = 0,451 [kWh]$$

Dónde:

$E_{B_{03}}$: Consumo energético de la bomba del chiller #03 [kWh]

Por lo tanto, el consumo energético calculado del chiller 03 es:

$$E_{cal_{03}} = E_{B_{03}} + E_{C_{03}} \text{ [kWh]} \quad [\text{Ec. 18}]$$

$$E_{cal_{03}} = 5,959 \text{ [kWh]}$$

Dónde:

$E_{cal_{03}}$: Energía total consumida en una hora del #03 [kWh]

Para verificar los datos, se realiza la comparación con los valores obtenidos en el analizador de energía en el mismo intervalo de tiempo (figura 37).

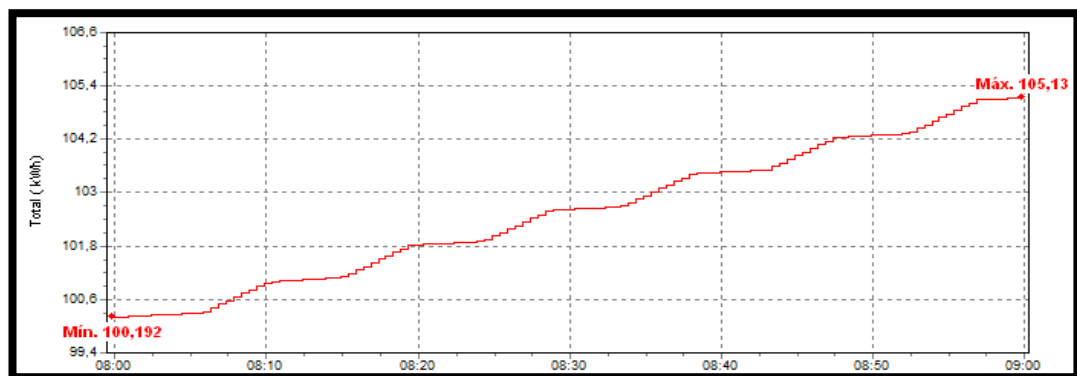


Figura 37. Energía consumida en una hora por el chiller número 03

$$E_{dat_{03}} = E_{09H00} - E_{08H00}$$

$$E_{dat_{03}} = 105,13 - 100,192 \text{ [kWh]}$$

$$E_{dat_{03}} = 4,938 \text{ [kWh]}$$

Dónde:

$E_{dat_{03}}$: Energía total consumida en una hora del chiller #03 [kWh] obtenida mediante el Power Logger.

Se observa que existe una diferencia aproximada de 1 [kWh], lo cual se debe a que el número de períodos en los cuales trabaja únicamente la bomba (7), es mayor al

número de períodos en los cuales trabajan en conjunto la bomba y el compresor del chiller (6), tal como se observa en la figura 37. Teniendo en cuenta la similitud de valores de consumo de energía calculado y medido en los chillers HENN y KOOLANT KOOLERS, se elige el valor de energía calculado para la medición mensual de energía del chiller número 03.

$$E_{03_{mes}} = E_{03_{cal}} * 24[h] * 30[días]$$

$$E_{03_{mes}} = 5,959 [kWh] * 24[h] * 30[días]$$

$$E_{03_{mes}} = 4290,48 \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

Dónde:

$$E_{03_{mes}}: \text{Energía consumida al mes por el chiller \#03} \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

d. Análisis de costos referentes al sistema de enfriamiento

El consumo de energía mensual correspondiente a la carga del sistema actual de enfriamiento de las matrices de producción, y los costos asociados a este proceso, dependen de los equipos destinados para cumplir este cometido. A continuación, se realiza la proyección de consumo energético mensual.

$$E_{SE_{mes}} = E_{HENN_{mes}} + E_{KOL_{mes}} + E_{03_{mes}} \quad [\text{Ec. 19}]$$

$$E_{SE_{mes}} = 6272,78 \left[\frac{kWh}{mes} \right] + 4366,08 \left[\frac{kWh}{mes} \right] + 4290,48 \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

$$E_{SE_{mes}} = 14929,34 \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

Dónde:

$$E_{SE_{mes}}: \text{Energía total consumida del sistema de enfriamiento en el mes} \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

El costo del kWh establecido para la provincia de Cotopaxi tiene diferentes valores, en función del horario en el que se realice el consumo. En la tabla 7, se indican los costos del kWh y el horario correspondiente.

Tabla 7.

Costo del kWh en Cotopaxi

Horario	Costo [USD]	Porcentaje de horas al día
08:00 – 18:00	0,093	41,666 %
18:00 – 22:00	0,107	16,666 %
22:00 – 08:00	0,075	41,666 %

Fuente: ELEPCO S.A.

Los chilleres, operan las 24 horas de manera ininterrumpida, lo que permite determinar los costos de operación en función al porcentaje diario de operación, correspondiente a cada horario. Tabla 7.

Costo mensual del sistema de enfriamiento en el período 08:00 – 18:00

$$COSTO_{SE_{08:00-18:00}} = E_{SE_{mes}} \left[\frac{kWh}{mes} \right] * costo \left[\frac{USD}{kWh} \right] * \% HORAS/DIA$$

$$COSTO_{SE_{08:00-18:00}} = 14929,34 \left[\frac{kWh}{mes} \right] * 0,093 \left[\frac{USD}{kWh} \right] * 0,41666$$

$$COSTO_{SE_{08:00-18:00}} = 578,27 \left[\frac{USD}{mes} \right]$$

Costo mensual del sistema de enfriamiento en el período 18:00 – 22:00

$$COSTO_{SE_{18:00-22:00}} = E_{SE_{mes}} \left[\frac{kWh}{mes} \right] * costo \left[\frac{USD}{kWh} \right] * \% HORAS/DIA$$

$$COSTO_{SE_{18:00-22:00}} = 14929,34 \left[\frac{kWh}{mes} \right] * 0,107 \left[\frac{USD}{kWh} \right] * 0,16666$$

$$COSTO_{SE_{18:00-22:00}} = 266,22 \left[\frac{USD}{mes} \right]$$

Costo mensual del sistema de enfriamiento en el período 22:00 – 08:00

$$COSTO_{SE_{22:00-08:00}} = E_{SE_{mes}} \left[\frac{kWh}{mes} \right] * costo \left[\frac{USD}{kWh} \right] * \% HORAS/DIA$$

$$COSTO_{SE_{22:00-08:00}} = 14929,34 \left[\frac{kWh}{mes} \right] * 0,075 \left[\frac{USD}{kWh} \right] * 0,41666$$

$$COSTO_{SE_{22:00-08:00}} = 466.53 \left[\frac{USD}{mes} \right]$$

Costo mensual correspondiente al consumo energético del sistema de enfriamiento

$$COSTO_{SE_{mes}} = COSTO_{SE_{08:00-18:00}} + COSTO_{SE_{18:00-22:00}} + COSTO_{SE_{22:00-08:00}}$$

$$COSTO_{SE_{mes}} = 578,27 \left[\frac{USD}{mes} \right] + 266.22 \left[\frac{USD}{mes} \right] + 466.53 \left[\frac{USD}{mes} \right]$$

$$COSTO_{SE_{mes}} = 1311.02 \left[\frac{USD}{mes} \right]$$

4.2. Análisis de la carga térmica

La demanda de extracción de calor de los moldes de cada máquina depende del tipo de envase que se produce. Cada uno de estos moldes, tienen distintas configuraciones para su manufactura, tales como:

- Tiempo de producción
- Peso neto
- Peso bruto
- Tiempo de soplado
- Presión de aire
- Temperatura de trabajo.
- Ciclo de proceso
- Envases por ciclo

Para el dimensionamiento de la carga térmica en función de la cantidad de materia prima empleada para la producción de los distintos envases en cada una de las máquinas (en toneladas de refrigeración), se consideraron las temperaturas de trabajo, la cantidad de materia prima requerida, el tiempo de producción de un envase (ciclo de trabajo) y el tiempo de contacto entre el molde y el parison. Estos datos, permiten

calcular el calor que fue extraído de los moldes en el proceso de producción, y relacionarlo con la cantidad de materia prima utilizada. De esta manera se puede dimensionar la carga térmica de cada una de las máquinas sopladoras, en función de la cantidad máxima de materia prima, que la máquina es capaz de procesar.

A continuación, se indican los datos obtenidos del proceso de producción, tomados de las máquinas #01 y #02, en el turno nocturno desde las 18h00 del día jueves 01 de diciembre del 2016, hasta las 07h00 del día viernes 02 del mismo mes.

Tabla 8.

Datos obtenidos en el proceso de producción

DATO	MÁQUINA #01	MÁQUINA #02
Chiller asociado	HENN	HENN
Número de cabezas	2	1
Tipo de molde	Cuadrado 1000	Galón cuadrado 3780cc
Peso bruto	70 [gr]	144 [gr]
Temperatura del párison	170 [°C]	175 [°C]
Temperatura del envase soplado	67 [°C]	75 [°C]
Tiempo de producción	12 [s]	14 [s]
Tiempo de contacto molde – envase	9 [s]	11 [s]

Con los datos de la Tabla 8, se procede a calcular la tasa de transferencia de calor, en de las matrices de soplado, como se indica a continuación.

Máquina #01

De la [Ec. 1] obtenemos:

$$\dot{Q}_1 = \frac{70,5 \text{ [gr]}}{9 \text{ [s]}} * 2,3 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right] * (170 - 67) [\text{K}]$$

$$\dot{Q}_1 = 6680,58 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$$

$$\dot{Q}_1 = 6331,97 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right]$$

Se debe considerar dos aspectos importantes, que son:

- El ciclo de trabajo es de 12 segundos y el tiempo de contacto entre el molde y el envase extruido es de 9 segundos
- La máquina #01 cuenta con dos cabezales, lo que duplica el valor de la transferencia de calor

$$\dot{Q}_1 = 6331,97 \left[\frac{BTU}{h} \right] * \frac{9}{12} * 2$$

$$\dot{Q}_1 = 9497,95 \left[\frac{BTU}{h} \right]$$

Dónde:

\dot{Q}_1 : Transferencia de calor en las matrices de la máquina #01 $\left[\frac{BTU}{h} \right]$

Máquina #02

De la [Ec. 1] obtenemos:

$$\dot{Q}_2 = \frac{144 [gr]}{11 [s]} * 2,3 \left[\frac{kJ}{kg K} \right] * (175 - 75)[K]$$

$$\dot{Q}_2 = 10839,27 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

$$\dot{Q}_2 = 10273,64 \left[\frac{BTU}{h} \right]$$

Al igual que en la máquina #01, se debe considerar que el ciclo de trabajo es de 14 segundos y el tiempo de contacto entre el molde y el envase extruido es de 11 segundos.

$$\dot{Q}_2 = 10273,64 \left[\frac{BTU}{h} \right] * \frac{11}{14}$$

$$\dot{Q}_2 = 8072,15 \left[\frac{BTU}{h} \right]$$

Dónde:

\dot{Q}_2 : Transferencia de calor en las matrices de la máquina #02 $\left[\frac{BTU}{h}\right]$

Para determinar la cantidad de calor que fue extraído por el chiller HENN, de los moldes de las máquinas #01 y #02, se relacionó la tasa de transferencia de calor, y el tiempo que duro este proceso, como se muestra en la ecuación; considerando que durante el proceso no existieron interrupciones tales como cambio de moldes, parada de emergencia, ni detención de las máquinas.

$$Q_T = (\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2) * \Delta t \quad [\text{Ec. 20}]$$

$$Q_T = \left(9497,95 \left[\frac{BTU}{h} \right] + 8072,15 \left[\frac{BTU}{h} \right] \right) * 13 [h]$$

$$Q_T = 228411,33[BTU]$$

Dónde:

Q_T : Cantidad de calor total extraído del chiller HENN $[BTU]$

Para relacionar la cantidad de calor extraído con la cantidad de materia, se tomó el informe emitido por los operarios, en el cual se detalla los kilogramos de HDPE utilizados en el turno nocturno, como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9.

Informe de producción

DETALLE	MÁQUINA #01	MÁQUINA #02
Código del envase	1000 LT	3875 QB
Color del envase	Transparente	Transparente
Marca del material	Braskem	Braskem
Cantidad total de material utilizado	234 Kg	171,5 Kg

Relacionando la cantidad de material procesado, y el calor extraído por los moldes, se obtiene un valor aproximado de la cantidad de calor que se extrae en función de la

materia prima. Debido al margen de error en los datos obtenidos, se considera un factor de corrección del 10%, obteniendo los valores mostrados a continuación.

$$\text{Factor de corrección} = \frac{228411,33 \text{ [BTU]} * 1,1}{234[\text{Kg}] + 171,5 [\text{Kg}]}$$

$$\text{Factor de corrección} = \frac{251252,46 \text{ [BTU]}}{405,5 \text{ [Kg]}}$$

$$\text{Factor de corrección} = 619,61 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Kg}} \right]$$

4.3. Diseño del sistema centralizado de enfriamiento

Análisis de la carga térmica proyectada

La carga térmica para la cual se va a diseñar el sistema centralizado de refrigeración comprende además de la carga térmica instalada, la carga por efecto de pérdidas en tuberías, así como la carga proyectada por efecto de adición de máquinas sopladoras e inyectoras a la planta de producción.

a. Carga térmica por pérdidas en tuberías.

Para determinar el valor de la temperatura exterior, es necesario determinar un valor promedio de temperatura al interior del hangar de producción, ya que los rangos en los que oscila no son constantes. Por esto, mediante un sensor de temperatura LM35 acoplado a un arduino, se diseñó un sistema de registro de temperaturas para la toma de datos durante una semana, obteniéndose la curva que se muestra en la figura 38.

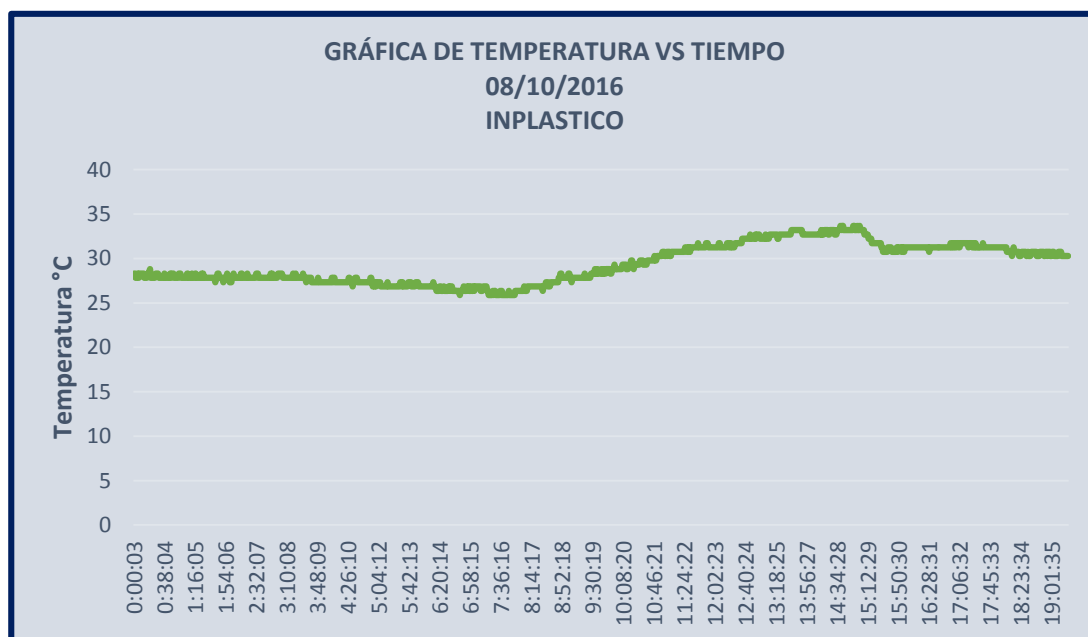


Figura 38. Gráfica de temperatura ambiente vs tiempo

En el interior de la tubería se obtiene un valor promedio de temperatura de 86 °F. La temperatura interior se establece en 41 °F, que es el valor mínimo que alcanza el agua al interior de la tubería. Los otros datos que son necesarios, se los obtuvo del catálogo de la tubería. Tabla 10

Tabla 10.

Características de la tubería del circuito hidráulico

Material	Policloruro de vinilo (PVC)
Temperatura exterior	41 °F
Temperatura Interior	86 °F
Radio exterior	24,13 mm
Radio interior	19,05 mm
Conductividad térmica (k)	0,0924 $\left[\frac{BTU}{ft \cdot h \cdot ^\circ F} \right]$

A continuación, se describe el cálculo de pérdidas de calor en las tuberías, con la [Ec.4]

$$\dot{Q} = \frac{2 * \pi * 0,0924 \left[\frac{BTU}{ft * h * ^\circ F} \right] * (41 ^\circ F - 86 ^\circ F)}{2,3 \log \left(\frac{24,13}{19,05} \right)}$$

$$\dot{Q} = -110,64 \left[\frac{BTU}{h * ft \text{ lineal}} \right]$$

$$\dot{Q} = -8,385 * 10^{-3} \left[\frac{TR}{m \text{ lineal}} \right]$$

Se obtiene que el calor perdido por metro lineal de tubería es de $-8,385 * 10^{-3}$ toneladas de refrigeración [TR]. Para determinar el calor total que se pierde en las tuberías de distribución, se toma en cuenta la longitud total de tubería instalada, la misma que se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11.

Detalle de tramos de tubería

TRAMO	DETALLE	HORIZ/ VERT	L (m)	Q (GPM)	Di (m)	V (m/s)	hf (m)	Caída de presión (Pa)	Pérdida de calor (TR)
T01	TANQUE - BOMBA	H	2,00	3	0,0381	2,44	0,255	2489,45	0,01677
T02	BOMBA - C01	V	4,40	3	0,0381	2,44	0,561	5476,79	0,03689
T03	C01 - C02	H	21,00	3	0,0381	2,44	2,679	26139,21	0,17609
T04	C02 - T01	V	0,60	3	0,0381	2,44	0,077	746,83	0,00503
T05	T01 - C03	V	0,92	3	0,0381	2,44	0,117	1145,15	0,00771
T06	C03 - A01	H	0,80	3	0,0381	2,44	0,102	995,78	0,00671
T07	A01 - T02	H	3,50	3	0,0381	2,44	0,446	4356,54	0,02935
T08	T02 - T03	H	4,70	3	0,0381	2,44	0,600	5850,20	0,03941
T09	T03 - T04	H	3,90	3	0,0381	2,44	0,497	4854,42	0,03270
T10	T04 - T05	H	2,90	3	0,0381	2,44	0,370	3609,70	0,02432
T11	T05 - T06	H	6,00	3	0,0381	2,44	0,765	7468,35	0,05031
T12	T06 - T07	H	2,00	3	0,0381	2,44	0,255	2489,45	0,01677
T13	T07 - T08	H	2,80	3	0,0381	2,44	0,357	3485,23	0,02348
T14	T08 - T09	H	3,30	3	0,0381	2,44	0,421	4107,59	0,02767
T15	T01 - C04	H	0,15	3	0,0381	2,44	0,019	186,71	0,00126
T16	C04 - V02	H	0,30	3	0,0381	2,44	0,038	373,42	0,00252
T17	V02 - C05	H	0,30	3	0,0381	2,44	0,038	373,42	0,00252
T18	C05 - A02	H	5,90	3	0,0381	2,44	0,753	7343,87	0,04947

CONTINÚA 

T19	A02 - A03	H	5,90	3	0,0381	2,44	0,753	7343,87	0,04947
T20	A03 - C06	H	1,00	3	0,0381	2,44	0,128	1244,72	0,00839
T21	C06 - C07	H	0,20	3	0,0381	2,44	0,026	248,94	0,00168
T22	C07 - C08	V	0,95	3	0,0381	2,44	0,121	1182,49	0,00797
T23	C08 - A04	H	1,85	3	0,0381	2,44	0,236	2302,74	0,01551
T24	A04 - T10	H	6,00	3	0,0381	2,44	0,765	7468,35	0,05031
T25	T10 - T11	H	6,00	3	0,0381	2,44	0,765	7468,35	0,05031
T26	T11 - T12	H	6,00	3	0,0381	2,44	0,765	7468,35	0,05031
T27	T12 - T13	H	5,50	3	0,0381	2,44	0,702	6845,98	0,04612
T28	T13 - T14	H	2,60	3	0,0381	2,44	0,332	3236,28	0,02180
T29	T14 - T15	H	3,00	3	0,0381	2,44	0,383	3734,17	0,02516
T30	T15 - FIN2	H	1,80	3	0,0381	2,44	0,230	2240,50	0,01509
T31	T09 - FIN1	H	2,40	3	0,0381	2,44	0,306	2987,34	0,02012
TOTAL			108,67						0,91120

$$\dot{Q} = - 8,385 * 10^{-3} \left[\frac{TR}{m \text{ lineal}} \right] * 108,67 [m \text{ lineal}]$$

$$\dot{Q} = -0.911[TR]$$

b. Carga térmica de las sopladoras

La carga térmica de cada una de las máquinas sopladoras es determinada en función de sus características de producción, las cuales son:

- Número de cabezas
- Cantidad de producción (kilogramos por hora)
- Tipo de envase

Teniendo en cuenta la relación existente entre la cantidad de materia prima procesada y el calor extraído, se dimensionó la carga térmica de los moldes de las maquinas instaladas. En la Tabla 12 se detalla la máxima capacidad de producción, y la carga térmica que representan.

Tabla 12.

Carga térmica instalada

NÚMERO DE MÁQUINA INICIAL	NÚMERO DE MÁQUINA MODIFICADA	POTENCIA MÁQUINA [kW]	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (Kg/h)	CARGA TÉRMICA [T.R.]	TIPO DE ENVASE
1	9	16,6	51,2	2,64	2000 KIOSKO
2	8	19,9	46,2	2,39	2000 C
3	12	14,43	11,34	0,59	175 L
4	13	14,43	17,6	0,91	250 R
5	5	16	24,6	1,27	1000 JB JUBO
6	11	10	12,6	0,65	200 MB
7	10	8	6,3	0,33	BEBAS OSO
8	7	17,73	33,15	1,71	YAGU NORMAL
0	6	16,36	36,6	1,89	1000 KIOSKO
10	3	20	75	3,87	SE ASIGNA
11	2	20	75	3,87	SE ASIGNA
9	4	16	50	2,58	SE ASIGNA
12	1	20	75	3,87	SE ASIGNA

c. Carga térmica de diseño

La carga térmica considerada para el diseño consta de la suma total de

- Carga por pérdidas de calor en tuberías.
- Carga térmica de las sopladoras.
- Carga térmica futura.

La carga térmica de expansión es aquella considerada para cubrir las necesidades de refrigeración de la planta con proyección a futuro. Por pedido del gerente de la empresa, el diseño del nuevo sistema centralizado de enfriamiento debe considerar el 50% de la carga térmica actual, como reserva para su uso a futuro.

Carga térmica total considerada para el diseño

$$C.T._{Total} = C.T._{tuberia} + C.T._{instalada} + C.T._{proyectada} \text{ [TR]} \quad \text{[Ec. 21]}$$

$$C.T._{Total} = (0.911 + 13,25 + (13,25) * 0,5) \text{ [TR]}$$

$$C.T._{Total} = 20.72 \text{ [TR]}$$

4.4. Descripción del sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento propuesto para la planta de producción de la empresa INPLASTICO, consta de una red centralizada de distribución y acopio de agua fría, la cual circula a través de los moldes, manteniéndolos a una temperatura adecuada. Dicha red centralizada, consta con una bomba principal la cual se encarga de hacer circular el agua, por cada uno de los chillers. La bomba es controlada desde el tablero de control, y su activación puede ser manual o automática.

El encendido y apagado de los chillers, así como de sus respectivas electroválvulas, se lo puede realizar de manera manual o automática. Esta designación de opciones obedece a los requerimientos del gerente de INPLASTICO, ya que, en caso de mantenimiento, deja de operar el modo automático y pasa a modo manual. El control automático de los chillers, se lo realiza por medio de un PLC S7-1200, 1212C AC/DC/RLY, ubicado en el tablero de control. Para el encendido y apagado de los chillers, se tiene en consideración dos variables las cuales son:

- La carga térmica de enfriamiento demanda por la planta de producción.
- La temperatura a la cual se encuentra el agua al interior de la tubería.

Para determinar la carga térmica de enfriamiento de la planta de producción, es necesario conocer que máquina extrusora se encuentra encendida, para ello se trabaja con contactos auxiliares de cada una de las extrusoras, los cuales envían una señal on/off al PLC.

En la pantalla HMI KTP 400, se indica la capacidad térmica demandada por la planta de producción, la temperatura al interior de la tubería principal de enfriamiento, los chillers encendidos y las máquinas extrusoras activas al interior de la planta de producción.

En caso de mal funcionamiento del PLC, el control de los chilles y de la bomba se lo puede realizar de manera manual mediante los selectores ubicados en el tablero de control. Las electroválvulas ubicadas a la salida de los chilles, constan de un sistema mecánico que permite su apertura y cierre en caso de pérdida de alimentación.

En el tablero de control se ubican los siguientes elementos:

- PLC S7-1200
- HMI KTP 400
- Selector “Sistema manual/automático”
- Selector “Bomba manual/automática”
- Pulsador de paro de emergencia
- Contactores
- Elementos de protección eléctricos

4.5. Diseño de la red hidráulica de enfriamiento

Para realiza los cálculos de la red hidráulica de enfriamiento lo vamos a dividir por tramos, en nuestro caso lo dividimos en cuatro tramos o partes que son:

- Línea de succión
- Línea de descarga
- Línea de tubería a molde
- Línea del molde

Todo esto con el fin de calcular las pérdidas que existe en todo el circuito hidráulico, de una forma ordenada y adecuada, además se procederá a calcular la potencia de la bomba que vamos a utilizar en el circuito hidráulico. Todos los cálculos se hicieron en base a las ecuaciones del libro de Mecánica de Fluidos de Robert Mott 6ta Edición.

Datos iniciales

Para poder realizar los cálculos se deben tener en cuenta los datos iniciales que tiene la red hidráulica de enfriamiento, así como los datos de diseño que hemos propuesto para este sistema. A continuación, se detallará los datos y las variables a utilizar en el diseño y cálculo:

Datos:

Fluido: Agua

Temperatura de trabajo: 5°C

Densidad del agua (ρ) a 5°C [kg/m³]: 1000

Viscosidad dinámica (η) a 5°C [Pa/s]: 1,52x10⁻³

Peso específico del agua (γ) a 5°C [KN/m³]: 9,81

Caudal de diseño (Q_d) [m³/h]: 10

Presión atmosférica (P_{atm}) [KPa]: 100,5

Presión tanque (P_{tanq}) [KPa]: 0

Rugosidad del plástico (ϵ_p) [m]: 3,0x10⁻⁷

Rugosidad del acero (ϵ_a) [m]: 4,6x10⁻⁵

Rugosidad del aluminio (ϵ_{al}) [m]: 3,0x10⁻⁵

Cálculo de pérdidas en tuberías y accesorios

a. Cálculos de la línea de succión

A continuación, se va a realizar los cálculos de la línea de succión, donde se va a calcular la velocidad del fluido, número de Reynolds y las pérdidas causadas por fricción y accesorios, además de la pérdida en la entrada.

Datos:

Diámetro interior de la tubería de succión (ϕ_{is}) [m]: 4,93x10⁻²

Longitud de la tubería de succión (l_s) [m]: 5

Número de codos en la línea de succión (#cs): 3

Número de válvulas en la línea de succión (#vs): 8

Área de la línea de succión (A_s)

$$A_s = \frac{\pi * \phi_{is}}{4} \quad [\text{Ec. 22}]$$

$$A_s = \frac{\pi * 4.93 \times 10^{-2} m}{4}$$

$$A_s = 0,0019081 [m^2]$$

Velocidad del fluido en la línea de succión

$$V_s = \frac{Q_d}{A_s} \quad [\text{Ec. 22}]$$

$$V_s = \frac{10 m^3/h}{0,0019081 m^2} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$V_s = 1,4551 m/s$$

Número de Reynolds en la línea de succión

$$NR_s = \frac{V_s * \phi_{is} * \rho}{\eta} \quad [\text{Ec. 23}]$$

$$NR_s = \frac{1,4551 * 0,0493 * 1000}{1,52 \times 10^{-3}}$$

$$NR_s = 47197,184 \therefore \text{flujo turbulento}$$

Rugosidad relativa en la línea de succión

$$\frac{D}{\epsilon_s} = \frac{\phi_{is}}{\epsilon_a} \quad [\text{Ec. 24}]$$

$$\frac{D}{\epsilon_s} = \frac{0,0493 m}{4,6 \times 10^{-5} m}$$

$$\frac{D}{\epsilon_s} = 1071,7391$$

Factor de fricción en la línea de succión

Para determinar el factor de fricción en la línea de succión es necesario utilizar el diagrama de Moody, ya que es un flujo turbulento. (figura 39)

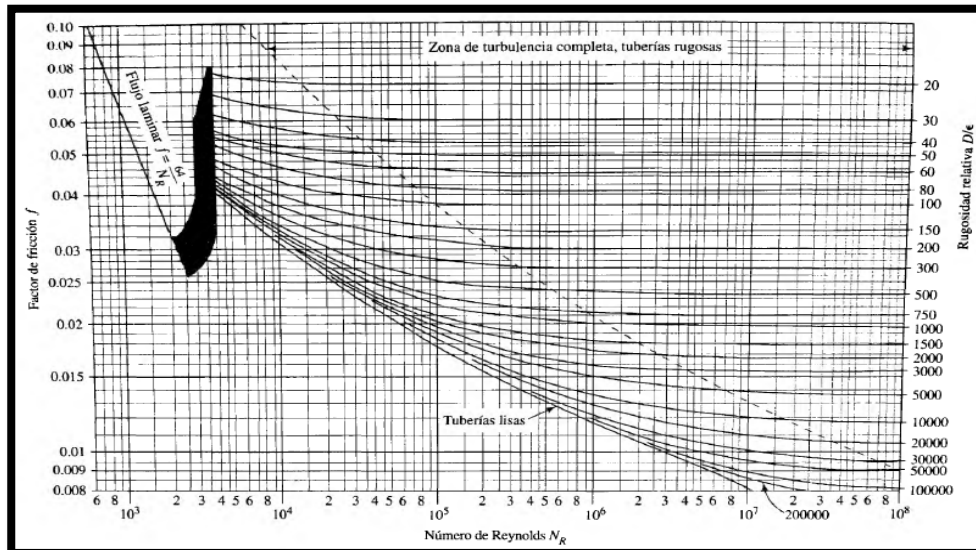


Figura 39. Diagrama de Moody

Fuente: (Mott, 2006)

Con los datos del Número de Reynolds y la rugosidad relativa procedemos a ver cuál es el factor de fricción en la succión (f_s).

$$f_s = 0,022$$

Cálculo de la pérdida en la entrada en la línea de succión (h_{1s})

Para determinar la pérdida en la entrada es necesario saber el factor K en la línea de succión para nuestro caso el factor de K es de 0,5, dato que se obtiene del libro de Mecánicas de fluidos de Robert Mott 6Ed, ya que la entrada es una sección de bordes cuadradas

$$h_{1s} = K \left(\frac{V_s^2}{2g} \right) \quad [\text{Ec. 25}]$$

$$h_{1s} = 0,5 \left(\frac{\left(1,4551 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * \left(\frac{9,81m}{s^2} \right)} \right)$$

$$h_{1s} = 0,053 [m]$$

Cálculo de la pérdida por fricción en la línea de succión (h_{2s})

$$h_{2s} = f_s * \left(\frac{l_s}{\phi_{is}}\right) * \left(\frac{V_s^2}{2g}\right) \quad [\text{Ec. 26}]$$

$$h_{2s} = f_s * \left(\frac{l_s}{\phi_{is}}\right) * \left(\frac{V_s^2}{2g}\right)$$

$$h_{2s} = 0,022 * \left(\frac{5}{0,0493}\right) * \left(\frac{(1,4551)^2}{2 * 9,81}\right)$$

$$h_{2s} = 0,24 [m]$$

Cálculo de la pérdida de energía en las válvulas en la línea de succión (h_{3s})

Para determinar la pérdida de energía en las válvulas en la línea de succión hay que tener en cuenta la longitud equivalente (L_e/D) del tipo de válvulas que están instaladas en la línea de succión en este caso es una válvula de compuerta, que actúa abierta por completo, por lo que la longitud equivalente de esta válvula es: $\frac{L_e}{D} = 8$. (Mott, 2006)

Otro factor para tomar en cuenta es el factor de fricción f_{Ts} del tamaño nominal de la tubería, en nuestro sistema el tamaño nominal de la tubería de succión es de 2 pulgadas, por lo que el factor f_{Ts} es: $f_{Ts} = 0,019$. (Mott, 2006)

Con estos datos procedemos a calcular la pérdida de energía en las válvulas de la línea de succión.

$$h_{3s} = \#vs * (f_{Ts} * \left(\frac{L_e}{D}\right) * \left(\frac{V_s^2}{2g}\right)) \quad [\text{Ec. 27}]$$

$$h_{3s} = 8 * (0,019 * (8) * \left(\frac{(1,4551)^2}{2 * 9,81}\right))$$

$$h_{3s} = 0,1 [m]$$

Cálculo de la pérdida de energía en los codos en la línea de succión (h_{4s})

$$h_{4s} = \#cs * (20 * f_{Ts} * (\frac{V_s^2}{2g})) \quad [\text{Ec. 28}]$$

$$h_{4s} = 3 * (20 * 0,019 * (\frac{(1,4551)^2}{2 * 9,81}))$$

$$h_{4s} = 0,12 \text{ [m]}$$

b. Cálculo en la línea de descarga

A continuación, se va a realizar los cálculos de la línea de descarga, donde se va a calcular la velocidad del fluido, número de Reynolds y las pérdidas causadas por fricción y accesorios, además de la pérdida en la salida.

Datos:

Diámetro interior de la tubería de descarga (ϕ_{id}) [m]: $3,81 \times 10^{-2}$

Longitud de la tubería de succión (l_d) [m]: 180

Número de codos en la línea de succión ($\#cd$): 16

Número de válvulas en la línea de succión ($\#vd$): 38

Número de tees en la línea de succión ($\#td$): 30

Área de la línea de descarga

$$A_d = \frac{\pi * \phi_{id}^2}{4} \quad [\text{Ec. 29}]$$

$$A_d = 0,00114 \text{ [m}^2\text{]}$$

Velocidad del fluido en la línea de succión

$$V_d = \frac{Q_d}{A_d} \quad [\text{Ec. 30}]$$

$$V_d = \frac{10 \text{ m}^3/\text{h}}{0,00114 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$V_d = 2,4364 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds en la línea de succión

$$NR_d = \frac{V_d * \phi_{id} * \rho}{\eta} \quad [\text{Ec. 31}]$$

$$NR_d = \frac{2,4364 * 0,0381 * 1000}{1,52 \times 10^{-3}}$$

$$NR_d = 61071,422 \therefore \text{flujo turbulento}$$

Rugosidad relativa en la línea de succión

$$\frac{D}{\epsilon_d} = \frac{\phi_{id}}{\epsilon_p} \quad [\text{Ec. 32}]$$

$$\frac{D}{\epsilon_d} = \frac{0,0381 \text{ m}}{3 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon_d} = 127000$$

Factor de fricción en la línea de succión

Para determinar el factor de fricción en la línea de succión es necesario utilizar el diagrama de Moody, que está en la figura 24, ya que es un flujo turbulento, para poder determinar el factor de fricción

Con los datos del Número de Reynolds ($NR_d = 61071,422$) y la rugosidad relativa ($\frac{D}{\epsilon_d} = 127000$) en la línea de descarga, procedemos a ver cuál es el factor de fricción en la descarga.

$$f_d = 0,019$$

Cálculo de la pérdida en la salida en la línea de descarga (h_{1d})

$$h_{1d} = 1,0 \left(\frac{V_d^2}{2g} \right) \quad [\text{Ec. 33}]$$

$$h_{1d} = 1,0 \left(\frac{(2,4364 \frac{m}{s})^2}{2 * (\frac{9,81m}{s^2})} \right)$$

$$h_{1d} = 0,30 [m]$$

Cálculo de la pérdida por fricción en la línea de descarga (h_{2d})

$$h_{2d} = f_d * \left(\frac{l_d}{\phi_{id}}\right) * \left(\frac{Vd^2}{2g}\right) \quad [\text{Ec. 34}]$$

$$h_{2d} = 27,15 [m]$$

Cálculo de la pérdida de energía en las válvulas en la línea de succión (h_{3d})

Para determinar la pérdida de energía en las válvulas en la línea de descarga hay que tener en cuenta la longitud equivalente (L_e/D) del tipo de válvulas que están instaladas en la línea de descarga en este caso es una válvula de compuerta, que actúa abierta por completo, por lo que la longitud equivalente de esta válvula es: $\frac{L_e}{D} = 8$. (Mott, 2006)

Otro factor para tomar en cuenta es el factor de fricción f_{Td} del tamaño nominal de la tubería, en nuestro sistema el tamaño nominal de la tubería de descarga es de $1^{1/2}$ pulgadas, por lo que el factor f_{Ts} es: $f_{Td} = 0,021$. (Mott, 2006)

Con estos datos procedemos a calcular la pérdida de energía en las válvulas de la línea de succión.

$$h_{3d} = \#vd * (f_{Td} * \left(\frac{L_e}{D}\right) * \left(\frac{Vd^2}{2g}\right)) \quad [\text{Ec. 35}]$$

$$h_{3d} = 38 * (0,021 * (8) * \left(\frac{(2,4364)^2}{2 * 9,81}\right))$$

$$h_{3d} = 1,93 [m]$$

Cálculo de la pérdida de energía en los codos y tees en la línea de descarga (h_{4d})

$$h_{4d} = \{\#cd * (20 * f_{Td} * \left(\frac{Vd^2}{2g}\right))\} + \{\{\#td * (60 * f_{Td} * \left(\frac{Vd^2}{2g}\right))\} \quad [\text{Ec. 36}]$$

$$h_{4d} = \left\{16 * \left(20 * 0,021 * \left(\frac{(2,4364)^2}{2 * 9,81}\right)\right)\right\} + \left\{30 * \left(20 * 0,021 * \left(\frac{(2,4364)^2}{2 * 9,81}\right)\right)\right\}$$

$$h_{4d} = 13,6 [m]$$

c. Cálculo de pérdidas en la línea de la tubería la molde

A continuación, se va a realizar los cálculos de pérdidas de la línea de la tubería al molde, donde se va a calcular la velocidad del fluido, número de Reynolds ya la pérdida por fricción en la tubería de $\frac{3}{4}$ pulgadas de plástico.

Datos:

Diámetro interior de la tubería al molde (ϕ_{itm}) [m]: $1,88 \times 10^{-2}$

Longitud promedio de la tubería al molde (l_{tm}) [m]: 3

Número de tuberías hacia molde ($\#tm$): 24

Caudal de diseño en los moldes (Q_{dm}) [m^3/h]: 0,833

Área de la línea de la tubería al molde

$$A_{tm} = \frac{\pi * \phi_{itm}}{4} \quad [Ec. 37]$$

$$A_{tm} = 0,00027759 [m^2]$$

Velocidad del fluido en la línea de la tubería al molde

$$V_{tm} = \frac{Q_{dm}}{A_{tm}} \quad [Ec. 38]$$

$$V_{tm} = \frac{0,833 m^3/h}{0,00027759 m^2} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$V_{tm} = 0,8335 m/s$$

Número de Reynolds en la línea de la tubería al molde

$$NR_{tm} = \frac{V_{tm} * \phi_{itm} * \rho}{\eta} \quad [Ec. 39]$$

$$NR_{tm} = \frac{0,8335 * 0,0188 * 1000}{1,52 \times 10^{-3}}$$

$$NR_{tm} = 10309,79 \therefore \text{flujo turbulento}$$

Rugosidad relativa en la línea de la tubería al molde

$$\frac{D}{\epsilon_{tm}} = \frac{\phi_{itm}}{\epsilon_p} \quad [\text{Ec. 40}]$$

$$\frac{D}{\epsilon_{tm}} = \frac{0,0188 \text{ m}}{3 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon_{tm}} = 62666,66$$

Factor de fricción en la línea de la tubería al molde

Para determinar el factor de fricción en la línea de la tubería al molde es necesario utilizar el diagrama de Moody, que está en la figura 24, ya que es un flujo turbulento, para poder determinar el factor de fricción

Con los datos del Número de Reynolds ($NR_{tm} = 10309,79$) y la rugosidad relativa ($\frac{D}{\epsilon_{tm}} = 62666,66$) en la línea de la tubería al molde, procedemos a ver cuál es el factor de fricción en la descarga.

$$f_{tm} = ,03$$

Cálculo de la pérdida por fricción en la línea de la tubería al molde (h_{1tm})

$$h_{1tm} = \#tm * \left\{ f_{tm} * \left(\frac{l_{tm}}{\phi_{itm}} \right) * \left(\frac{Vtm^2}{2g} \right) \right\} \quad [\text{Ec. 41}]$$

$$h_{1tm} = \#24 * \left\{ 0,03 * \left(\frac{3}{0,0188} \right) * \left(\frac{(0,8335)^2}{2 * 9,81} \right) \right\}$$

$$h_{1tm} = 4,06 \text{ [m]}$$

d. Cálculo en la línea del molde

A continuación, se va a realizar los cálculos del molde, donde se va a calcular la velocidad del fluido, número de Reynolds y las pérdidas causadas por fricción en el molde que es de aluminio.

Datos

Diámetro interior del molde (ϕ_{im}) [m]: $6,35 \times 10^{-3}$

Longitud promedio del molde (l_m) [m]: 1

Número promedio de trabajo de moldes (#pm): 12

Caudal de diseño en los moldes (Q_{dm}) [m^3/h]: 0,833

Área promedio en los moldes

$$A_m = \frac{\pi * \phi_{im}}{4} \quad [\text{Ec. 42}]$$

$$A_m = \frac{\pi * 6,35 \times 10^{-3} m}{4}$$

$$A_m = 0,0000316 [m^2]$$

Velocidad promedio del fluido los moldes

$$V_{pm} = \frac{Q_{dm}}{A_m} \quad [\text{Ec. 43}]$$

$$V_{pm} = \frac{0,833 m^3/h}{0,0000316 m^2} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$V_{pm} = 7,31 m/s$$

Número de Reynolds en los moldes

$$NR_m = \frac{V_{pm} * \phi_{im} * \rho}{\eta} \quad [\text{Ec. 44}]$$

$$NR_m = \frac{7,31 * 0,00635 * 1000}{1,52 \times 10^{-3}}$$

$$NR_{tm} = 30523,49 \therefore \text{flujo turbulento}$$

Rugosidad relativa en el molde

$$\frac{D}{\epsilon_m} = \frac{\phi_{im}}{\epsilon_{al}} \quad [\text{Ec. 45}]$$

$$\frac{D}{\epsilon_m} = \frac{0,00635 \text{ m}}{3 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon_m} = 211,66$$

Factor de fricción en el molde

Para determinar el factor de fricción en el molde es necesario utilizar el diagrama de Moody, que está en la figura 24, ya que es un flujo turbulento, para poder determinar el factor de fricción

Con los datos del Número de Reynolds ($NR_{tm} = 30523,49$) y la rugosidad relativa ($\frac{D}{\epsilon_m} = 211,66$) en el molde, procedemos a ver cuál es el factor de fricción en el molde.

$$f_m = 0,032$$

Cálculo de la pérdida por fricción en el molde (h_{1m})

$$h_{1m} = \#pm * \left\{ f_m * \left(\frac{l_m}{\phi_{im}} \right) * \left(\frac{Vpm^2}{2g} \right) \right\} \quad [\text{Ec. 46}]$$

$$h_{1m} = \#12 * \left\{ 0,032 * \left(\frac{1}{0,00635} \right) * \left(\frac{(7,31)^2}{2 * 9,81} \right) \right\}$$

$$h_{1m} = 164,53 \text{ [m]}$$

e. Cálculo de la pérdida total de (h_{LT})

Para determinar la pérdida total de energía por unidad de peso del fluido en movimiento se procede a sumar todas las pérdidas que existen en las líneas de succión,

descarga, en la tubería hacia el molde y en el molde; además se multiplica por un factor de ampliación al cual hemos dado un valor del 10%.

$$h_{LT} = 1,1 * (h_{1s} + h_{2s} + h_{3s} + h_{4s} + h_{1d} + h_{2d} + h_{3d} + h_{4d} + h_{1tm} + h_{1m}) \text{ [m]} \quad [\text{Ec. 47}]$$

$$h_{LT} = 1,1 * (0,053 + 0,24 + 0,13 + 0,12 + 0,30 + 27,15 + 1,93 + 13,46 + 4,06 + 164,53) \text{ [m]}$$

$$h_{LT} = 233,7 \text{ [m]}$$

f. Cálculo de la carga total sobre la bomba (h_A)

Para determinar la carga total sobre la bomba, se debe tener el dato de la altura de descarga, es decir la altura máxima donde está instalada la tubería en nuestro caso la altura máxima es de 4,40 metros.

$$h_A = 4,40 + h_{LT} \quad [\text{Ec. 48}]$$

$$h_A = 4,40 + 233,17$$

$$h_A = 237,57 \text{ [m]}$$

g. Cálculo de la potencia de la bomba (Pot_B)

Para determinar la potencia bomba es necesario saber la carga total sobre la bomba, el peso específico del fluido, el caudal del diseño y el rendimiento de la bomba, en este caso tenemos que la bomba tiene un rendimiento del 88%. [Ec.9]

$$Pot_B = \frac{h_A * \gamma * Q_d}{0.88}$$

Dónde:

h_A : carga total sobre la bomba

φ : peso específico del fluido

Qd: caudal de diseño

n: rendimiento de la bomba

$$Pot_B = \frac{237,57 [m] * 9,81 \left[\frac{KN}{m^3} \right] * 10 [m^3/h]}{0.88} * \frac{1 [h]}{3600 [s]}$$

$$Pot_B = 7,36 [KW] \approx 10 HP$$

4.6. Diseño del algoritmo de control y registro

Para el control y automatización del nuevo sistema centralizado de enfriamiento, es necesario contar con un autómata programable, en este caso se trata de un PLC SIEMENS S7-1200 serie 1212C AC/DC/RLY, modelo 212-1BE-1BE31-0XB0. Para la visualización y diagnóstico del sistema, es necesario el uso de una interfaz HMI, en este caso una pantalla táctil SIEMENS KTP 400. El algoritmo de control se lo realiza con el programa TIA PORTAL V13, como se indica en la figura, y se basa en lenguaje KOP.

El algoritmo de control y las tablas de variables se detallan en el anexo E

El desarrollo del algoritmo de control se divide en áreas, en función del elemento a programar, en este caso serán los siguientes:

Programación PLC S7-1200

a. Configuración inicial

El primer paso es la creación de un nuevo proyecto en el programa TIA PORTAL, en el cual se elige los dispositivos necesarios. El PLC S7-1200 cuenta con un con ocho entradas digitales, lo que no cubre las necesidades del sistema de refrigeración automatizado, por lo que es necesario acoplar módulos de expansión de entradas y salidas digitales, tal como se observa en la figura 40.

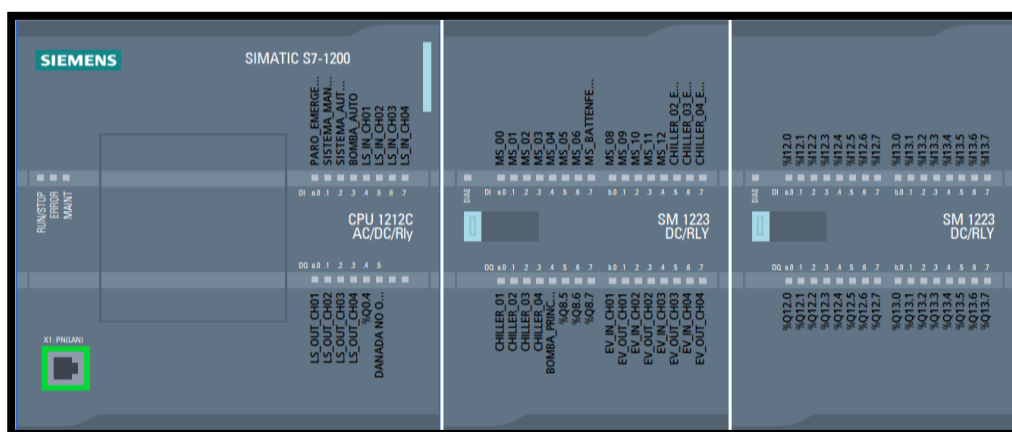


Figura 40. Selección de módulos de expansión.

Debido a la utilización de registros, es necesario activar el servidor WEB, lo que permite su acceso desde la página WEB (192.168.0.10). Para que los datos registrados reflejen el estado actual del sistema, se debe activar la actualización automática. (figura 41)

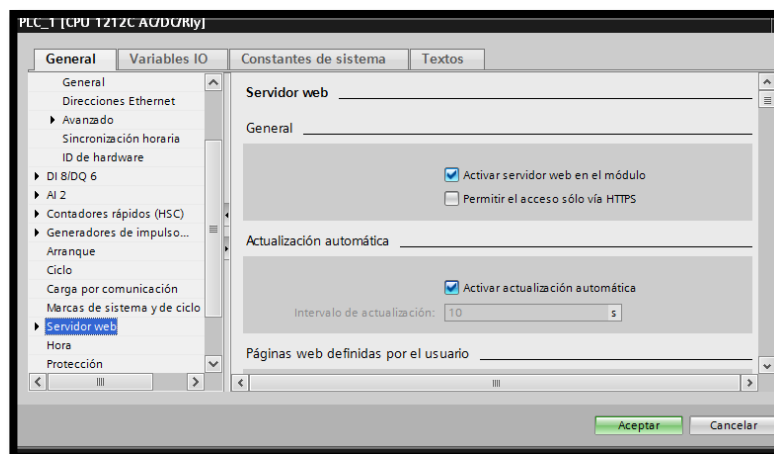


Figura 41. Activación del servidor web.

Es necesario configurar y asignar una dirección IP específica al PLC, para evitar conflictos al momento de la conexión en red de los equipos. Se asigna al PLC la dirección 192.168.0.10. (figura 42)

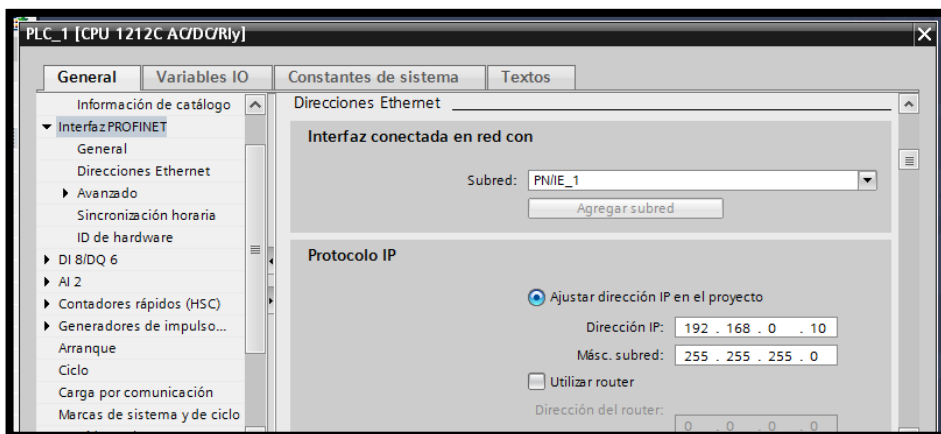


Figura 42. Asignación de la dirección IP.

El sistema de registro debe reflejar los eventos en función una fecha y hora determinada, por lo que es necesario la configuración y selección de la zona horaria adecuada. (figura 43)

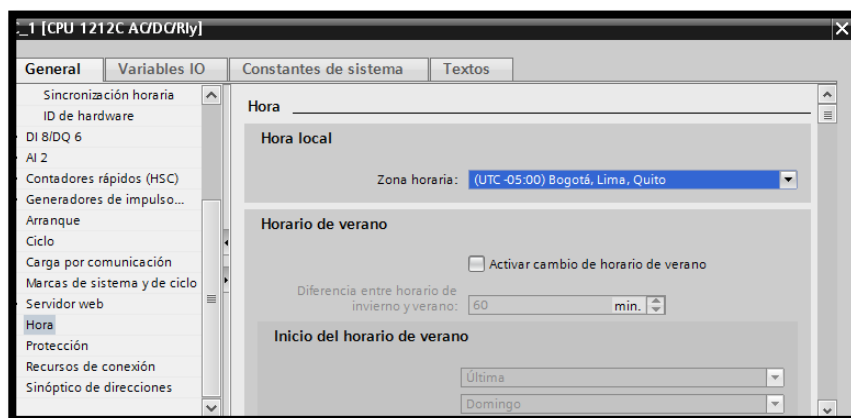


Figura 43. Configuración de la zona horaria.

Se activan las marcas de sistema y de ciclo, asignando las direcciones correspondientes como se indica en la figura xx. La marca “First Scan” se ejecuta una sola vez, cuando el autómata pasa de estado STOP a RUN. (figura 44)

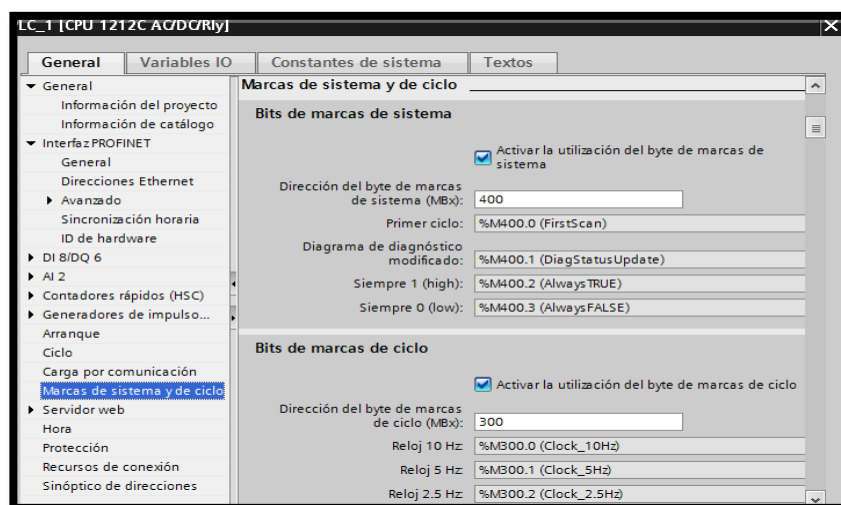


Figura 44. Activación de las marcas del sistema.

b. Bloques de programación

Los autómatas programables Siemens, mediante su plataforma de programación TIA portal, permiten la utilización de bloques para el desarrollo de la programación de un proceso industrial. Existen distintos tipos de bloques, aplicables según la necesidad.

La programación para la automatización del sistema de enfriado de la empresa INPLASTICO fue distribuida en bloques, según su función y los elementos o equipos a controlar, mismos que se describen a continuación.

Bloque “PRINCIPAL”

Acoge a los bloques de función, asignados al control de distintos subprocesos.

Bloque de función “ALARMAS AVISOS”

Destinado a la emisión de mensajes de error mediante una ventana en el HMI, por efecto de niveles bajos de agua en los tanques de los enfriadores, o por el pulso de la botonera de paro de emergencia.

Bloque de función “CARGA TR”

Permite determinar la demanda térmica de calor de refrigeración, en función a que maquina se encuentra operando al interior de la planta. Esta función devuelve un valor

real expresado en toneladas de refrigeración, visible en la pantalla “INFO SIST” del HMI.

Bloque de función “CONTROL DE BOMBA”

Controla la activación de la bomba centrífuga, en función de parámetros como niveles de agua, electroválvulas, y activación de chillers.

Bloque de función “ELECTROVÁLVULAS”

Dependiendo de que chiller se encuentra activo, así como del nivel de agua en los tanques asociados, se controla el encendido o apagado de las electroválvulas.

Bloque de función “FUNCIÓN HORAS MAQ-CONSUMO ENERGÉTICO”

Bloque de función destinado al conteo de horas máquina y consumo de energía mensual. Tiene como variables de entrada una señal de arranque, el valor correspondiente de potencia asociado a la máquina, así como una señal de reset del contador. Devuelve el valor correspondiente a las horas de trabajo y energía consumida en un mes por una máquina.

Bloque de función “GENERAR REGISTRO”

Crea una base de datos correspondientes al tiempo de funcionamiento de las maquinas en cada turno (diurno-nocturno), y una base de datos correspondiente a la las horas de trabajo y energía consumida mensualmente.

Bloque de función “NIVEL DE AGUA”

Tiene como variables de entrada a los sensores de nivel acoplados al interior de los tanques de los distintos chillers. Mediante el PLC, se utiliza estos valores para el control de las electroválvulas, así como el disparo de alarmas en los chillers.

Bloque de función “REGISTRO DE TIEMPO Y ENERGÍA”

Trabaja con contadores de tiempo remanentes, registran los tiempos de funcionamiento de las maquinas sopladoras. Los valores de los temporizadores son almacenados en el “DATALOG INPLASTICO” cada cambio de turno, luego de lo cual son reseteados.

Con la utilización del bloque “FUNCIÓN HORAS MAQ-CONSUMO ENERGÉTICO”, asociado a cada una de las máquinas sopladoras, se obtiene valores enteros correspondientes a en número de horas de trabajo mensual y el consumo de energía, los cuales son almacenados del primer dia de cada mes en el “DATALOG_INPLASTICO_E”.

Bloque de función “RELOJ”

Toma la hora del sistema, y compra el tiempo actual para la activación de la escritura de valores en la base de datos creada.

Bloque de función “SELEC CHILLER”

Controla la activación de los distintos chillers dependiendo de la temperatura y de la demanda térmica del sistema. Este control puede ser automático o manual, dependiendo de la posición del selector en el tablero de control.

Bloque de datos “ALARMAS”

Almacenas señales de alarma, necesarios para la emisión de mensajes de error en el HMI.

Bloque de datos “DATALOG INPLASTICO”

Asigna espacios de memoria dedicados al almacenamiento de valores correspondientes a los tiempos de trabajo de las máquinas sopladoras por cada turno, en formato “Time_Of_Day”.

Bloque de datos “DATALOG INPLASTICO_E”

Asigna espacios de memoria dedicados al almacenamiento de valores correspondientes a las horas de trabajo de las máquinas sopladoras y su consumo energético, en formato “Int”.

Bloque de datos “HORA Y FECHA”

Asigna espacios de memoria dedicados al almacenamiento de valores correspondientes a la fecha y hora locales. Estos datos son utilizados para la escritura de los Datalogs.

Toda la programación se detalla en el anexo E

Programación HMI KTP 400

a. Configuración inicial

Se selecciona la pantalla correspondiente al modelo disponible, en este caso una pantalla táctil SIEMENS modelo KTP400, serie Basic color PN. (figura 45)

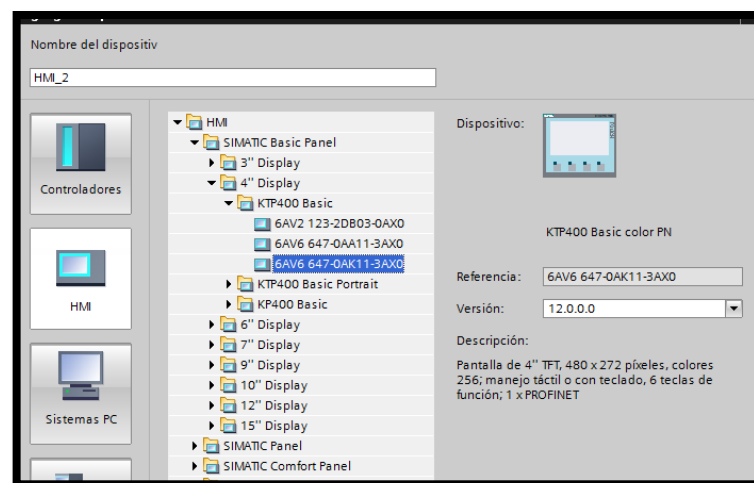


Figura 45. Configuración inicial del HMI.

Se asigna una dirección IP para su posterior conexión con el PLC S7-1200, la cual será 192.168.0.11. (figura 46)

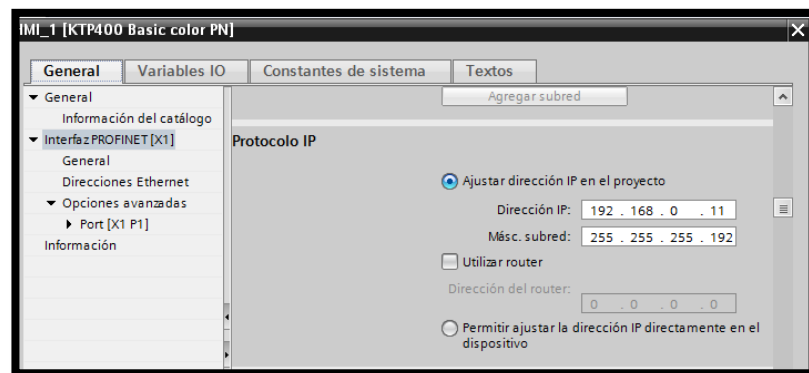


Figura 46. Asignación de la dirección IP del HMI.

b. Creación de imágenes

Asignada la dirección IP, se configura las distintas pantallas en función a solicitud del gerente de la empresa. Para esto es necesario tener una plantilla en la cual se configuran botones que permiten acceder a cualquiera de las imágenes, independientemente de la imagen actual que este siendo mostrada en el HMI. (figura 47)

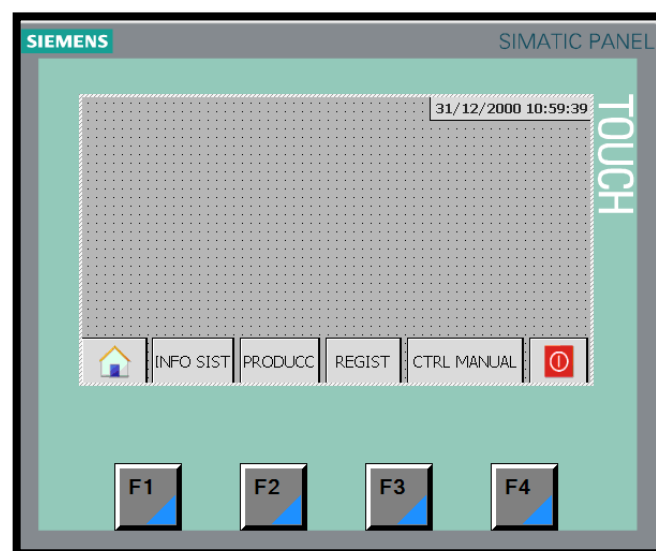


Figura 47. Plantilla para HMI

La configuración de los botones para la activación de las imágenes se la realiza seleccionando el botón designado a la activación de la imagen, en este caso es el botón “INFO SIST” relacionado a la imagen “Información del sistema”. Esta configuración

se la realiza seleccionando el botón, y en la pestaña propiedades -> eventos -> pulsar, se agrega la función activar imagen en donde se despliega una lista de imágenes disponibles, de las cuales se escoge “Información del sistema” (figura 48)

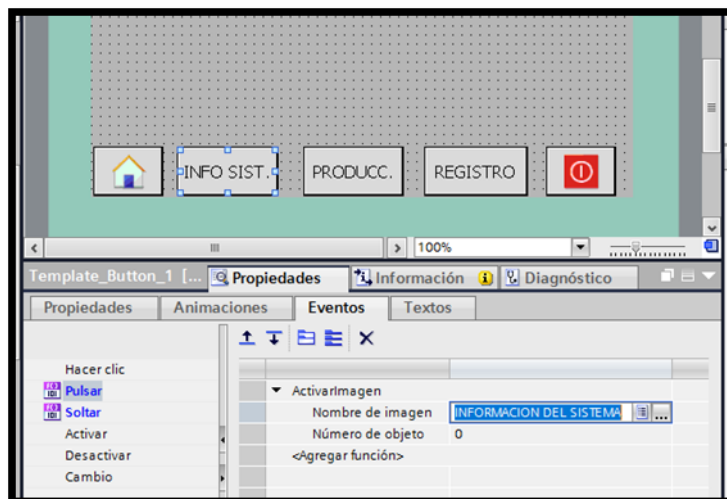


Figura 48 Asignación operación de botones

El procedimiento anteriormente indicado, se lo realiza para cada una de las imágenes y botones correspondientes. Finalizado este procedimiento, se procede a configurar las distintas imágenes disponibles del HMI.

Imagen raíz. En la imagen raíz (figura 49) se visualiza la pantalla principal del HMI. Esta imagen es la caratula del proyecto.



Figura 49. Imagen Raíz

Imagen Información del sistema. La primera imagen secundaria (figura 50) denominada “INFO SIST” permite la visualización del chiller o chillers que se encuentran encendidos, el estado del sistema (Manual o Automático), los valores actuales de temperatura y la carga térmica del sistema.

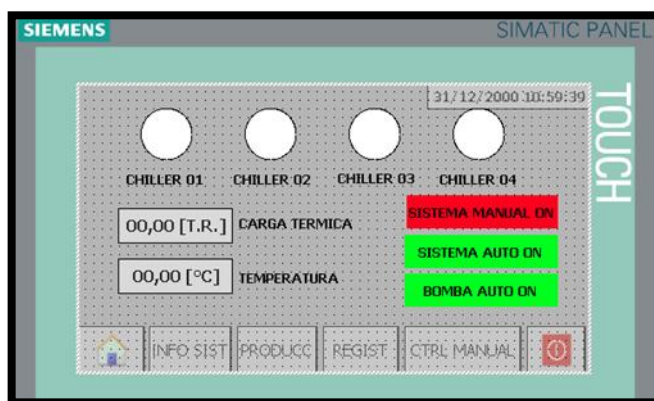


Figura 50. Imagen INFO SIST

La visualización de los valores de temperatura se los realiza vinculando el indicador de “CAMPO E/S” a la variable “CTT” la cual es una marca de tipo real, como se indica en la figura 51.

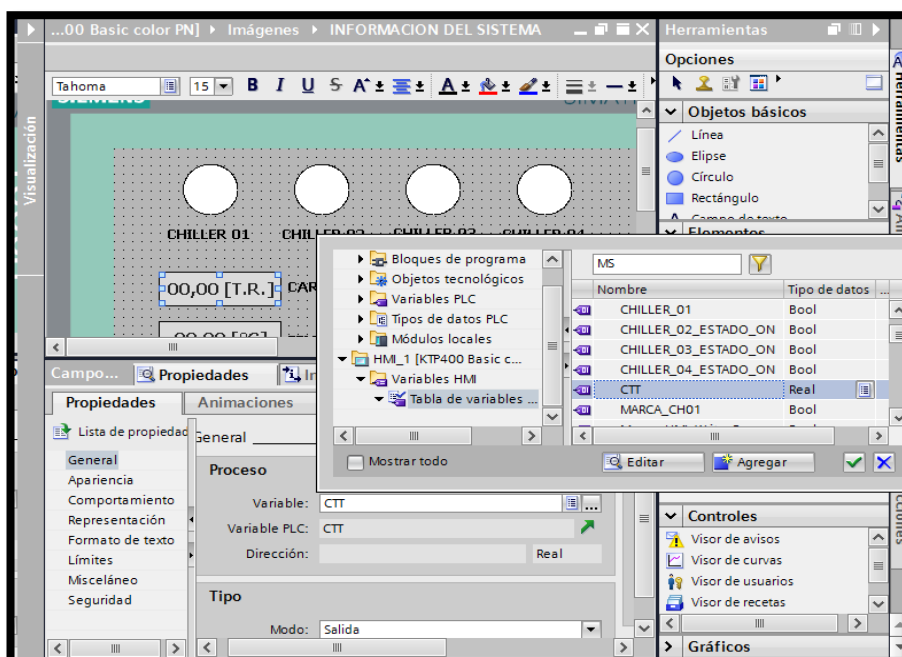


Figura 51. Configuración del indicador “CARGA TÉRMICA”

El estado de los chillers (ON/OFF) está representado por indicadores, los cuales están asociados a una marca de tipo booleano, permitiendo configurar la animación del indicador en la pestaña de propiedades como se indica en la figura 52. Cuando el chiller está encendido, el indicador cambia a color verde, caso contrario, este se encontrará de color gris. Este proceso se lo realiza para la configuración de los indicadores de los cuatro chillers.

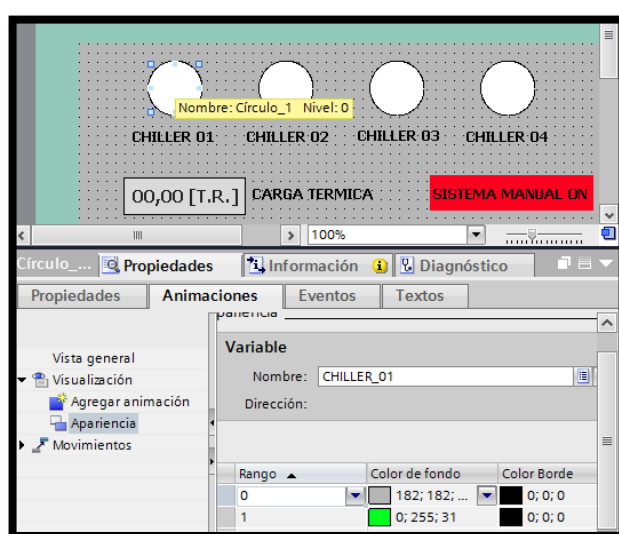


Figura 52. Configuración del indicador

Los indicadores “SISTEMA MANUAL ON”, “SISTEMA AUTO ON” y “BOMBA ON” están asociados a marcas tipo booleano, y su visibilidad se encuentra activa solo cuando el estado de sus respectivas marcas es “TRUE”. Esta configuración se la realiza en la pestaña propiedades -> animaciones -> visibilidad. (figura 53)

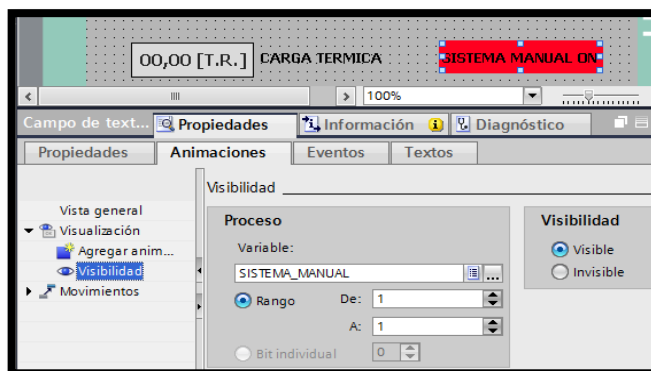


Figura 53. Configuración de visibilidad.

Imagen Producción En esta imagen, es posible visualizar el estado encendido o apagado de las máquinas sopladoras al interior de la planta de producción. Cada una de las máquinas está representada por un indicador. (figura 54)

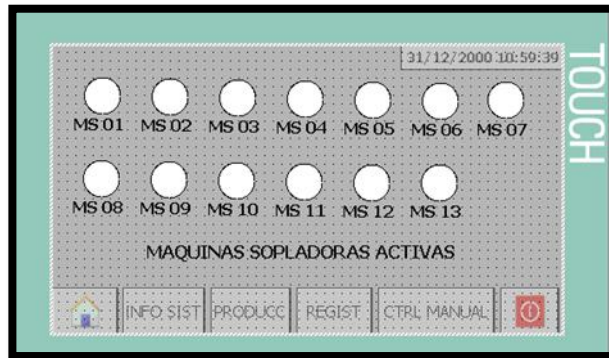


Figura 54. Imagen PRODUCCIÓN

Cada indicador cambia de color según su estado, es decir de color verde si está encendida, o de color blanco si está apagada. Todas las variables asociadas a estos indicadores son marcas de tipo booleano. (figura 55)

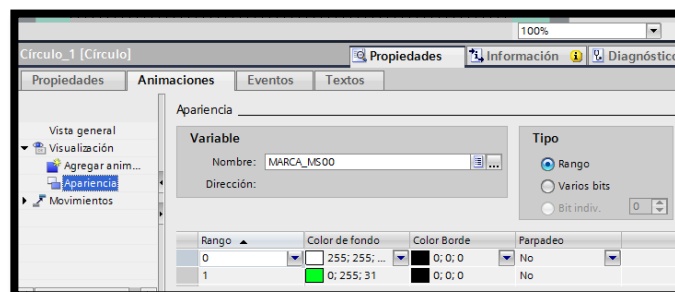


Figura 55 Configuración de indicadores

Imagen Registro. Ventana que permite visualizar el tiempo de funcionamiento diario de cada una de las máquinas sopladoras. El formato de visualización está en formato “time_of_day” (Horas: minutos: segundos). (figura 56)

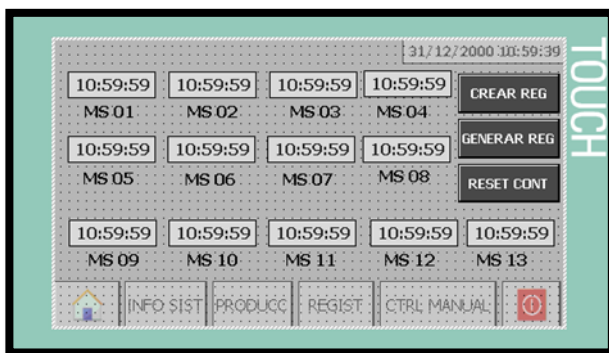


Figura 56. Imagen REGISTRO

Los indicadores están asociados a variables tomados de la base de datos “DataLog_Inplastico” creada en los bloques de programación del PLC S7-1200. En la figura 57 se puede observar que el indicador del tiempo de funcionamiento de la máquina sopladora “00”, está asociada a la variable “TIEMPO_MS_00”, tipo “TOD”, tomada de la base de datos “DATALOG_INPLASTICO”

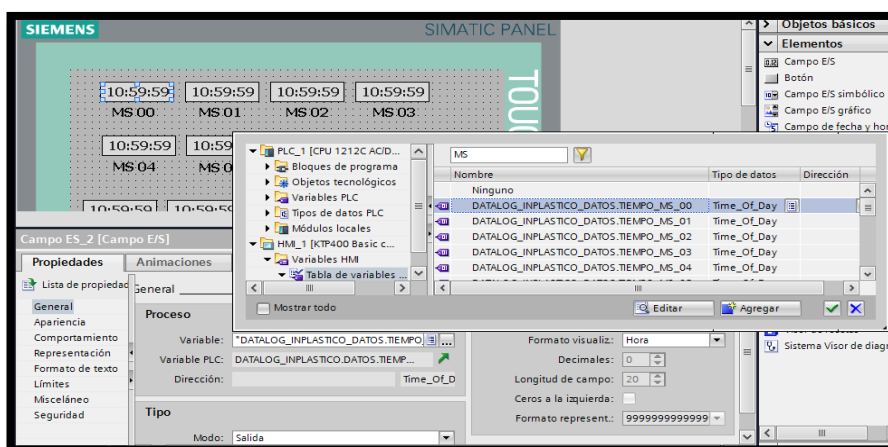


Figura 57. Variable asociada al indicador de tiempo MS 00

c. Comunicación PLC – HMI

El autómata programable Siemens S7-1200 soporta conexiones PROFINET con dispositivos HMI. Tanto el autómata, como el HMI deben formar parte del proyecto, y deben tener direcciones IP distintas para evitar conflictos, como se aprecia en la figura 58.



Figura 58. Conexión entre PLC y HMI

La conexión física se la realiza con un switch Ethernet, ya que además del PLC y el HMI, la red debe ser accesible desde un ordenador PC, para de esta manera tener acceso a la base de datos que contiene los registros de los tiempos de funcionamiento de las máquinas sopladoras. (figura 59)

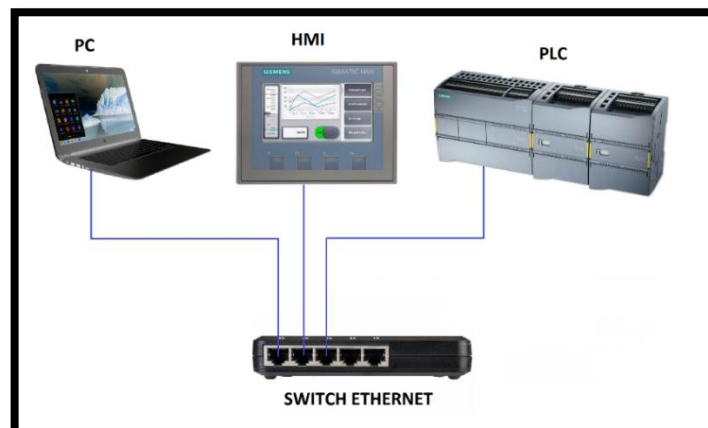


Figura 59 Conexión PROFINET

4.7. Selección de equipos y accesorios hidráulicos

Para la selección de la tubería es necesario conocer el tipo de fluido, el caudal de trabajo, la temperatura del fluido y la presión de trabajo, para nuestro caso estos datos se detallan en la Tabla 13.





Tabla 13.**Datos de trabajo de la tubería de enfriamiento**

VARIABLE	VALOR
Fluido	Agua
Temperatura	5°C
Presión de trabajo	4 bar
Caudal de trabajo	10 m ³ /h

Con estos datos se procede a la selección de la tubería en este caso nos referimos a la Tabla 10 donde se detalla las características de la tubería escogida.

Para la selección de los accesorios hidráulicos que son codos, tees, acoples y las válvulas de globo, es necesario conocer el diámetro de la tubería en este caso es una tubería de plástico cédula 80 con un tamaño nominal de 1^{1/2} in. En la Tabla 14 se detalla la medida y el material de los codos, tees, acoples y las válvulas de globo y la cantidad total de estos que se utiliza en todo el sistema de enfriamiento.

Tabla 14.**Especificaciones de los accesorios hidráulicos utilizados en el sistema**

Accesorio	Material	Medida	Cantidad total en el sistema	Imagen del equipo
Codo de 90°	Acero	1 ^{1/2} in.	19	
Tees	Acero	1 ^{1/2} in.	30	
Acoples	Acero	1 ^{1/2} in.	4	
Válvulas de bola	Acero	1 ^{1/2} in.	46	

4.8. Selección de equipos e instrumentos de control y potencia

Para la selección de los equipos de control y potencia se requirió de las características técnicas de cada uno de estos a continuación se detalla estas características de cada uno de los equipos.

a. PLC S7-1200

Tabla 15. Datos técnicos del PLC S7-1200

Datos técnicos	
	6ES7 212-1BE31-0XB0 CPU 1212C AC/DC/relé
Información general	
Ingeniería con	
• Paquete de programación	STEP 7 V11.0 SP2 o superior
Tensión de alimentación	
24 V DC	
20 V AC	Sí
30 V AC	Sí
Alimentación de sensores	
Alimentación de sensores 24 V	
24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	11 W
Memoria	
Memoria de trabajo	
integrada	50 kbyte
Memoria de carga	
• integrada	1 Mbyte
Respaldo	
• sin pila	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones de bits, típ.	0,085 µs; /instrucción
para operaciones de palabras, típ.	1,7 µs; /instrucción
para aritmética en coma flotante, típ.	2,5 µs; /instrucción
Áreas de datos y su remanencia	
Marcas	
• Cantidad, máx.	4 kbyte; Tamaño del área de marcas
Área de direcciones	
Imagen del proceso	
• Entradas, configurables	1 kbyte
• Salidas, configurables	1 kbyte
Hora	
Reloj	
• Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí

Fuente: (SIEMENS AG, 2009)

b. Contactores

Para el sistema de control se utiliza 4 contactores de 440 V que van instalados en los chillers y 1 contactor que realiza el control de la bomba. (figura 60)



Figura 60. Contactor de 440 V

c. Pantalla HMI

Se instaló una pantalla HMI Siemens. (figura 61)



Figura 61. Pantalla HMI Siemens

d. Selectores y botonera de emergencia

Se utilizó dos selectores de 2 posiciones, un selector de 3 posiciones y un botón de paro de emergencia. (figura 62)



Figura 62. Selectores y botón de paro de emergencia

4.9. Construcción de la red hidráulica de enfriamiento

Para la construcción de la red hidráulica de enfriamiento se realizó los siguientes pasos:

1. Medición de la tubería para los tramos donde se va a colocar la red hidráulica de enfriamiento.
2. Se montó la tubería sobre los soportes ubicado en la parte superior del área de producción. (figura 63)



Figura 63. Montaje de la tubería en el área de producción

3. Se procedió a instalar tanto las válvulas de bola, codos de 90°, acoples y las tees. (figura 64)

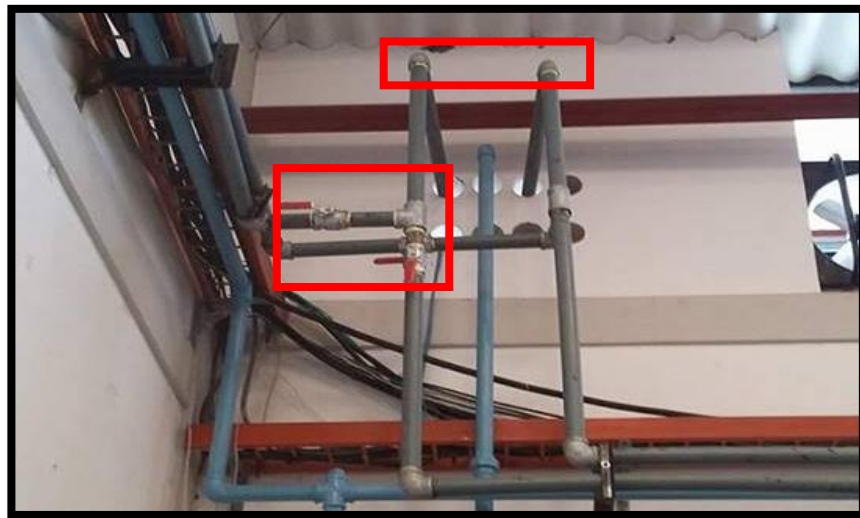


Figura 64. Instalación de accesorios hidráulicos

En la figura 65 se muestra ya la red hidráulica de enfriamiento en el área de producción, donde están ubicadas las sopladoras de plástico.



Figura 65. Red hidráulica de enfriamiento en el área de producción

4.10. Construcción del tablero de control

Para la construcción del tablero de control, se realizó los siguientes pasos:

1. Se realizó la medición y los agujeros donde va instalado los selectores, el paro de emergencia y la pantalla HMI. (figura 66)



Figura 66. Tablero de control en construcción

2. Se ubica las regletas, el riel din, las borneras, el PLC, el contactor, dentro del tablero de control. (figura 67)



Figura 67. Parte interior del tablero de control

3. Se instala los selectores, el paro de emergencia y la pantalla HMI en la parte frontal del tablero de control. (figura 68)



Figura 68. Tablero de control vista frontal

4.11. Implementación del nuevo sistema de enfriamiento

El nuevo sistema de enfriamiento consta de dos partes:

- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico y de control

Sistema hidráulico

El sistema hidráulico consta de toda la parte física de tuberías, accesorios hidráulicos, cuarto de máquinas de los chillers, cabe resaltar que los chillers están ubicados de forma centralizada en un cuarto de máquinas, donde también se encuentran ubicados compresores, secadores y tableros de control, este cuarto se encuentra ubicado en la parte exterior del área de producción, como se observa en la figura 69.



Figura 69. Cuarto de máquinas - parte exterior

En la figura 70 se observa la distribución de los chillers en el interior del cuarto de máquinas.



Figura 70. Distribución de los chillers en el interior del cuarto de máquinas

En la figura 71 se observa la conexión de las electroválvulas en cada uno de los chillers.

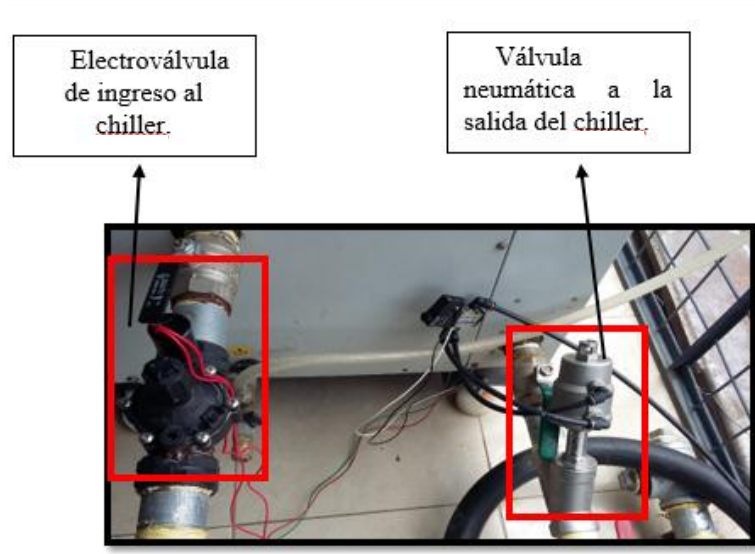


Figura 71. Conexión de las electroválvulas en los chillers

En la figura 72 se observa la red de enfriamiento en la parte exterior, desde el cuarto de máquinas donde están ubicados los chillers hasta el área de producción donde se encuentran las máquinas sopladoras.

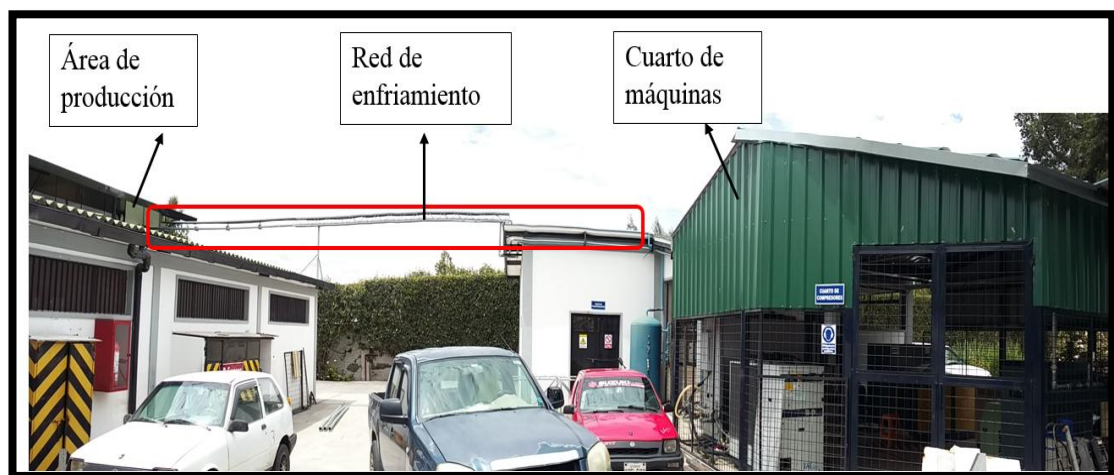


Figura 72. Red de enfriamiento desde el cuarto de máquinas

En la figura 73 se puede observar cómo se encuentra el circuito hidráulico conectado en el área de producción, donde se conectan a cada una de las máquinas sopladoras y a su vez a los moldes.



Figura 73. Conexión de la red de enfriamiento

En la figura 74 se observa cómo está conectado todos los chillers en paralelo a su vez se hace una sola línea general de salida y retorno.

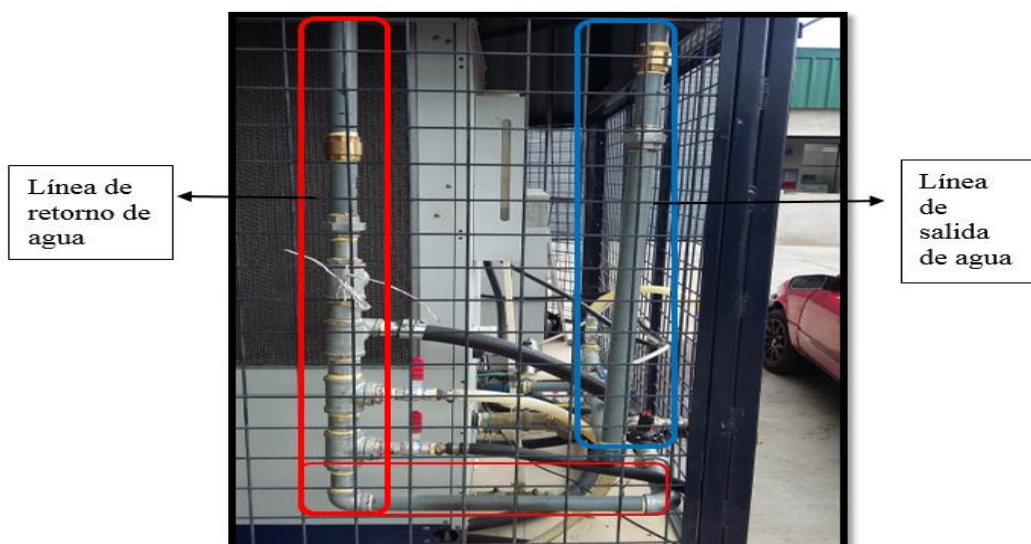


Figura 74. Línea de salida y retorno de agua desde los chillers

En la figura 75 se observa la conexión de la tubería de enfriamiento en los moldes de las sopladoras de plástico.

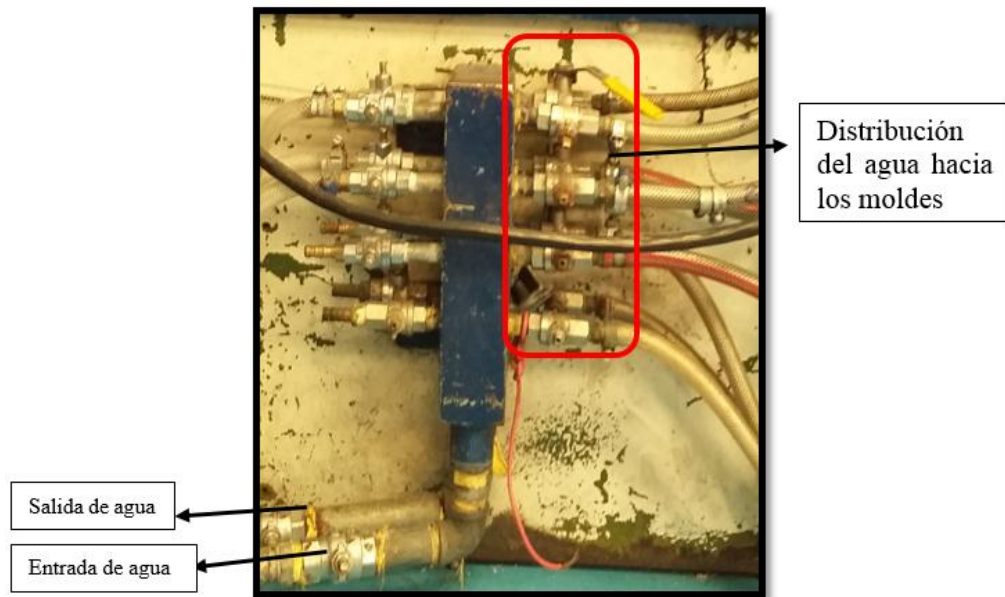


Figura 75. Conexión del agua hacia los moldes

Sistema eléctrico y de control

En el sistema eléctrico y de control consta toda la instalación eléctrica y de equipos eléctricos y electrónicos que se utilizó para la automatización del sistema, a continuación, se detalla la implementación e instalación de estos equipos.

En la figura 76 se observa la alimentación de los chillers, con un voltaje nominal de 440 VAC cada chiller, la alimentación se lo realiza en una caja de distribución que a su vez está conectada a la red principal de la empresa, en esta caja también se encuentran alimentados los compresores y está ubicada en el cuarto de máquinas.

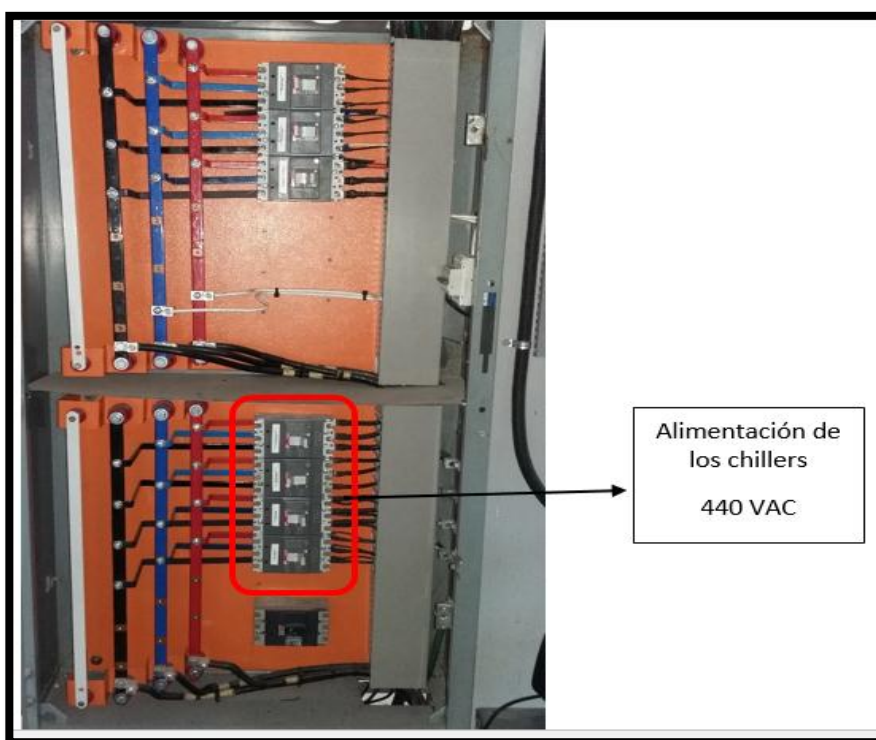


Figura 76. Caja de distribución del cuarto de máquinas

En la figura 77 se observa la alimentación del tablero de control del sistema de automatización, aquí se conectó un voltaje de 220 VAC que fueron conectados desde dos barras de la caja de distribución principal. En el anexo D plano 08, se encuentra el diagrama eléctrico de la alimentación del tablero de control.

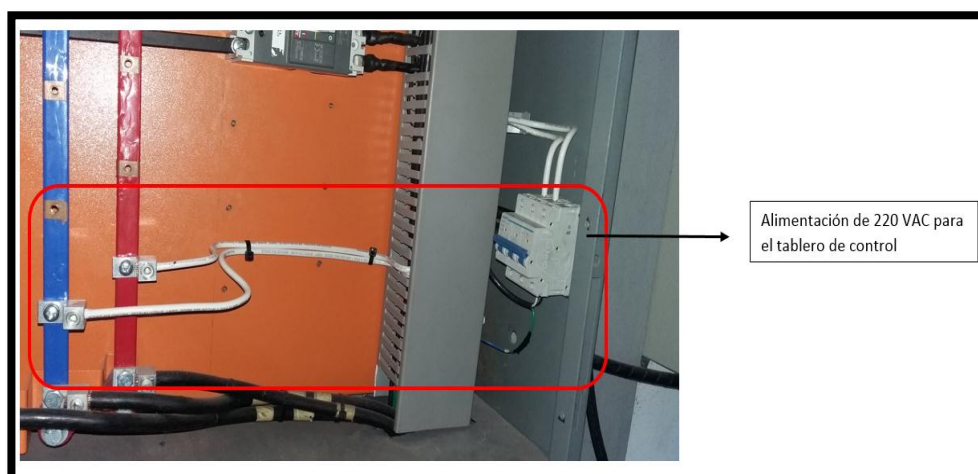


Figura 77. Alimentación de 220 VAC para el tablero de control

En la figura 78 se observa la conexión interior del tablero de control del sistema de automatización, aquí se encuentran conectados tanto el PLC, módulos de entradas, relees de las electroválvulas y el releo de la bomba principal. En el anexo D, se los diagramas eléctricos y de control del sistema automático de enfriamiento.

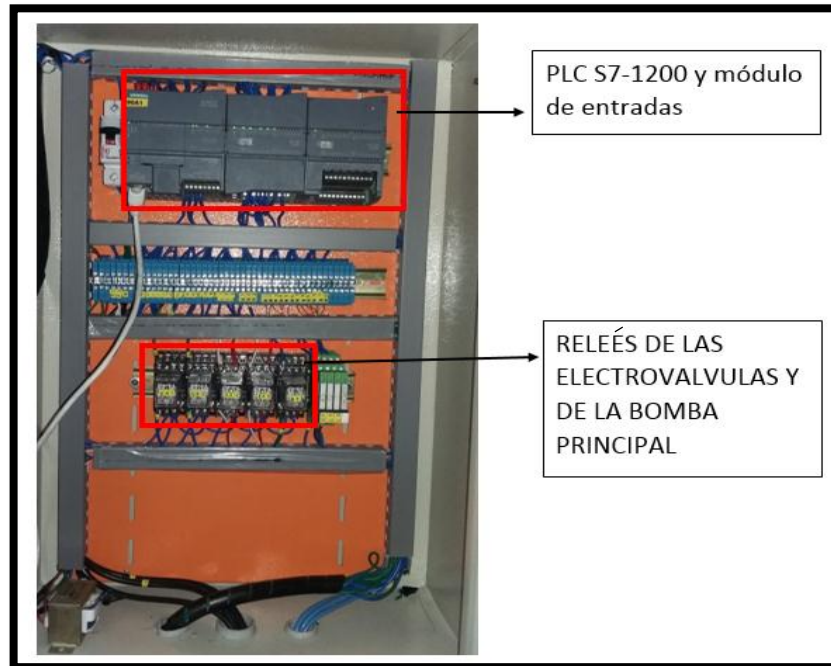


Figura 78. Conexión interna del tablero de control

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Pruebas hidráulicas

Para las pruebas hidráulicas se procedió a medir la presión de la salida de la bomba principal, en este caso como se observa en la figura 79 es de 6 bares.

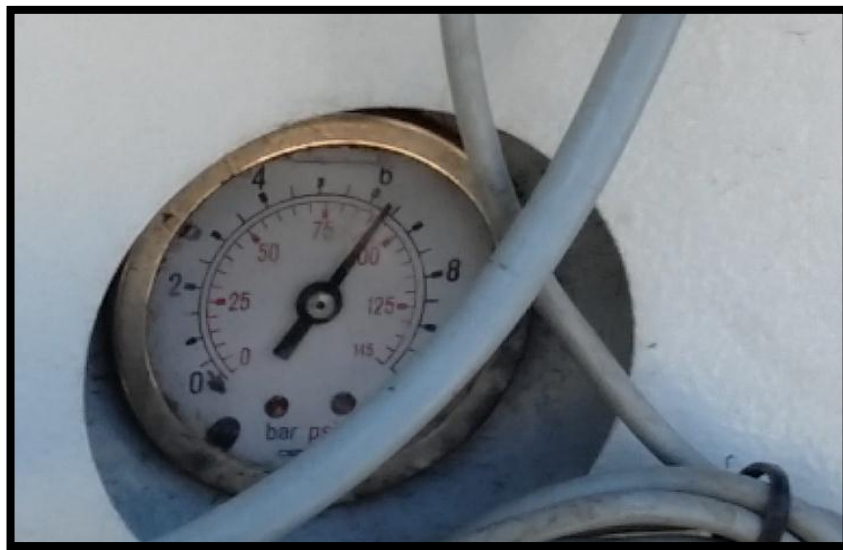


Figura 79. Presión a la salida de la bomba principal

Para hacer una comparación se instaló un manómetro en la parte final de la línea hidráulica de enfriamiento y con un total de ocho máquinas sopladoras en actividad se midió la presión de la línea, en el cual nos dio como resultado un poco más de 5 bares como se muestra en la figura 80.



Figura 80. Presión de la línea de enfriamiento con el sistema encendido

En conclusión, hay una pérdida de presión de promedio 1 bar, esto se debe a las pérdidas que hay en la tubería y accesorios, pero es una presión aceptable ya que la presión de diseño es mínima de 4 bares por lo que se concluye que la presión es la indicada para el óptimo funcionamiento del sistema de enfriamiento.

5.2. Pruebas térmicas

Para las pruebas térmicas se observó la temperatura a la que enfría los chillers, en este caso se hizo un set point en los chillers de 8°C, como se muestra en la figura 81.



Figura 81. Temperatura de set point para el chiller 2

Como se observa en este caso solo está actuando la bomba principal, la temperatura máxima es de 10°C y es cuando se activan los compresores para realizar el

enfriamiento del agua hasta bajar esta temperatura a 8°C, el tiempo que demora en enfriar el agua depende de cuantas máquinas sopladoras están encendidas y trabajando, el tiempo promedio es para realizar el enfriamiento es de dos minutos.

En la figura 82 se observa como al llegar a una temperatura de 10°C se encienden los compresores para enfriar el agua.



Figura 82. Temperatura máxima del sistema de enfriamiento

En conclusión, la temperatura de trabajo está en los rangos de la temperatura de diseño que es de 9°C y una máxima de 12°C, por lo que el sistema trabaja en condiciones óptimas.

5.3. Pruebas eléctricas y de control

Para las pruebas de control se observó las máquinas sopladoras que trabajan el área de producción, en este caso se observó que trabajaban seis máquinas sopladoras como se muestra en la figura 83.

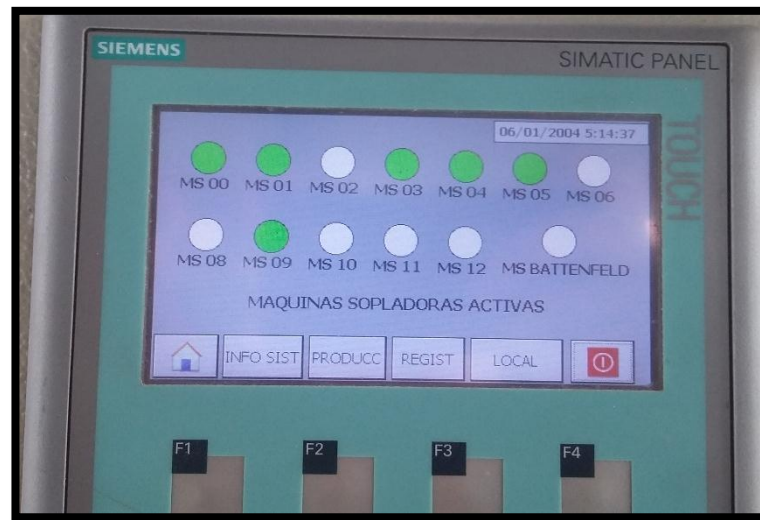


Figura 83. Máquinas sopladoras encendidas

Para las pruebas eléctricas se instaló el analizador de energía *FLUKE 1735 Power Logger*, en el tablero de distribución principal para proceder a medir los voltajes y corrientes de los chillers instalados como se muestra en la figura 84.

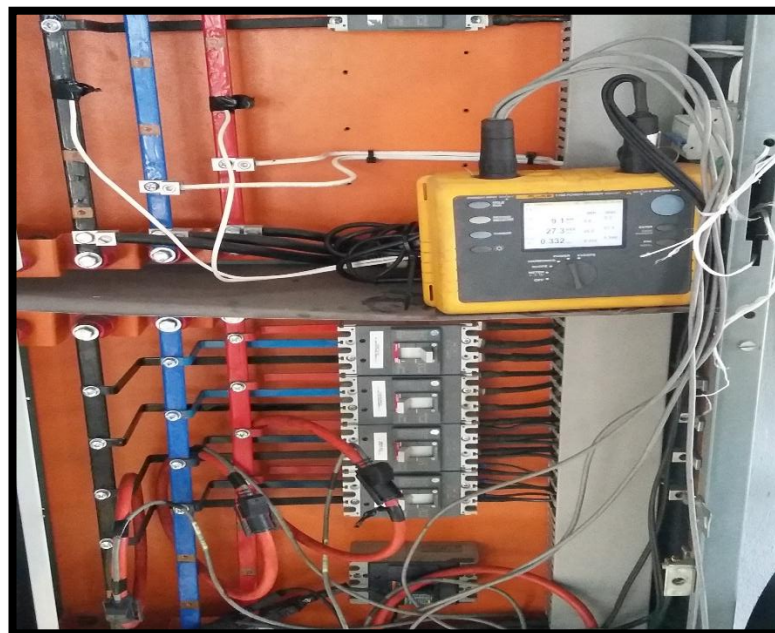


Figura 84. Medición de voltajes y corrientes

5.4. Modelado en CFD de la matriz de soplado en ANSYS

Análisis de transferencia de calor

Se simula el paso del fluido (H_2O) que pasa a través de un molde de aluminio a una temperatura promedio de $7^\circ C$ y a una velocidad de 7.31 m/s con una presión manométrica de 3 bares; el objetivo es determinar la temperatura del fluido a la salida del molde y cuál es la transferencia de calor que hay entre el molde y el fluido, para lo cual se debe tener un modelo CAD del molde, los datos de temperatura, velocidad y presión del fluido y las características técnicas tanto del material del molde como las propiedades físicas del fluido.

En la figura 85 se muestra la matriz de cuatro envases de plástico de un volumen de 500 ml, con un peso neto de 30 g, la matriz está fabricada en duraluminio en la parte del molde, además de un acero de transmisión A36 para la parte del bloque y un acero de cementación E410, este último se utiliza para el tratamiento térmico en los bujes y guías.

Las propiedades del duraluminio son:

- Buena mecanización.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Buena resistencia a la corrosión.

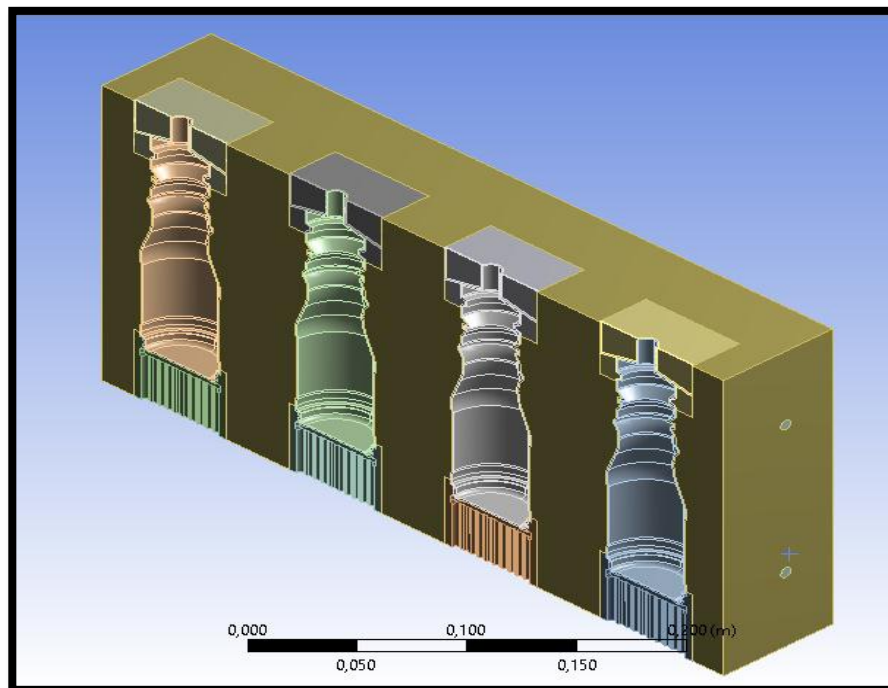


Figura 85. Matriz de envases de plástico realizada en SOLIDWORKS

Para la simulación vamos a seguir los siguientes pasos:

1. Abrir el software Ansys. (figura 86)

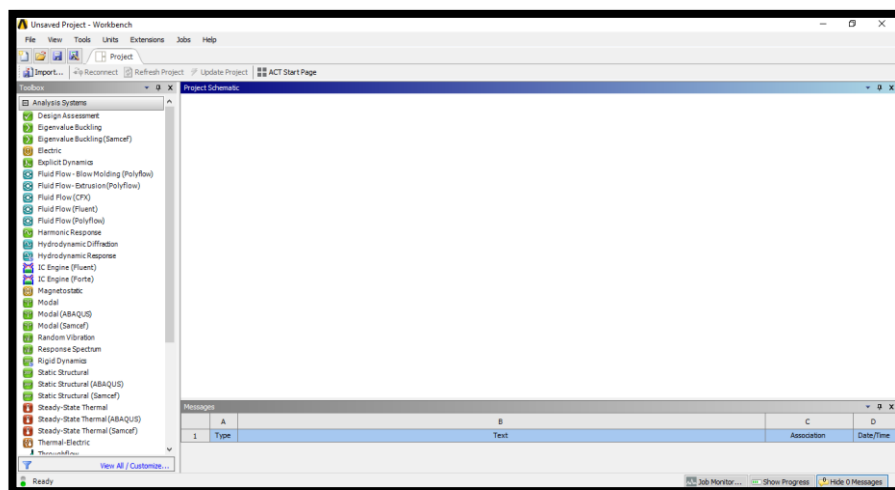


Figura 86. Interface del software Ansys

2. Seleccionar el módulo Fluid Flow (CFX). (figura 87)

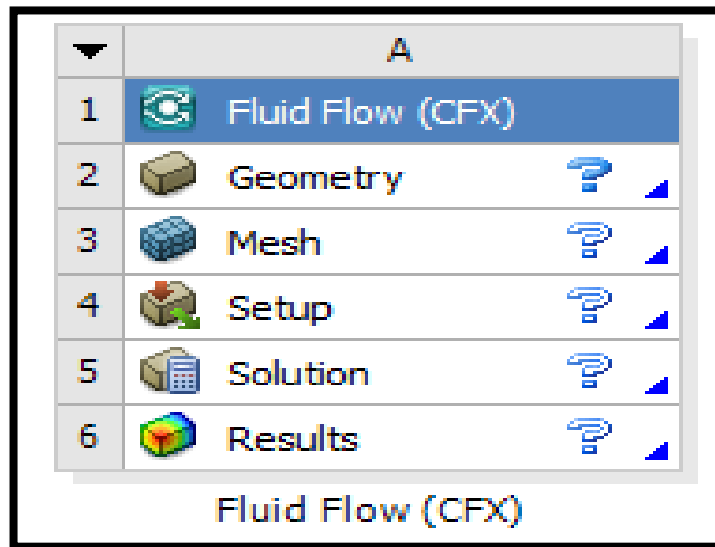


Figura 87. Módulo Fluid Flow (CFX) de Ansys

a. Mallado para el modelo de refrigeración

Como describe (Venegas, 2012) el criterio de mallado para el modelo de refrigeración se basa en los valores máximos y mínimos correspondientes a la relación de aspecto, los cuales deben encontrarse entre 30 y 50, ya que, si el mallado se encuentra fuera de este rango, se pueden presentar dificultades de convergencia.

Para el mallado del ensamble en general, se modifica los valores de longitudes de los elementos del mallado (figura 88), con un mínimo de 0.32 [mm] y un máximo de 12.06 [mm], cuya relación de aspecto es de 37.68, mismo que se encuentra dentro del rango de relación de aspecto.

En función a los valores generales de dimensionamiento del mallado, se establece un refinamiento de la malla en la superficie correspondiente a la interfaz sólida líquida, en la cual se realiza la transferencia de calor desde el molde, hacia el agua refrigerante.

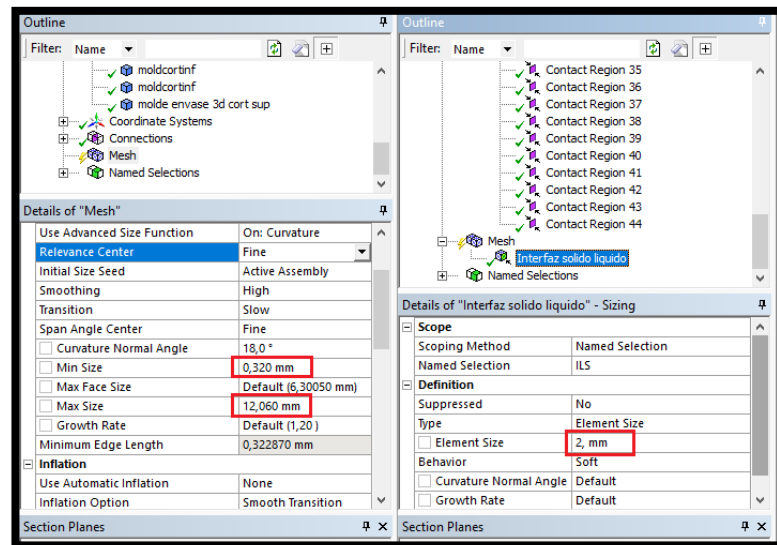


Figura 88. Configuración de la malla

Otro criterio general del mallado para convergencia es la calidad de los elementos de la malla. (Venegas, 2012) describe que el valor mínimo debe ser mayor a 0.2 y el promedio mayor a 0.8, en lo posible. Son admisibles elementos de mala calidad en zonas en las cuales no considere el análisis de resultados. En la figura 89 se observa la calidad de los elementos.

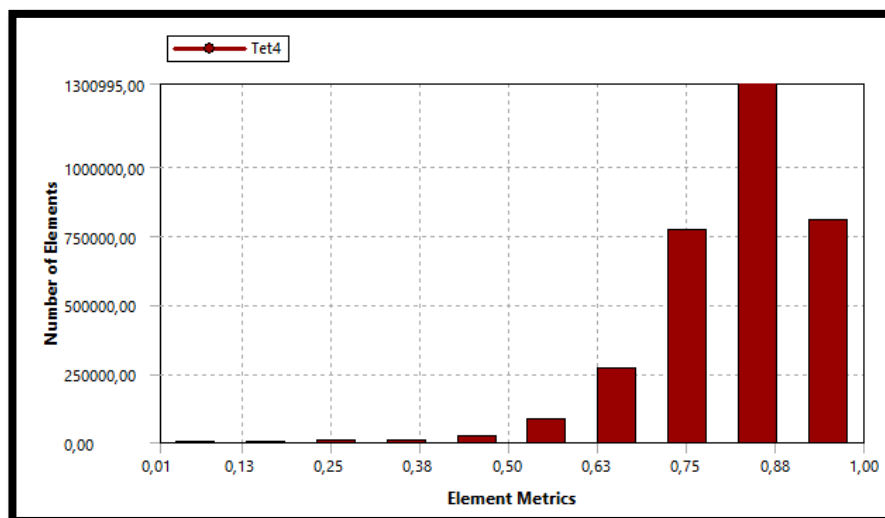


Figura 89. Calidad de los elementos

El resultado de la aplicación de los criterios de mallado en el ensamble correspondiente al molde a analizar, se lo observa en la figura 90.

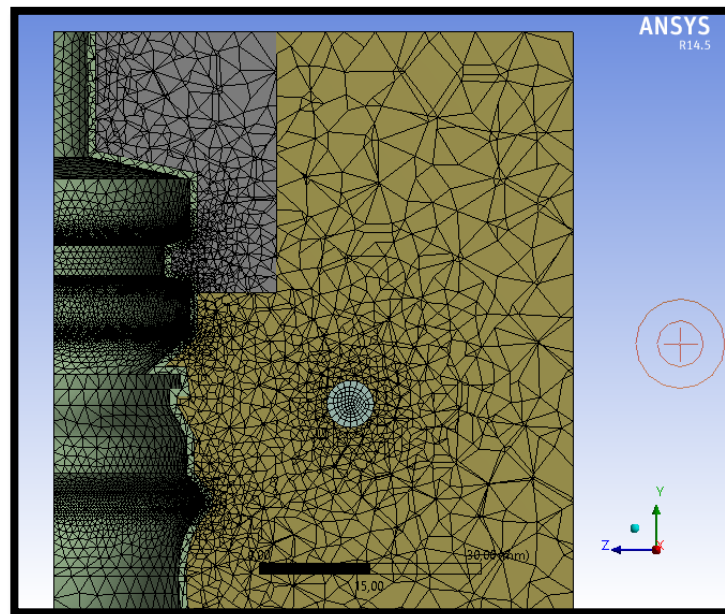


Figura 90. Mallado de elementos

b. Aplicación de condiciones de borde

Es necesario definir las regiones de contacto entre los elementos constituyentes del sistema a analizar. La transferencia de calor se realiza desde el envase de polietileno extruido, en contacto con el bloque de aluminio y los cortadores de acero, hacia el agua fría que circula a través del molde.

Se asigna a cuatro regiones de contacto, correspondientes a las superficies entre el envase y los cortadores superiores (figura 91).

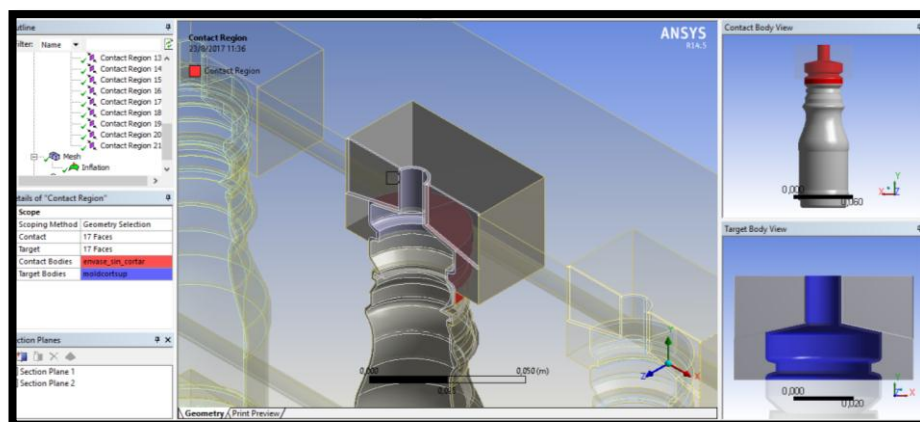


Figura 91. Región de contacto envase-cortador superior

En la figura 92, se observa una de las cuatro regiones de contacto correspondientes a las superficies en común entre el envase y el cortador inferior.

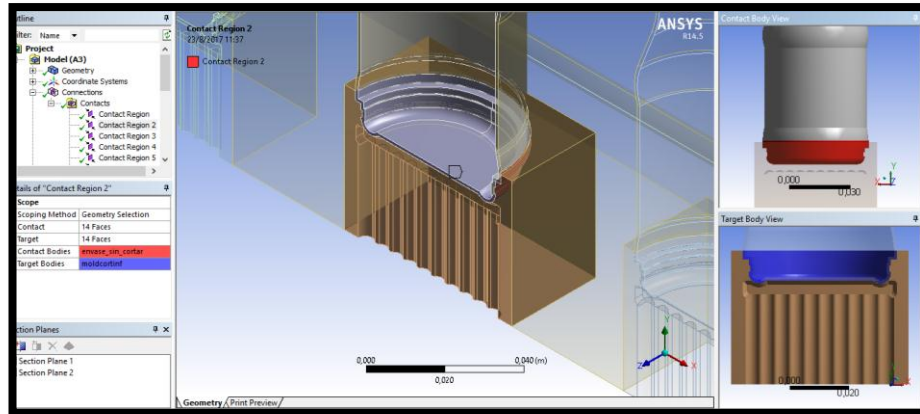


Figura 92 Región de contacto envase-cortador inferior

La región de contacto correspondiente a las superficies en común entre el envase y el molde, están representadas en la figura 93.

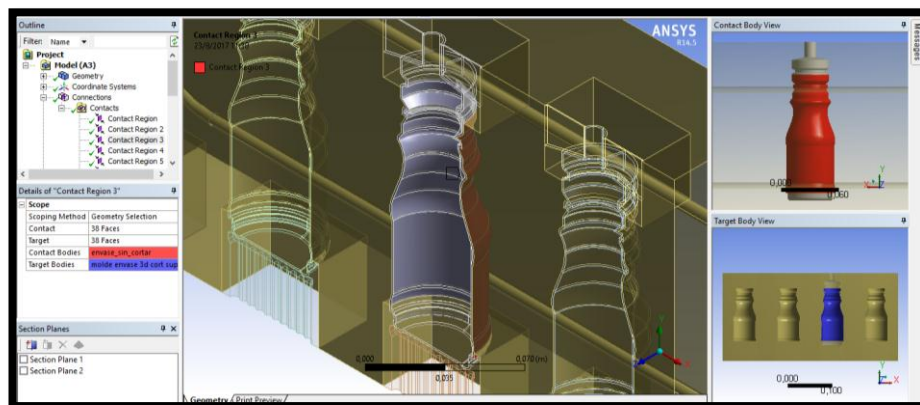


Figura 93. Región de contacto envase-bloque de aluminio

En la figura 94, se observa la región de contacto entre la superficie de la cara interior de la tubería en el molde, y la cara exterior del “fluid domain”

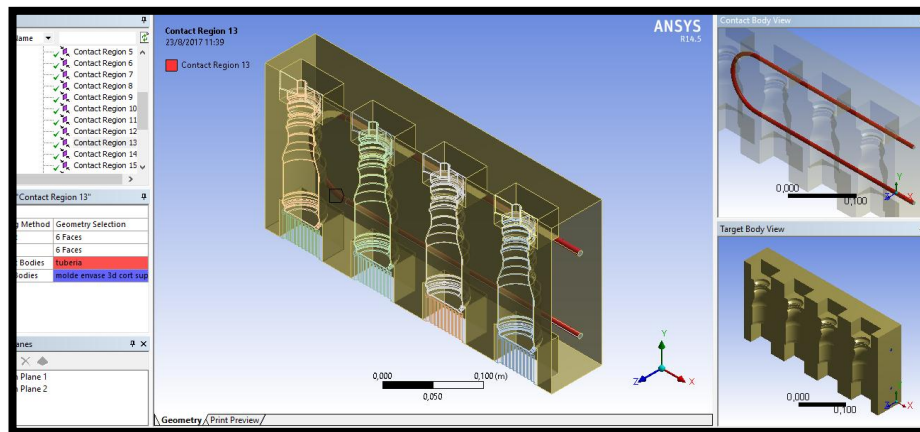


Figura 94. Región de contacto bloque de aluminio-fluido

En la configuración del tipo de análisis, se elige la opción transiente, y se asigna las condiciones de borde implícitas en el estudio, mismas que se describen en la figura 95.

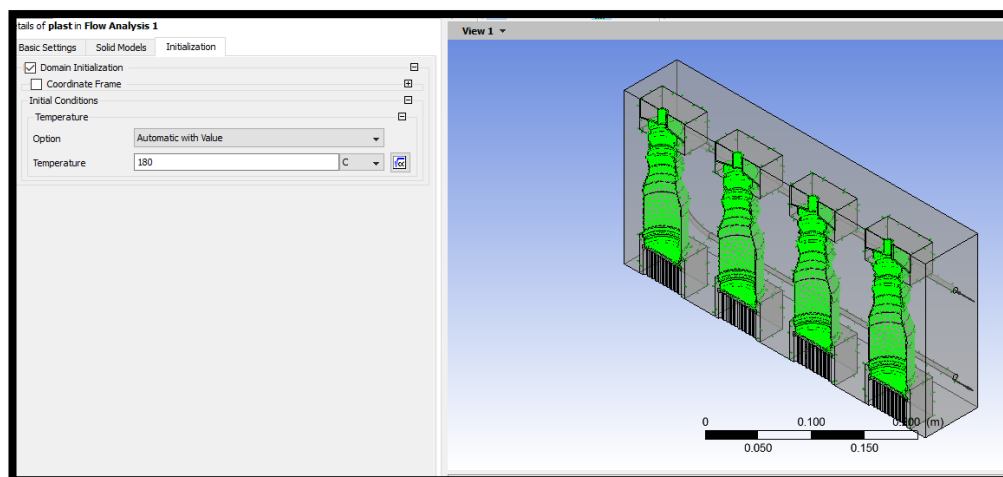


Figura 95. Configuración de temperatura inicial de los envases de polietileno

Se configura las condiciones de borde del agua refrigerante, tales como temperatura, velocidad y presión. (figura 96)

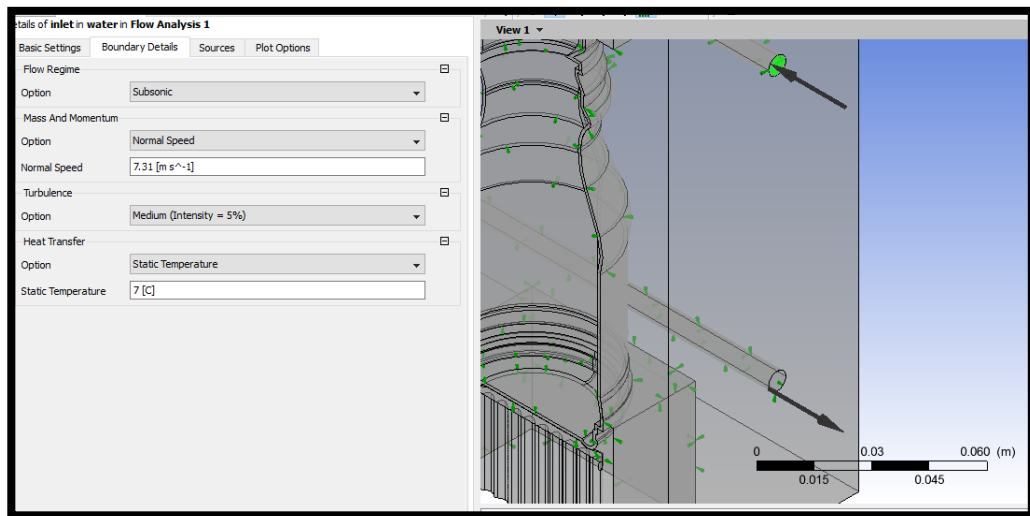


Figura 96. Asignación de condiciones de borde al agua refrigerante

Convergencia y resultados

En la figura 97, se observa que los calores RMS se encuentran en el rango $1E^{-5}$, la convergencia es aceptable.

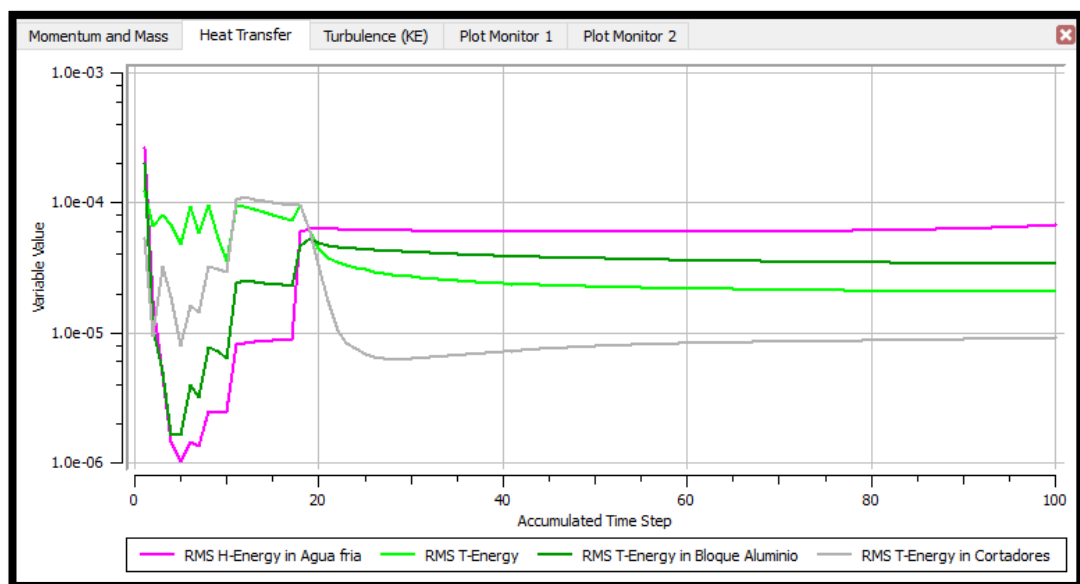


Figura 97. Convergencia de transferencia de calor generado en el módulo CFX

La figura 98 representa el flujo de calor de los elementos analizados, se observa que el sistema tiende al equilibrio térmico.

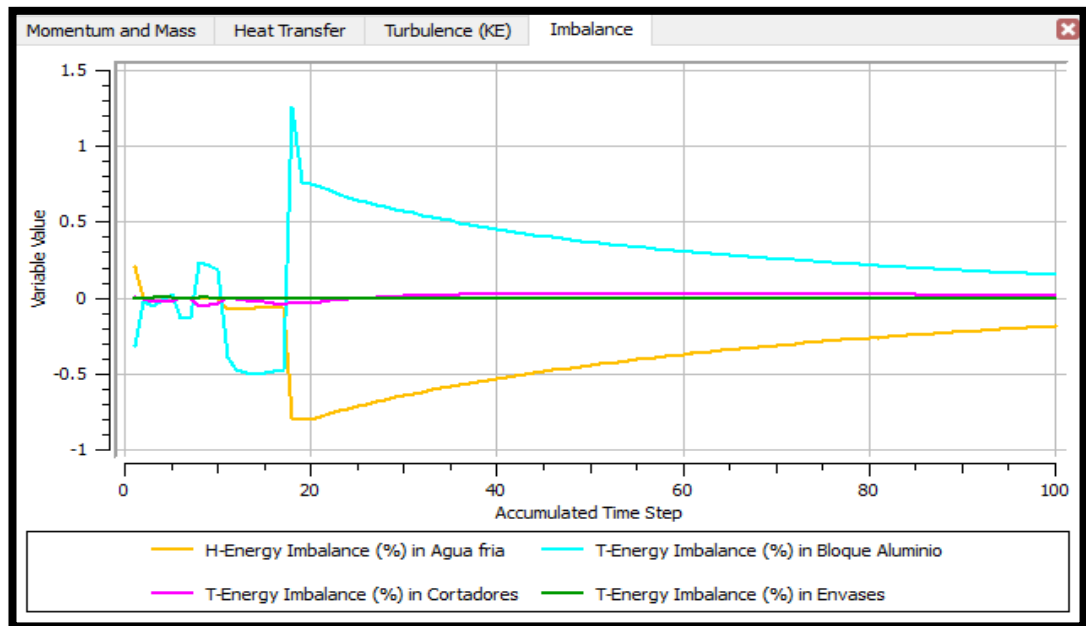


Figura 98. Desequilibrio de calor para el dominio del molde, envases y agua

En la figura 99, el valor de temperatura del agua a la salida del molde es de 281.46 grados kelvin, es decir 8.4 grados centígrados, lo que representa una variación de temperatura de 1.4 °C entre la entrada y salida del agua.

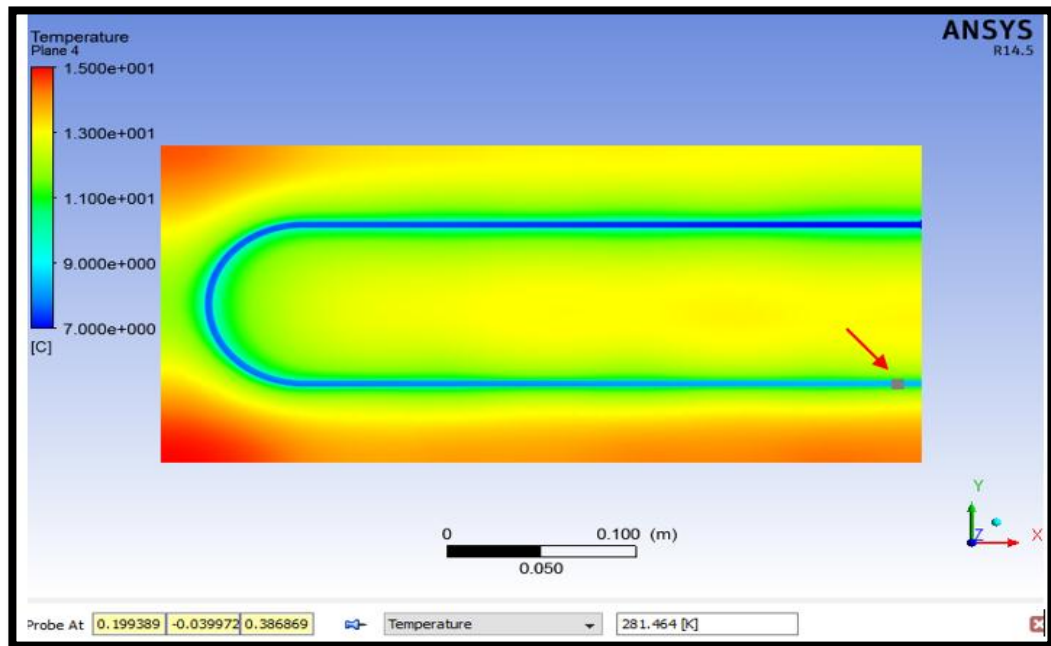


Figura 99. Temperatura del agua a la salida del molde

Los valores y rangos de temperatura del bloque de aluminio, envases y cortadores, se las observa en las figuras 100, 101 y 102 respectivamente

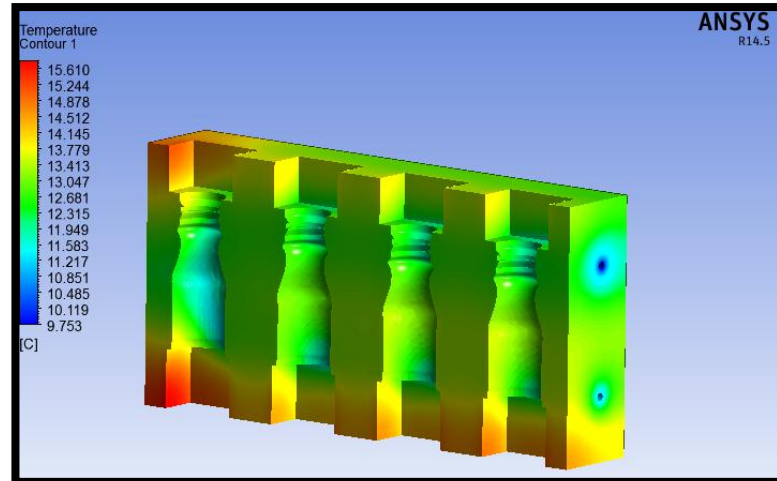


Figura 100. Temperatura del bloque de aluminio

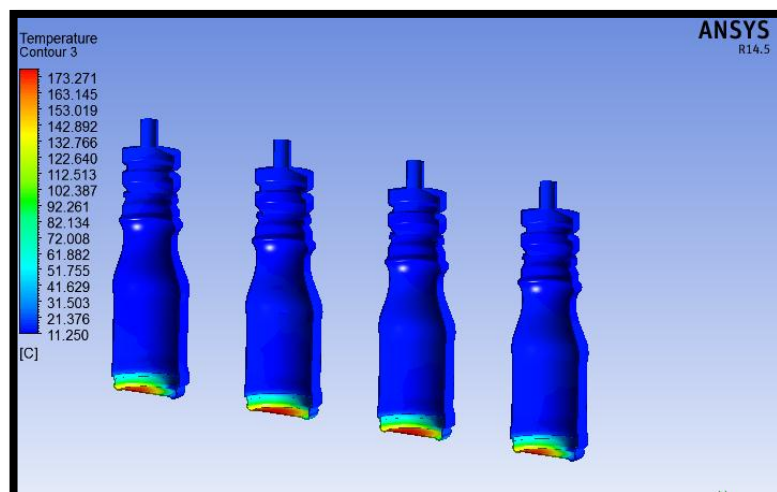


Figura 101. Temperatura envases de polietileno

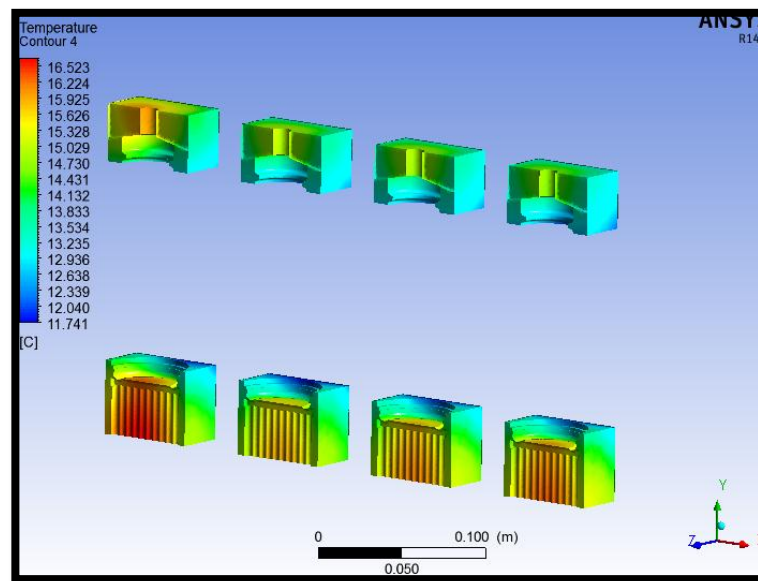


Figura 102. Temperatura de los cortadores

La figura 103 corresponde a los valores y rangos de flujo de calor de los envases, se aprecia que los valores son negativos, ya que el calor de los envases es transferido por conducción al agua fría que circula por el molde.

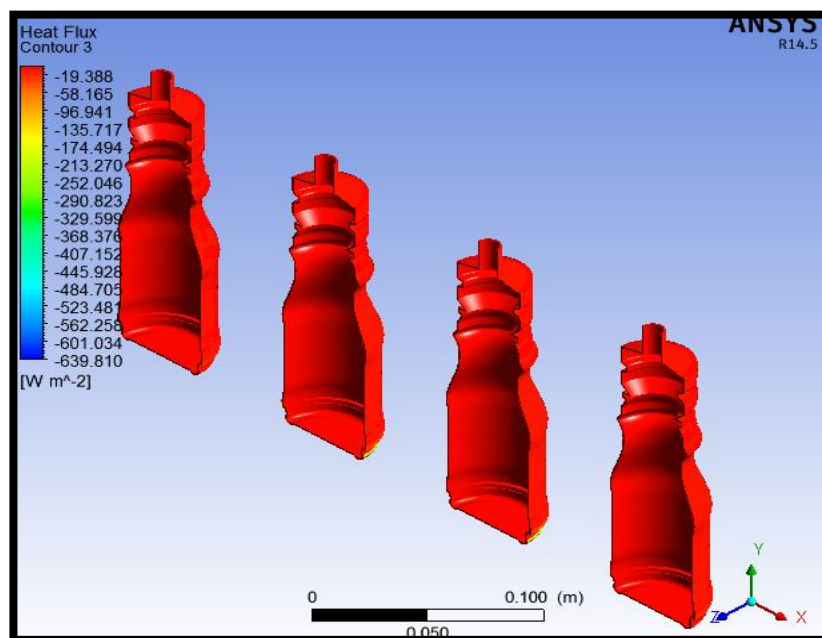


Figura 103. Flujo de calor en las paredes de los envases

Los valores de flujo de calor correspondientes al dominio del agua fría, se los observa en la figura 104.

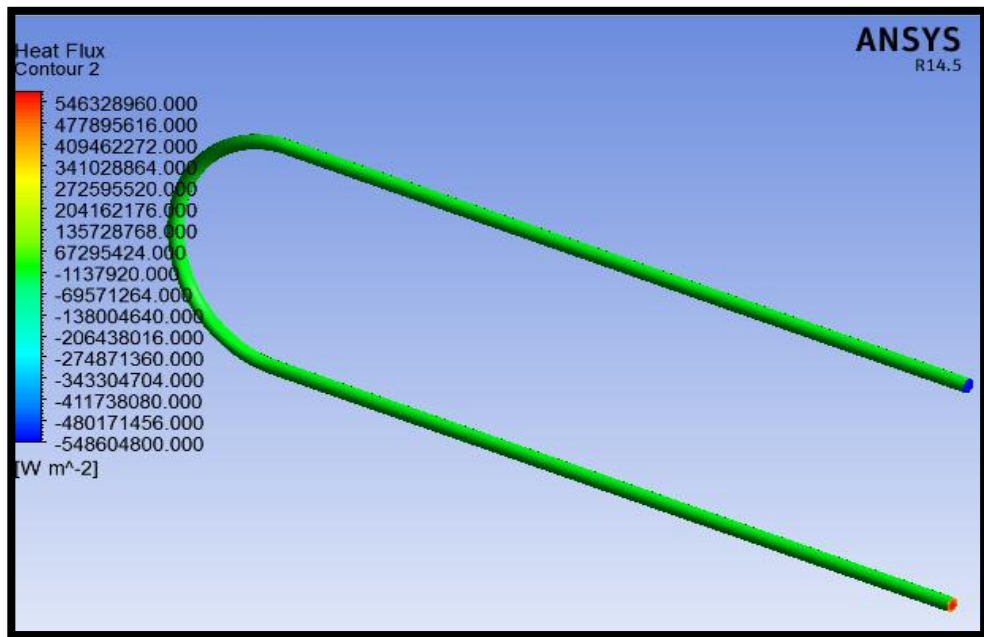


Figura 104. Flujo de calor correspondiente al dominio del agua fría

5.5. Análisis del consumo energético

La realización de las lecturas de energía correspondientes a los equipos de enfriamiento, se la realizó con tres configuraciones de conexión. Estas lecturas se las realizó con el analizador de energía AEMC 3945. (Figura 105)



Figura 105. Analizador AEMC 3945

Para el análisis de los datos obtenidos, se utilizó el software libre DataView,



Figura 106. Conexión del analizador de energía

Configuración chiller 01 encendido

La lectura correspondiente al consumo de energía del chiller 01 (TAE EVO 201), inició a las 18:20 del 15/11/2017 y finalizó a las 08:30 del 16/11/2017.

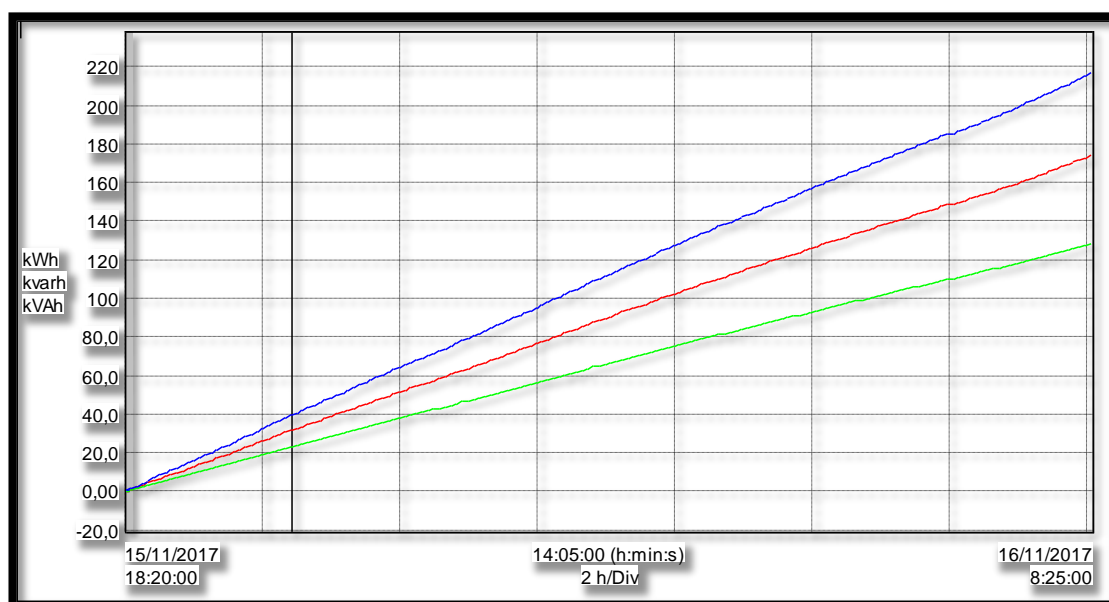


Figura 107. Curva de consumo energético chiller 01

Se obtuvo como resultado, un valor promedio de consumo de 12.45 [kWh], y realizando un análisis de consumo energético con las mismas consideraciones del análisis del consumo energético previo al rediseño, se obtiene:

$$E_{01} = 12,45 \text{ [kWh]}$$

$$E_{01 \text{ mes}} = E_{01} * 24[h] * 30[\text{días}] \quad [\text{Ec. 49}]$$

$$E_{01 \text{ mes}} = 12,45 * 24[h] * 30[\text{días}]$$

$$E_{01 \text{ mes}} = 8964 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right]$$

Dónde:

E_{01} : Energía del chiller 01

Configuración chiller 02 encendido

La lectura correspondiente al consumo de energía del chiller 02 (TAE EVO 161), inició a las 09:05 del 16/11/2017 y finalizó a las 12:55 del 16/11/2017.

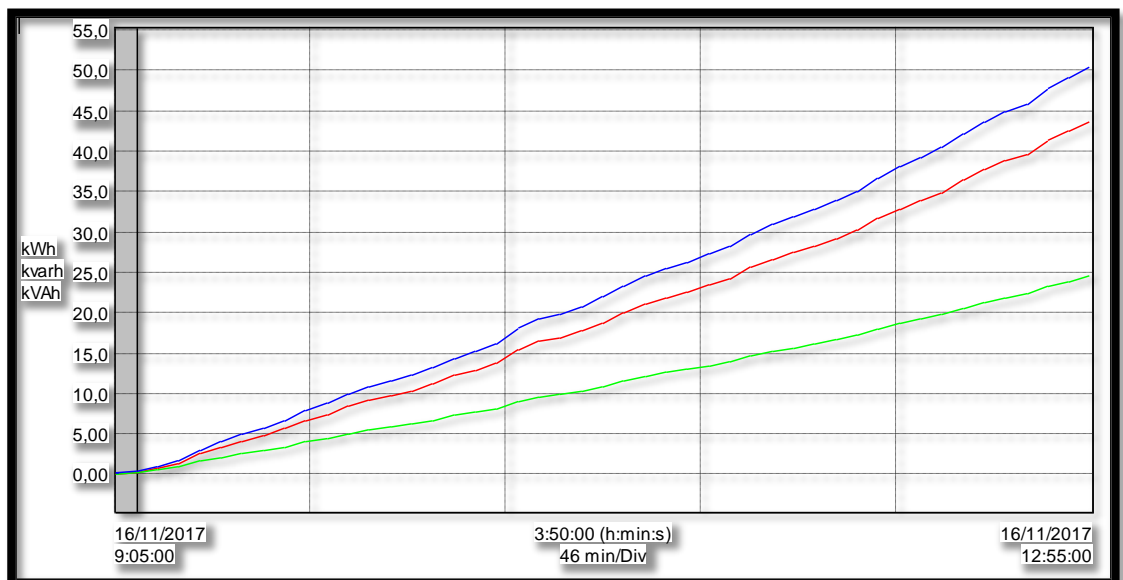


Figura 108. Curva de consumo energético chiller 02

Se obtuvo como resultado, un valor promedio de consumo de 10,89 [kWh], y realizando un análisis de consumo energético con las mismas consideraciones del análisis del consumo energético previo al rediseño, se obtiene:

$$E_{02} = 10,89 \text{ [kWh]}$$

$$E_{02 \text{ mes}} = E_{01} * 24[h] * 30[\text{días}] \quad [\text{Ec. 50}]$$

$$E_{02 \text{ mes}} = 10,89 * 24[h] * 30[\text{días}]$$

$$E_{02 \text{ mes}} = 7846.2 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right]$$

Dónde:

E_{02} : Energía del chiller 02

Configuración chiller 01 y chiller 02 encendidos

La lectura correspondiente al consumo de energía de los chillers 01 y 02, inició a las 13:05 del 16/11/2017 y finalizó a las 15:05 del 16/11/2017.

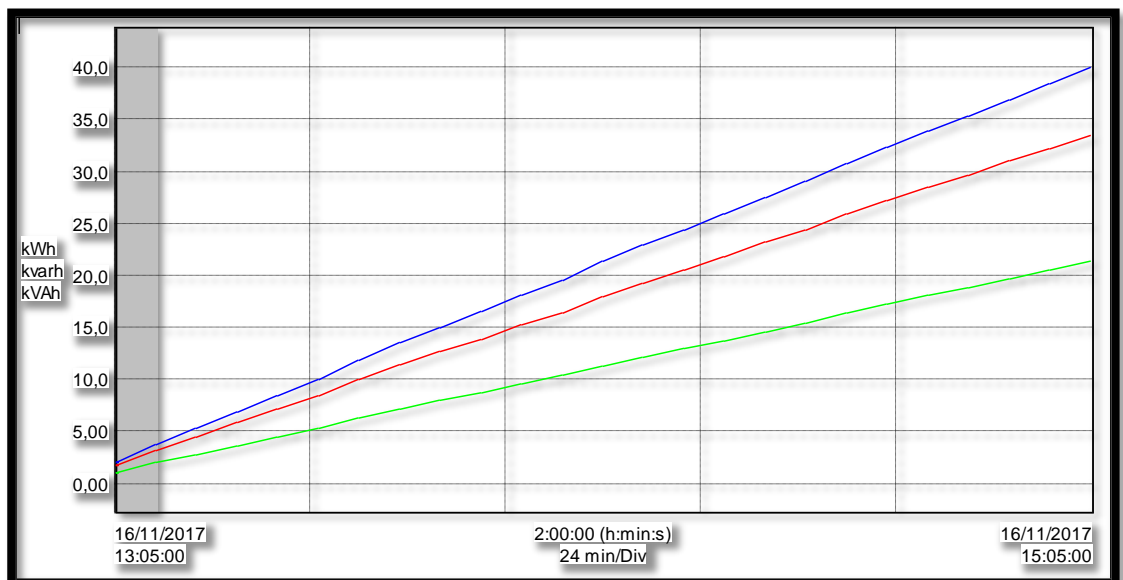


Figura 109. Curva de consumo energético chiller 01 y chiller 02

Se obtuvo como resultado, un valor promedio de consumo de 16,775 [kWh], y realizando un análisis de consumo energético con las mismas consideraciones del análisis del consumo energético previo al rediseño, se obtiene:

$$E_{01 \text{ y } 02} = 16,775[kWh]$$

$$E_{01 \text{ y } 02 \text{ mes}} = E_{01} * 24[h] * 30[\text{días}] \quad [\text{Ec. 51}]$$

$$E_{01 \text{ y } 02 \text{ mes}} = 16,775 * 24[h] * 30[\text{días}]$$

$$E_{01 \text{ y } 02 \text{ mes}} = 12078 \left[\frac{kWh}{mes} \right]$$

Dónde:

$E_{01 \text{ y } 02}$: Energía del chiller 01 y chiller 02

5.6. Validación de la hipótesis

Para la validación de la hipótesis es necesario comparar los resultados obtenidos en el análisis previo del consumo energético y los resultados obtenidos en el análisis después de haber implementado el nuevo sistema de enfriamiento, para ello se realiza la siguiente operación:

$$Ahorro = \left(1 - \frac{\text{Consumo actual} \left[\frac{kWh}{mes} \right]}{\text{Consumo antes} \left[\frac{kWh}{mes} \right]} \right) \times 100\% \quad [\text{Ec. 52}]$$

$$Ahorro = \left(1 - \frac{12078 \left[\frac{kWh}{mes} \right]}{14929,34 \left[\frac{kWh}{mes} \right]} \right) \times 100\%$$

$$Ahorro = 19,09 \%$$

Como podemos observar existe un ahorro de promedio 19% lo que representa que la reducción en el consumo energético es significativa.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Con la implementación del nuevo sistema automático de enfriamiento de las matrices de las máquinas sopladoras de plástico, se consiguió un ahorro del 19% del consumo energético de los chillers.
- A partir de la ubicación de los chillers en un cuarto centralizado de máquinas, permitió reducir la temperatura ambiente en el área de producción a un promedio de 20°C, y así los trabajadores desarrollen sus actividades en un clima más fresco y adecuado.
- Mediante el registro de tiempo de las máquinas sopladoras de plástico se logró la optimización de los tiempos de producción consiguiendo así una reducción del costo de producción de los envases de plástico.
- Con el nuevo diseño del sistema automático de enfriamiento se logró una ampliación en el área de producción, por lo que se montó dos nuevas máquinas sopladoras llegando así a aumentar la producción de envases de plástico.
- Con la simulación de la transferencia de calor realizada en ANSYS, se concluye que los valores de las variables físicas tanto de presión, temperatura y caudal son las idóneas para el correcto enfriamiento de las matrices de soplado y para el acabado de los envases.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar los niveles de presión de los compresores de los chillers para el buen enfriamiento del agua. El buen enfriamiento del agua ayuda que los envases de plástico tengan un buen acabado, garantizando así la calidad del producto.
- Se recomienda la implementación de una bomba auxiliar que trabaje en forma paralela a la bomba principal, esto para en caso de daño se pueda realizar el mantenimiento respectivo.
- Se recomienda la instalación de un tanque centralizado presurizado para el llenado de los chillers y evitar alarmas por bajo nivel de agua, lo que puede ocasionar el no enfriamiento de las matrices.
- Se recomienda utilizar electroválvulas en las entradas de línea de enfriamiento de las matrices de soplado, con el objetivo de reducir las caídas de presión en la línea principal.
- Cambiar las propiedades físicas del líquido refrigerante y observar los resultados de la transferencia de calor entre el nuevo líquido refrigerante y las paredes de las matrices de soplado en la simulación de ANSYS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuerne. (17 de febrero de 2008). *Departamento de Tecnología IES La Ería*.

Recuperado el 12 de junio de 2017, Obtenido de <http://boj.pntic.mec.es>

Almendariz, G., & Lara, D. (2014). *Diseño, construcción y pruebas de un chiller para el laboratorio de transferencia de calor*. Riobamba: ESPOCH.

ALTEC S.A. (2013). *www.altecdust.com*. Recuperado el 14 de junio de 2017,

Obtenido de <http://www.altecdust.com>

CATÁLOGO SIEMENS. (2017). *SIEMENS*. Recuperado el 16 de junio de 2017,

Obtenido de <http://www.siemens.com>

Capela, F. (01 de noviembre de 1995). *interempresas*. Recuperado el 20 de junio de

2017, Obtenido de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/3629-Moldeo-por-soplado-equipos-y-accesorios.html>

Cerda, M. (diciembre de 2012). *http://martinfix.blogspot.com*. Recuperado el 23 de

junio de 2017, Obtenido de <http://martinfix.blogspot.com>

CLA-VAL. (julio de 2014). *CLA- VAL Canadá*. Recuperado el 25 de junio de

2017, Obtenido de www.cla-val.com

Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial*. México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor.

De León, M. (7 de Septiembre de 2014). *Informes MK*. Recuperado el 01 de julio de

2017, Obtenido de <http://informes-mk2013b-miguedeleon.blogspot.com>

DEPARTAMENTO DE ELECTRICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE

CÓRDOVA. (15 de Junio de 2015). *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y*

Naturales. Recuperado el 05 de julio de 2017, Obtenido de

<http://www.efn.uncor.edu>

- Dorán, P. (1988). *Principios de Ingeniería de los Bioprocesos*. Acribia.
- EcoChillers*. (Junio de 2013). Obtenido de <http://ecochillers.com/Que-es-un-Chiller>
- Eléctrica Industrial Elizondo. (2016). <http://www.electricalizondo.com>. Recuperado el 14 de abril de 2017, Obtenido de <http://www.electricalizondo.com>
- Empire Barkey*. (8 de Junio de 2009). Recuperado el 08 de julio de 2017, Obtenido de <http://www.empirebake.com>
- Fernández, J. M. (2012). *Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- García, A. (2010). *Sistemas de automatización, mando y control de máquinas*. Huelva: Universidad de Huelva.
- Golato, M. (Agosto de 2016). *Universidad Nacional de Tucumán*. Recuperado el 05 de mayo de 2017, Obtenido de <https://catedras.facet.unt.edu.ar>
- Holman, J. (1999). En *Transferencia de calor* (pág. 30). México: Compañía Editorial Continental.
- Holman, J. P. (1999). *Transferencia de calor*. México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Education.
- Karlekar, B. V. (1996). *Trasnferencia de calor*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A.
- Laboratorio de Producción. (21 de febrero de 2008). *Escuela Colombiana de Ingeniería*. Obtenido de <http://www.escuelaing.edu.co>
- Lesur, L. (2011). *Manual de moldeo de plásticos*. Mexico: Trillas S.A.

- Maza, A. (2009). *Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío*. Puebla: Universidad de las Américas Puebla.
- Michaeli, W., & Brümmer, T. (Abril de 2008). *www.plastico.com*. Recuperado el 15 de julio de 2017, Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/Reduccion-del-tiempo-de-enfriamiento-en-moldeo-por-soplado+3062048>
- MICROAUTOMATION. (9 de Julio de 2010). *MICRO CAPACITACIÓN*. Recuperado el 15 de mayo de 2017, Obtenido de www.micro.com.ar
- Mink, W. (2004). *El plástico en la industria*. México: Ediciones G. Gili, S.A. de C.V.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación de México, S.A de C.V.
- Nieto, A. (10 de Enero de 2014). *Cero Grados Celsius*. Recuperado el 17 de julio de 2017, Obtenido de <http://www.cerogradoscelsius.com>
- OMAX. (2012). Recuperado el 20 de julio de 2017, Obtenido de <http://www.omaxmould.com/spanish/Molde-de-Soplado-p190.htm>
- Pérez, E., Acevedo, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- PIXSYS. (enero de 2016). *Pisys Electronics*. Recuperado el 25 de mayo de 2017, Obtenido de <http://www.pixsys.net>
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona.
- Ríos, F. (Noviembre de 2013). <http://iaci.unq.edu.ar/>. Recuperado el 29 de mayo de 2017, Obtenido de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2>
- Romero, D. (Julio de 2011). *Sistemas de Interfaz Humano - Máquina*. Recuperado el 22 de julio de 2017, Obtenido de Universidad de Buenos Aires: <https://www.dc.uba.ar/events/eci/2011/cursos>

Schneider Electric. (2015). *Manual Electrotécnico*. Recuperado el 04 de abril de 2017, Obtenido de <http://www.schneider-electric.com>.

SENSING S.A. (s.f.). *www.sensores-de-medida.es*. Recuperado el 24 de abril de 2017, Obtenido de <http://www.sensores-de-medida.es>

SIEMENS. (s.f.). Recuperado el 26 de julio de 2017, Obtenido de <http://www.siemens.com/>:

SIEMENS AG. (2009). *S7 Controlador logico programable*. NURNBERG.

Turmo, E. (1999). Selección de válvulas de seguridad. Barcelona, España: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

URBACA. (Mayo de 2012). *www.urbaca.com*. Recuperado el 15 de mayo de 2017, Obtenido de <https://www.urbaca.com.mx>

VALVIAS. (2016). *www.valvias.com*. Recuperado el 15 de mayo de 2017, Obtenido de <http://www.valvias.com/literatura-manual-valvulas.php>

Venegas, W. (2012). *Análisis por el método de elementos finitos de un disco de freno con sistema de mordaza*. Quito: Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.

Vilches, E. (Enero de 2014). *Instituto de Laurona*. Recuperado el 12 de junio de 2017, Obtenido de <http://ieslaurona.edu.gva.es>

SIMBOLOGÍA

q	Calor
\dot{Q}	Flujo calórico
\dot{m}	Flujo másico
C_p	Calor específico
ΔT	Variación de temperatura
h	Coficiente de transferencia de calor por convección
A	Área de contacto entre el sólido y el fluido
T_w	Temperatura de la pared
T_f	Temperatura del fluido
σ	Coficiente de transferencia de calor por radiación
T	Temperatura
K	Conductividad térmica del material de la tubería en $\left[\frac{BTU}{ft \cdot h \cdot ^\circ F} \right]$
T_i	Temperatura en la cara interior de la tubería en [$^\circ F$]
T_o	Temperatura en la cara exterior de la tubería [$^\circ F$]
r_o	Radio exterior de la tubería en [in]
r_i	Radio interior de la tubería en [in]
Q_d	Caudal de diseño
V	Velocidad del fluido
ϕ_i	Diámetro interior de la tubería
ρ	Densidad del fluido
η	Viscosidad dinámica del fluido.
f	Factor de fricción

L	Longitud de la corriente del flujo
D	Diámetro de la tubería
v	Velocidad promedio del flujo
hA	Carga total sobre la bomba
φ	Peso específico del fluido
n	Rendimiento de la bomba
E_{CHENN}	Consumo energético estimado correspondiente al compresor del chiller HENN
E_{BHENN}	Energía demandada por la bomba del chiller HENN.
$E_{HENNcal}$	Energía total consumida del chiller HENN.
$E_{HENNdat}$	Energía obtenida mediante el Power Logger.
$E_{HENNmes}$	Energía mensual consumida por el chiller HENN.
E_{CKOL}	Consumo energético del compresor del chiller KOOLANT KOOLERS
E_{BKOL}	Consumo energético de la bomba del chiller KOOLANT KOOLERS [kWh]
E_{KOLcal}	Energía total consumida en una hora del chiller KOOLANT KOOLERS [kWh]
E_{KOLdat}	Energía total consumida en una hora del chiller KOOLANT KOOLERS [kWh] obtenida mediante el Power Logger.
E_{KOLmes}	Energía consumida al mes por el chiller KOOLANT KOOLERS $\left[\frac{kWh}{mes} \right]$
E_{C03}	Consumo energético del compresor del chiller #03 [kWh]

E_{B03}	Consumo energético de la bomba del chiller #03 [kWh]
E_{cal03}	Energía total consumida en una hora del #03 [kWh]
E_{dat03}	Energía total consumida en una hora del chiller #03 [kWh] obtenida mediante el Power Logger.
E_{03mes}	Energía consumida al mes por el chiller #03 $\left[\frac{kWh}{mes}\right]$
E_{SEmes}	Energía total consumida del sistema de enfriamiento en el mes $\left[\frac{kWh}{mes}\right]$
kWh	Kilovatios hora
P_{atm}	Presión atmosférica [KPa]
P_{tanq}	Presión tanque [KPa]
ϵ_p	Rugosidad del plástico [m]
ϵ_a	Rugosidad del acero [m]
ϵ_a	Rugosidad del aluminio [m]
NR	Número de Reynolds
E_{01}	Energía del chiller 01
E_{02}	Energía del chiller 02



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **BRYAN LEONARDO ROBAYO PALADINES** y **PABLO ESTEBAN RODRÍGUEZ GARCÍA**

En la ciudad de Latacunga, a los: **20 días del mes de diciembre del 2017.**

Ing. Wilson Sánchez

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katia Torres

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO