



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

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

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE  
MALLAS DE POLIETILENO TIPO SPIDER EN LA EMPRESA  
MALLATEC S.A.”**

**AUTOR: NAVARRO BANDA ANDRÉS MANUEL**

**DIRECTOR: GÓMEZ REYES ALEJANDRO PAÚL**

**SANGOLQUÍ**

**2016**

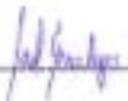


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MALLA TIPO SPIDER PARA LA EMPRESA MALLATEC S.A."*** realizado por el señor ***ANDRÉS MANUEL NAVARRO BANDA***, 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 al señor ***ANDRÉS MANUEL NAVARRO BANDA*** para que lo sustente públicamente.

**Sangoquí, 23 de septiembre del 2016**

  
-----  
**ALEJANDRO PAÚL GOMEZ REYES**  
**DIRECTOR**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **ANDRÉS MANUEL NAVARRO BANDA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MALLA TIPO SPIDER PARA LA EMPRESA MALLATEC S.A.**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangoquí, 23 de septiembre del 2016

---

ANDRÉS MANUEL NAVARRO BANDA

C.C. 1721761821



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **ANDRÉS MANUEL NAVARRO BANDA**, con cédula de identidad N° 1721761821, declaro que este trabajo de titulación **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MALLA TIPO SPIDER PARA LA EMPRESA MALLATEC S.A."** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 23 de septiembre del 2016**

---

**ANDRÉS MANUEL NAVARRO BANDA**

**C.C. 1721761821**

## DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a Dios y de manera muy en especial a mi Madre Dolorosa “Lolita” quien ha sido mi protectora durante mi camino.

A mis padres Joaquín y Germania quienes son mi mayor ejemplo de respeto, humildad y superación.

A mis hermanos Santiago y Diego quienes son mis compañeros de vida al igual que a mi gran amigo Julián que los considero como un hermano más.

A mi tío Jorge quien es un ejemplo de lucha, superación y constancia.

***Andrés Manuel Navarro Banda***

## **AGRADECIMIENTOS**

Muy agradecido con Dios y mi Madre Dolorosa por sus bondades y bendiciones recibidas durante mi vida.

A mis padres Joaquín y Germania quienes han sido incondicionales en mi vida y son un ejemplo de amor y respeto a seguir.

A mis hermanos Santiago y Diego por el apoyo, ganas y amor que me han demostrado durante toda mi vida.

A mi profesor Ing. Alejandro Gómez quien ha sido una clara guía durante la realización de este proyecto, al igual un agradecimiento muy especial a la empresa MALLATEC S.A. por la oportunidad y confianza brindada durante el proyecto.

***Andrés Manuel Navarro Banda***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xx
INDICE DE ANEXOS.....	xxii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3 DESCRIPCIÓN .....	2
1.4 ALCANCE.....	3
1.5 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 POLIETILENO.....	6
2.1.1 Tipos de Polietileno.....	6
2.1.2 Propiedades del polietileno.....	8
2.1.3 Uso y aplicación del Polietileno en MALLATEC S.A. ....	9
2.2 MALLA TIPO SPIDER .....	9
2.3 PRODUCCIÓN DE MALLA TIPO SPIDER.....	10
2.3.1 Extrusión de Plásticos .....	11

2.3.2	<b>Cristalinidad de Polietileno Extruido</b>	13
2.3.3	<b>Arrastre y Conformado</b>	15
2.4	<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA</b>	17
2.4.1	<b>Funcionamiento</b>	17
2.4.2	<b>Clasificación de torres de enfriamiento</b>	19
2.4.2.1.2	<b>Torres de enfriamiento de tiro natural</b>	21
2.4.2.2	<b>Torres de Tiro Mecánico</b>	22
2.4.2.2.1	<b>Torres de Tiro Mecánico Forzado</b>	22
2.4.2.2.2	<b>Torres de Tiro Mecánico Inducido</b>	23
2.4.3	<b>Componentes</b>	24
2.4.3.1	<b>Estructura</b>	24
2.4.3.2	<b>Distribuidor de Agua de Ingreso</b>	24
2.4.3.3	<b>Relleno de la Torre</b>	25
2.4.3.4	<b>Sistema de Recolección de Agua</b>	25
2.4.3.5	<b>Sistema de Distribución de Agua</b>	26
2.5	<b>TEORIA DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>	26
2.5.1	<b>Mecanismos de Transferencia de Calor</b>	26
2.5.1.1	<b>Conducción</b>	26
2.5.1.2	<b>Convección</b>	27
2.5.1.3	<b>Radiación</b>	29
2.6	<b>BOMBAS</b>	30
2.6.1	<b>Parámetros para la selección de la bomba</b>	31
2.6.2	<b>Tipos de Bombas</b>	33
2.6.2.1	<b>Bomba de Engranés</b>	34
2.6.2.2	<b>Bomba de Pistón</b>	34
2.6.2.3	<b>Bomba de aspas</b>	34
2.6.2.4	<b>Bomba de tornillo</b>	34
2.6.2.5	<b>Bomba de cavidad progresiva</b>	35
2.6.2.6	<b>Bomba de Lóbulo</b>	35
2.6.2.7	<b>Bomba de pistón para transferencia de fluidos</b>	35

2.6.2.8	Bomba de diafragma .....	35
2.6.2.9	Bomba peristáltica .....	36
2.6.2.10	Bomba cinética .....	36
2.6.2.11	Bomba de chorro .....	36
2.6.2.12	Bomba sumergible .....	36
2.6.2.13	Bomba centrífuga pequeña .....	36
2.6.2.14	Bomba de autoarranque .....	37
2.6.2.15	Bomba vertical de turbina .....	37
2.6.2.16	Bomba centrífuga de molino .....	37
2.7	<b>SENSORES.</b> .....	37
2.7.1	<b>Tipos de Sensores.</b> .....	38
2.7.1.1	<b>Detectores de temperatura resistivos (rtd)</b> .....	43
2.7.1.2	<b>Tipos de RTD</b> .....	43
2.7.1.3	<b>Acondicionamiento de la Señal</b> .....	46
2.8	<b>PLC</b> .....	48
2.8.1	<b>Estructura de un PLC</b> .....	49
2.8.2	<b>Lenguaje de Programación LADDER</b> .....	50
2.8.3	<b>Módulo de Señal RTD SM 1231 SIEMENS</b> .....	50
2.9	<b>ELECTROVALVULA</b> .....	52
2.9.1	<b>Acción directa</b> .....	52
2.10	<b>FLOW SIMULATION</b> .....	53
2.10.1	<b>Funciones de Solidworks Simulation</b> .....	54
2.10.2	<b>Funciones de Solidworks Simulation</b> .....	54
2.10.3	<b>Funciones de Solidworks Simulation</b> .....	54
2.10.3.1	<b>Visión General de análisis CFD</b> .....	55
<b>CAPÍTULO 3: TOMA DE DATOS DEL PROCESO</b> .....		57
3.1	<b>DATOS EXPERIMENTALES DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN EL TANQUE DE AGUA DE ENFRIAMIENTO</b> .....	57
3.2	<b>TOMA DE DATOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO A IMPLEMENTAR</b> .....	58

<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO MECÁNICO</b> .....	62
<b>4.1 DISEÑO DE LA BOMBA Y SISTEMA DE CIRCULACIÓN</b> .....	62
4.1.1 Parámetros del Fluido .....	62
4.1.2 Capacidad Requerida .....	63
<b>4.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA</b> .....	71
<b>4.3 CIRCUITO DE RETORNO AL TANQUE</b> .....	72
<b>CAPÍTULO 5: DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO</b> .....	76
<b>5.1 SELECCIÓN DEL MODELO DEL PLC</b> .....	76
<b>5.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE SENSORES DE TEMPERATURA</b> .....	77
<b>5.3 SELECCIÓN DE LAS ELECTROVÁLVULAS</b> .....	79
<b>5.4 DISEÑO ELÉCTRICO</b> .....	79
<b>5.5 DISEÑO ELECTRÓNICO</b> .....	89
5.5.1 Entradas del PLC.....	89
5.5.2 Salidas del PLC .....	90
<b>5.6 DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL</b> .....	91
5.6.1 Programación Manual.....	95
5.6.2 Programación automática .....	96
<b>CAPÍTULO 6: MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL POLIETILENO EXTRUIDO AL TANQUE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA</b> .....	98
<b>6.1 SIMULACIÓN EN SOLID WORKS</b> .....	100
<b>6.2 CREACIÓN DE SIMULACIÓN MEDIANTE WIZARD</b> .....	103
<b>6.3 CONDICIONES DE DISEÑO</b> .....	105
<b>6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	114
6.4.1 Primer Análisis Estacionario.....	114
6.4.2 Segundo Análisis Transitorio .....	116
<b>CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA</b> .....	121
<b>7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO</b> .....	121

7.1.1	Ubicación: corriente de aire.....	122
<b>7.2</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN.....</b>	<b>122</b>
7.2.1	Selección de la tubería y accesorios .....	123
7.2.1.1	Presión del fluido .....	123
7.2.1.2	Temperatura del Fluido.....	124
7.2.1.3	Diámetro de la Tubería.....	124
7.2.1.4	Material de la Tubería y Accesorios.....	124
7.2.1.4.1	Tubería roscable de PP.....	125
7.2.2	Ubicación de la Bomba .....	126
7.2.3	Línea de Succión de la Bomba .....	126
7.2.4	Línea de Descarga de la Bomba.....	130
7.2.5	Circuito de Retorno de agua a los tanques.....	133
7.2.5.1	Presión del fluido .....	133
7.2.5.2	Temperatura del Fluido.....	134
7.2.5.3	Diámetro de la tubería.....	134
7.2.5.4	Material de la tubería y accesorios .....	134
7.2.5.4.1	Tubería de desagüe de PVC .....	135
<b>7.3</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO</b>	<b>137</b>
7.3.1	Implementación del tablero de control.....	137
7.3.2	Colocación de Canaletas y Rieles DIN en el Tablero .....	138
7.3.3	Montaje de Elementos .....	139
7.3.4	Montaje de Pulsadores y Luces Piloto.....	140
7.3.5	Cableado del Tablero de Control .....	141
7.3.6	Conexión de la Bomba.....	142
7.3.7	Montaje de Sensores PT100.....	143
<b>7.4</b>	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>144</b>
7.4.1	Verificación de Líneas de Circulación y accesorios .....	144
7.4.2	Verificación de Funcionamiento de Torre de enfriamiento .....	145
7.4.3	Comprobación de Continuidad de Conexiones.....	146

<b>7.4.4 Funcionamiento de Luces Piloto de Tablero de Control .....</b>	<b>147</b>
<b>7.4.5 Funcionamiento del Contactor de la bomba.....</b>	<b>148</b>
<b>7.4.6 Funcionamiento de la Bomba .....</b>	<b>149</b>
<b>7.4.7 Funcionamiento del PLC .....</b>	<b>150</b>
<b>7.4.8 Funcionamiento de los Relés.....</b>	<b>151</b>
<b>7.4.9 Funcionamiento de Electroválvulas .....</b>	<b>152</b>
<b>7.4.10 Funcionamiento de Sensores .....</b>	<b>153</b>
<b>7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>154</b>
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>157</b>
<b>8.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>157</b>
<b>8.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>158</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA: .....</b>	<b>159</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del polietileno de baja densidad (LDPE) .....	6
Figura 2 Simbología de identificación .....	7
Figura 3 Estructura de polietileno de alta densidad .....	7
Figura 4 Simbología de identificación .....	7
Figura 5 Malla Tipo Spider en botón floral .....	9
Figura 6 Representación esquemática de una extrusora de usillo sencillo.....	12
Figura 7 Solidificación y enfriamiento de termoplásticos no cristalinos y parcialmente cristalinos con cambio de volumen específico con la temperatura.....	13
Figura 8 Tanque de Agua de Enfriamiento de Malla de polietileno.....	14
Figura 9 Ejemplos de sistemas de arrastre hacia fuera.....	16
Figura 10 Arrastre por Rodillos .....	16
Figura 11 Condiciones en la torre de enfriamiento.....	18
Figura 12 Condiciones en el fondo de la torre.....	18
Figura 13 Condiciones en la parte superior de la torre.....	19
Figura 14 Torre de enfriamiento atmosférica.....	20
Figura 15 Torre de enfriamiento de tiro natural.....	21
Figura 16 Torre de enfriamiento de tiro forzado.....	22
Figura 17 Torre de enfriamiento de tiro inducido.....	23
Figura 18 Conducción de calor a través de una pared plana de espesor.....	27

Figura 19 Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.....	28
Figura 20 Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada natural.....	29
Figura 21 Transferencia de calor en un bloque caliente.....	30
Figura 22 Símbolo de un detector de temperatura resistivo.....	42
Figura 23 Configuración de dos hilos.....	46
Figura 24 Configuración de tres hilos.....	46
Figura 25 Configuración de cuatro hilos.....	47
Figura 26 Estructura del PLC.....	48
Figura 27 Módulo de señal RTD SM 1231.....	49
Figura 28 Electroválvula RTD SM 1231.....	51
Figura 29 Aumento de temperatura durante la jornada de trabajo .....	55
Figura 30 Toma de diferencial de Temperatura - Pirómetro .....	58
Figura 31 Toma de diferencial de Temperatura - Termocupla .....	59
Figura 32 Velocidades recomendadas.....	61
Figura 33 Diagrama de Moody.....	64
Figura 34 Curva de Funcionamiento de la Bomba.....	69
Figura 35 Conexión de motor monofásico 220 V .....	78
Figura 36 Placa de Motor de la Bomba .....	79

Figura 37 Modelo real vs modelo simplificado de tanque de agua de enfriamiento de malla de polietileno.....	95
Figura 38 Modelo de conducto de polietileno.....	96
Figura 39 Conducto de polietileno.....	96
Figura 40 Verificación de modelado hermético tanque.....	98
Figura 41 Comprobación de modelo hermético .....	98
Figura 42 Verificación de volúmenes generados.....	99
Figura 43 Dominio computacional del sistema .....	99
Figura 44 Ingreso de unidades (SI) WIZARD .....	100
Figura 45 Definición de tipo de análisis a considerar WIZARD .....	100
Figura 46 Vista en corte de modelo a simular .....	101
Figura 47 Determinación de fluido (agua) WIZARD.....	101
Figura 48 Determinación de material que va a contener el agua (insulador) WIZARD .....	102
Figura 49 Condiciones iniciales del análisis WIZARD .....	102
Figura 50 Dominio computacional a ejecutar WIZARD.....	103
Figura 51 SubDominio computacional .....	103
Figura 52 Geometría de SubDominio .....	104
Figura 53 Definición de material (Polietileno) .....	104
Figura 54 Selección de material (Polietileno) .....	105
Figura 55 Definición de condiciones de borde .....	106
Figura 56 Condiciones de entrada de PE.....	106
Figura 57 Condiciones de entrada de agua al tanque .....	107

Figura 58 Definición de criterios de convergencia .....	107
Figura 59 Definición de meta de superficie .....	108
Figura 60 Definición de meta de superficie de malla de PE .....	108
Figura 61 Definición de meta de superficie para salida del tanque .....	109
Figura 62 Definición de refinamiento de malla N°3 .....	110
Figura 63 Mallado terminado .....	110
Figura 64 Primer análisis estacionario .....	111
Figura 65 Curva de resultados análisis estacionario .....	111
Figura 66 Secuencia de Trabajo de Enfriamiento en el Transcurso del Tiempo.....	113
Figura 67 Secuencia de Trabajo de Enfriamiento en el Transcurso del Tiempo .....	113
Figura 68 Gráfica de Secuencia de Trabajo de Enfriamiento en el Transcurso del Tiempo .....	115
Figura 69 Torre de Enfriamiento .....	118
Figura 70 Tarraja NPT.....	121
Figura 71 Cinta Teflón.....	122
Figura 72 Filtro para sedimentos PP .....	123
Figura 73 Acople electroválvula tanque 1 .....	123
Figura 74 Acople electroválvula tanque 2 .....	124
Figura 75 Acople electroválvula tanque 3 .....	124

Figura 76 Conexión tubería tanque 3 .....	124
Figura 7.9 Conexión tubería tanque 2 .....	125
Figura 80 Conexión tubería a línea de succión bomba .....	125
Figura 81 Conexión tubería a línea de descarga de bomba .....	126
Figura 82 Línea de descarga de bomba .....	126
Figura 83 Línea de descarga exterior de bomba .....	127
Figura 84 Línea de descarga de bomba en torre .....	127
Figura 85 Tubería de desagüe PVC .....	130
Figura 86 Acople de conexión en reservorio a circuito de retorno de Agua .....	131
Figura 87 Conexión en reservorio a circuito de retorno de agua .....	131
Figura 88 Conexión de tubería de retorno a ingreso de la planta .....	131
Figura 89 Tubería de retorno en tanques .....	132
Figura 90 Canaletas y Riel DIN .....	133
Figura 91 Ubicación de Elementos tablero de control .....	133
Figura 92 Fijación de Elementos en tablero de control .....	134
Figura 93 Ubicación de pulsadores y luces piloto .....	134
Figura 94 Perforación en puerta de tablero .....	135
Figura 95 Montaje pulsadores y luces piloto .....	135
Figura 96 Cableado de pulsadores y luces piloto .....	136
Figura 97 Cableado de tablero de control .....	136

Figura 98 Conexión de PT100 en módulo SM1231 .....	138
Figura 99 PT100 con soporte de fijación en Tanque .....	138
Figura 100 PT100 medidor de temperatura ambiente .....	139
Figura 101 Verificación de Fugas en Tuberías y Accesorios .....	139
Figura 102 Verificación de Torre de Enfriamiento con Flujo Activo .....	140
Figura 103 Verificación de Luces Piloto .....	141
Figura 104 Funcionamiento Contactor.....	141
Figura 105 Funcionamiento de la bomba.....	142
Figura 106 Funcionamiento PLC.....	142
Figura 107 Funcionamiento Relé.....	143
Figura 108 Funcionamiento Electroválvula.....	143
Figura 109 Funcionamiento Sensores TIA PORTAL.....	144
Figura 110 Malla de Polietileno con falla en el ajuste (memoria).....	146
Figura 111 Malla de Polietileno sin falla en el ajuste (memoria) .....	146

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del polietileno de alta y baja densidad.....	8
Tabla 2. Referencia de tipos de mallas producidas .....	10
Tabla 3. Características de Extrusora 1.....	12
Tabla 4. Características de Extrusora 2.....	13
Tabla 5. Características de Extrusora 3.....	13
Tabla 6. Clasificación de los sensores .....	40
Tabla 9. Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes .....	41
Tabla 10. Toma de Datos de diferencial de temperatura en la torre de enfriamiento .....	58
Tabla 11. Propiedades del Agua .....	60
Tabla 12. Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería .....	65
Tabla 13. Ficha Técnica de la Bomba .....	69
Tabla 14. Parámetros de Funcionamiento del Motor .....	69
Tabla 15. Matriz de decisión selección de sensor de temperatura .....	75
Tabla 16. Ficha Técnica de Electroválvulas .....	76
Tabla 17. Selección de Conductor Según Norma AWG .....	82
Tabla 18. Tabla de Identificación de elementos eléctricos y electrónicos del tablero de control .....	83
Tabla 19. Tabla de Identificación de elementos de entrada al PLC .....	86

Tabla 20. Tabla de Identificación de elementos de salida al PLC .....	87
Tabla 21. Tabla de Identificación de elementos de salida al PLC .....	89
Tabla 22. Condiciones de borde de simulación.....	105
Tabla 23. Matriz de decisión material de tubería succión y descarga .....	120
Tabla 24. Matriz de decisión material de tubería de retorno a los tanques .....	129

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

## **1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.**

Actualmente para el proceso de fabricación de las mallas de polietileno tipo SPIDER se utiliza tres máquinas extrusoras de polietileno (Mallatec S.A., 2015).

Para este proceso se necesita de supervisión de un operario el cual enciende cada máquina previo al inicio de operaciones con el fin de que cada máquina extrusora llegue a la temperatura ideal de trabajo, al igual que se encarga de vigilar el aumento de temperatura en el agua de los tanques de enfriamiento para que el producto final no tenga deformación en su ajuste (memoria), cuando la temperatura se eleva considerablemente el operario debe cambiar el agua de los tanques parando la máquina y el proceso de producción; por lo que se necesita diseñar un proceso automático para los tanques de agua de enfriamiento de malla de polietileno implementado una torre de enfriamiento atmosférica que dispone la empresa con el fin de optimizar los recursos, disminuyendo costos de producción y aumentando la cantidad de unidades producidas (Mallatec S.A., 2015).

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

Debido a la escasa infraestructura tecnológica, investigación y desarrollo en el sector industrial en el Ecuador, muchos de los procesos industriales no cuentan con tecnología de punta que permita la generación de productos a costos menores y con un estándar de calidad, pues estos dependen de equipos obsoletos o tareas en donde el tiempo de proceso y la calidad dependen de la habilidad manual del operario. Esta tecnificación en los procesos puede requerir de una inversión inicial alta, sin embargo, al aumentar la calidad y productividad de la empresa estará muy bien justificada (Fuente Propia N. , 2016).

MALLATEC es una empresa que ofrece productos de calidad bajo parámetros específicos debido a su funcionalidad y contacto con elementos

pericibles por lo que es necesario la optimización de sus procesos para garantizar la elaboración de sus productos (Mallatec S.A., 2015).

Actualmente la empresa requiere optimizar y elevar el proceso de producción de mallas de polietileno tipo SPIDER en un 10% es decir elevar la producción diaria de 150kg a 165kg por máquina, es decir un total de 45kg por las tres máquinas, por lo que resulta necesario que dicho proceso se optimice y se lo realice de forma automática, consiguiendo de esta manera producir mayor cantidad de unidades.(Fuente Propia N. , 2016).

### **1.3 DESCRIPCIÓN**

Debido a los requerimientos solicitados por MALLATEC, se realizará el diseño e implementación de un sistema automatizado para el proceso de producción de mallas tipo SPIDER de polietileno.

El proceso de fabricación de la malla tipo SPIDER se basa en tres máquinas extrusoras que trabajan en paralelo, cada una de las extrusoras tienen un tanque de agua de enfriamiento que es donde se cristaliza el polietileno extruido.

Durante la jornada laboral la temperatura aumenta en los tanques de agua de enfriamiento deformando el ajuste (memoria) del producto final generando desperdicio del mismo. Es por esto que el sistema de enfriamiento de agua en los tanques de agua de enfriamiento debe ser implementado y controlado de manera automática, por lo que se debe seleccionar los componentes adecuados para dicho sistema.

Es necesario implementar una torre de enfriamiento de tipo atmosférica que dispone la empresa para disminuir la temperatura de agua en los tres tanques de enfriamiento de malla de polietileno al igual que diseñar e implementar el sistema de circulación de agua de la torre de enfriamiento hacia los tres tanques.

En cada tanque se implementará sensores de temperatura los cuales realizarán las mediciones respectivas a través de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual se encargará de recibir y procesar sus señales.

#### **1.4 ALCANCE.**

El proyecto tiene como alcance construir e implementar un sistema automatizado para el sistema de enfriamiento de los tres tanques de agua de enfriamiento de mallas de polietileno, para el sistema de control se va a implementar un PLC marca SIEMENS.

A continuación, se describe el alcance de los diferentes sistemas que componen dicho proyecto:

- Sistema Mecánico.

El análisis del sistema mecánico involucra varios aspectos:

Modelo analítico: El cual permitirá modelar y simular un estudio de la transferencia de calor del polietileno extruido al tanque de enfriamiento.(Fuente Propia N. , 2016).

Modelado dinámico: Necesario para el correcto diseño y posicionamiento de los controladores de temperatura, al igual que el sistema de llenado vaciado de agua en los tanques (Fuente Propia N. , 2016).

Implementación de una torre de enfriamiento de tipo atmosférico para el proceso de enfriamiento del polietileno (Fuente Propia N. , 2016).

Sistema de circulación de agua: El cual se encargará de mantener un flujo activo de agua con el fin de mantener un rango de temperatura adecuada al proceso (Fuente Propia N. , 2016).

El diseño del proceso será simulado dentro del entorno CAD como un prototipo digital, antes de ser implementado y así, evitar gastos de reconfiguración u optimización innecesarios (Fuente Propia N. , 2016).

- Sistema Eléctrico/Electrónico.

El proceso involucra una serie de elementos eléctricos y electrónicos que facilitan el correcto funcionamiento del mismo. El uso de sensores, dispositivos de maniobra y de control son indispensables para el funcionamiento y protección del sistema eléctrico / electrónico además de la evasión de errores que causarían fallos de funcionamiento (Fuente Propia N. , 2016).

**Sensores de Temperatura:** Los cuales se encargaran de medir y controlar a través de un PLC el rango de temperatura de cada uno de los tanques de agua del proceso (Fuente Propia N. , 2016).

**PLC:** El cual será programado con el fin de controlar las señales que serán enviadas por los diferentes sensores y dispositivos durante el proceso, además que debe ser seleccionado acorde al siguiente número de entradas y salidas análogas y digitales (Fuente Propia N. , 2016).

**Entradas Análogas:** Sensores de Temperatura (3AI)

**Salidas Digitales:** Electroválvulas (6 DO)

**Armario de Control:** El cual estará estructurado por todos los dispositivos de maniobra, protección y control eléctrico y electrónico, tales como breakers, fusibles, PLC, Módulo de señales análogas o digitales, botones de encendido y apagado, paro de emergencia, etc (Fuente Propia N. , 2016).

- Sistema De Control.

El control se lo realizará a través de un Controlador Lógico Programable (PLC) marca SIEMENS como elemento principal de procesamiento. Para esto se utilizará el lenguaje de programación LADDER mediante el software de programación TIA PORTAL de SIEMENS (Fuente Propia N. , 2016).

## **1.5 OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar y construir un sistema automatizado para el proceso de producción de mallas de polietileno tipo spider en la empresa MALLATEC S.A.

## **1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Modelar y simular un estudio físico de transferencia de calor del polietileno extruido al tanque de enfriamiento del proceso de producción.
- Implementar una torre de enfriamiento de tipo atmosférica para el proceso de enfriamiento de polietileno.
- Estructurar y programar el control de temperatura de agua en los tanques de enfriamiento del proceso de producción de mallas de polietileno mediante un PLC, marca Siemens.
- Validar el sistema, a través de un protocolo de pruebas y realizar las correcciones correspondientes.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 POLIETILENO.

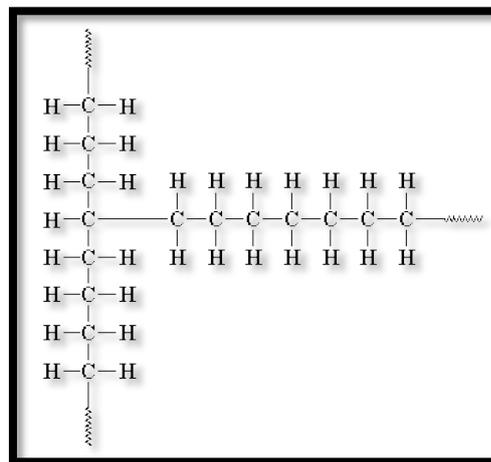
El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados (Courtinho, Mello, & Santa María, 2003).

#### 2.1.1 Tipos de Polietileno.

En general hay dos tipos de polietileno:

- De baja densidad (LDPE):

El polietileno de baja densidad es un polímero de cadena ramificada como se aprecia en la Figura 1 (Courtinho, Mello, & Santa María, 2003).



**Figura 1:** Estructura del polietileno de baja densidad (LDPE)

Fuente: (Courtinho, Mello, & Santa María, 2003).

Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones (aproximadamente 1200 atm y 200° C) con oxígeno o catalizador de peróxido y por mecanismo de radicales libres. Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y

bajo costo se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías. Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el símbolo en la parte inferior o posterior, como se puede observar en la Figura 2.

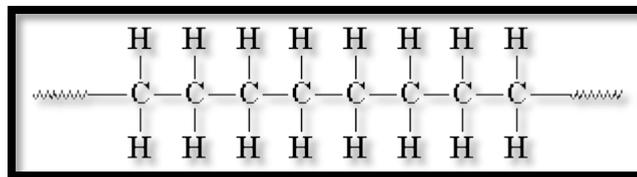


**Figura 2:** Simbología de identificación

Fuente: (Courtinho, Mello, & Santa María, 2003).

- De alta densidad (HDPE).

El polietileno de alta densidad es un polímero de cadena lineal no ramificada, como se observa en la Figura 3 (Perdomo, 2003).



**Figura 3:** Estructura de polietileno de alta densidad (HDPE)

Fuente: (Perdomo, 2003).

Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas (1-200 atm), con catalizador alquilmetálico (catálisis de Ziegler) o un óxido metálico sobre sílice o alúmina (procesos Phillips y Standard Oil). Su resistencia química y térmica, así como su opacidad, impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad. Se emplea en la construcción y también para fabricar prótesis, envases, bombonas para gases y contenedores de agua y combustible. Los objetos fabricados con HDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior, como se observa en la Figura 4 (Perdomo, 2003).



**Figura 4:** Simbología de identificación

Fuente: (Perdomo, 2003)

### 2.1.2 Propiedades del polietileno.

El polietileno de alto peso molecular es un sólido blanco y translúcido. En secciones delgadas es casi del todo transparente. A las temperaturas ordinarias es tenaz y flexible, y tiene una superficie relativamente blanda que puede rayarse con la uña. A medida que aumenta la temperatura, el sólido va haciéndose más blando y finalmente se funde a unos 110 °C, transformándose en un líquido transparente. Si se reduce la temperatura por debajo de la normal, el sólido se hace más duro y más rígido, y se alcanza una temperatura a la cual una muestra no puede doblarse sin romperse (San Andrés, Chércoles, Gómez, & De la Roja, 2011).

Algunas propiedades de los LDPE y HDPE como se menciona en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

Propiedades del polietileno de alta y baja densidad

Propiedad	LDPE	HDPE
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	0,92-0,93	0,95-0,96
Resistencia a la tracción x 1000 psi	0,9-2,5	2,9-5,4
Elongación, %	550-600	20-120
Cristalinidad, %	65	95
Rigidez dieléctrica, V/mill.	480	480
Máxima temperatura de uso, °C	82-100	80-120

**Fuente:** (San Andrés, Chércoles, Gómez, & De la Roja, 2011)

### 2.1.3 Uso y aplicación del Polietileno en MALLATEC S.A.

La aplicación de polietileno de baja densidad (LDPE) es la elaboración de Malla Tipo Spider utilizada para proteger el botón floral (Mallatec S.A., 2015).

La Malla Tipo Spider se produce de forma continua y por diferentes referencias y colores para cada tipo de flor y tamaño (Mallatec S.A., 2015).

## 2.2 MALLA TIPO SPIDER

La Malla de Polietileno Tipo Spider es utilizada para proteger el botón floral desde su brote, pasando por el tiempo de crecimiento y hasta el despacho al consumidor final, permitiendo que la flor se abra en el momento adecuado, guardándola de golpes o lesiones durante el transporte a diferentes destinos (Mallatec S.A., 2015).



**Figura 5:** Malla Tipo Spider en botón floral

Fuente: (Mallatec, 2015)

Desde el punto de vista técnico la malla, da volumen a las flores y alargan su vida útil: rosas, girasoles, crisantemos, y otras (Mallatec S.A., 2015).

Se fabrica en Polietileno de baja densidad, evitando así, riesgo de botritis, bajo las siguientes condiciones de flexibilidad, suavidad y excelente retorno para permitir el ajuste ideal (Mallatec S.A., 2015).

Este ajuste permite una mejor distribución en la caja (en el empaque) generando una reducción en el costo de los fletes (Exportación) (Mallatec S.A., 2015).

El diseño de la malla debe asegurar que los pétalos permanecen al interior de la misma, de lo contrario lastiman y se pierde la flor (Mallatec S.A., 2015).

Se usan las malla pigmentadas en tonos fuertes, con colorantes atóxicos, para acentuar los tonos naturales en las flores (Mallatec S.A., 2015).

La presentación de los bultos es de 30 kilos, la malla va totalmente seca, asegurando así el contenido, las mallas para flores son cortadas, desde 10 hasta 25 centímetros (Mallatec S.A., 2015).

## **Tabla 2.**

Referencia de tipos de mallas producidas

<b>REFERENCIA</b>	<b>USOS</b>	<b>COLORES</b>
8038 y 10038	Rosas	Natural, rojo, negro, azul.
112367	Girasol	Natural y a selección.
14038	Gerbera Mediana	Natural y a selección.
15237-16038	Gerbera Grande	Natural y a selección.

Fuente: (Mallatec S.A., 2015)

## **2.3 PRODUCCIÓN DE MALLA TIPO SPIDER.**

El proceso de producción de la malla de polietileno tipo SPIDER se realiza utilizando una extrusora la cual funde el polietileno (granulado - aperlado) de baja densidad depositado en la tolva de alimentación de la misma, una vez fundido pasa a través de un cabezal el cual soporta a la boquilla por donde sale el material fundido y tejido hacia un tanque de agua de enfriamiento donde se conforma (plastifica) la malla de polietileno. Finalmente dos rodillos impulsados por un motor arrastran la malla a velocidad constante para ser cortada y

expulsada por una cuchilla acorde a las diferentes dimensiones (Fuente Propia N. , 2016).

### **2.3.1 Extrusión de Plásticos**

En una definición amplia el proceso de extrusión hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y, en principio, longitud indefinida (Beltrán Rico Maribel, 2012).

Desde el punto de vista de los plásticos, la extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación. El proceso de extrusión de plásticos se lleva a cabo en máquinas denominadas extrusoras o extrusores (Beltrán Rico Maribel, 2012).

Aunque existen extrusoras de diversos tipos, las más utilizadas son las de tornillo o de husillo simple, por lo que haremos referencia a ellas continuamente (Beltrán Rico Maribel, 2012).

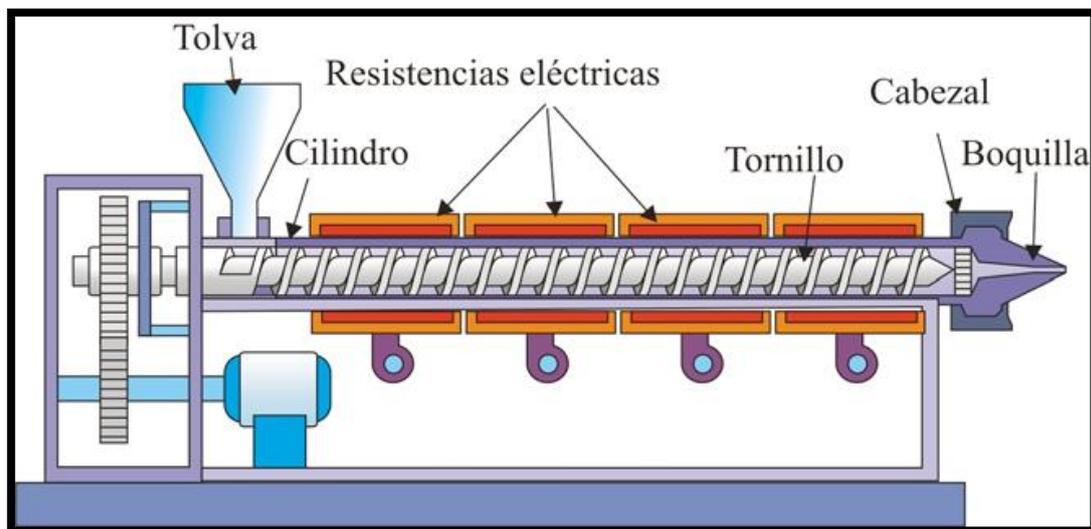
En el proceso de extrusión, por lo general, el polímero se alimenta en forma sólida y sale de la extrusora en estado fundido. En algunas ocasiones el polímero se puede alimentar fundido, procedente de un reactor. En este caso la extrusora actúa como una bomba, proporcionando la presión necesaria para hacer pasar al polímero a través de la boquilla. En otras ocasiones se extruyen los materiales sólidos, como es el caso del procesado de fibras en el que se requieren elevadas orientaciones en el material (Beltrán Rico Maribel, 2012).

Para el caso más corriente de la extrusión de un polímero inicialmente sólido que funde en el proceso, la extrusora, y en concreto una de husillo único, puede realizar seis funciones principales (Beltrán Rico Maribel, 2012):

- Transporte del material sólido hacia la zona de fusión
- Fusión o plastificación del material
- Transporte o bombeo y presurización del fundido
- Mezclado

- Desgasificado
- Conformado

De acuerdo con las misiones que debe cumplir, una extrusora debe disponer de un sistema de alimentación del material, un sistema de fusión-plastificación del mismo, el sistema de bombeo y presurización, que habitualmente generará también un efecto de mezclado y finalmente, el dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido. La figura 2.6 muestra, como ejemplo, una representación esquemática de una extrusora típica de husillo único (Beltrán Rico Maribel, 2012).



**Figura 6:** Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo

Fuente: (Beltrán Rico Maribel, 2012)

Como puede apreciarse el sistema de alimentación más habitual es una tolva, en la que el material a procesar se alimenta en forma de polvo o grana. El dispositivo de fusión-plastificación, bombeo y mezclado está constituido por un tornillo de Arquímedes que gira en el interior de un cilindro calentado, generalmente mediante resistencias eléctricas. En la parte del cilindro más alejada de la tolva de alimentación se acopla un cabezal cuya boquilla de salida tiene el diseño adecuado para que tenga lugar el conformado del producto. La parte esencial de la máquina es el sistema cilindro-tornillo que, como consecuencia del giro, compacta el alimento sólido, da lugar a la fusión del

material y lo transporta hacia la boquilla de conformado, produciendo al mismo tiempo la presurización y el mezclado del material (Beltrán Rico Maribel, 2012).

**Tabla 3.** Características de Extrusora 1

Características	Dimensiones
Temperatura de cabezal	360 °C
Temperatura de Tornillo	300 °C
Potencia motor	12 HP

Fuente: (Mallatec S.A., 2015)

**Tabla 4.** Características de Extrusora 2,

Características	Dimensiones
Temperatura de cabezal	280 °C
Temperatura de Tornillo	300 °C
Potencia motor	12 HP

Fuente: (Mallatec S.A., 2015)

**Tabla 5.** Características de Extrusora 3,

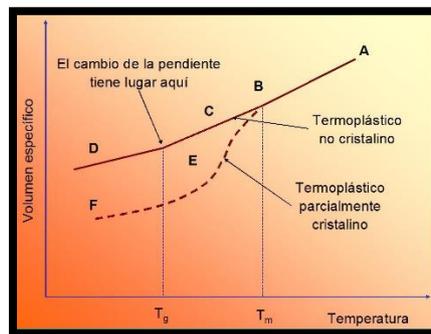
Características	Dimensiones
Temperatura de cabezal	290 °C
Temperatura de Tornillo	300 °C
Potencia motor	10 HP

Fuente: (Mallatec S.A., 2015)

### 2.3.2 Cristalinidad de Polietileno Extruido

Cuando solidifican los termoplásticos desde el estado líquido pueden formar un sólido no cristalino o un sólido cristalino. Si repasamos la solidificación y enfriamiento lento de termoplásticos no cristalinos o semicristalinos se

produce, como se observa en la figura 7, un descenso del volumen específico con la disminución de temperatura que presenta un cambio de pendiente a una temperatura característica del material que recibe el nombre de temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , por encima de la cual el polímero presenta un comportamiento viscoso (gomoso, elástico), y por debajo un comportamiento de vidrio quebradizo. (Valencia, 2013)



**Figura 7:** Solidificación y enfriamiento de termoplásticos no cristalinos y parcialmente cristalinos con cambio de volumen específico con la temperatura.

Fuente: (Valencia, 2013)

Esta rápida disminución se debe al empaquetamiento de las cadenas poliméricas en las regiones cristalinas del material, ya que la estructura del material está compuesta por regiones cristalinas inmersas en una matriz amorfa de líquido subenfriado, que por debajo de  $T_g$  pasa al estado vítreo, quedando la estructura formada por regiones cristalinas inmersas en una matriz amorfa vítrea. (Valencia, 2013)

El proceso de cristalización de malla de polietileno extruido se realiza mediante un sistema de enfriamiento con agua contenida en un tanque, la cual solidifica la malla extruida que sale a través de la boquilla del cabezal de la extrusora, en la figura 8 se muestra el tanque de agua de enfriamiento de malla de polietileno extruido. (Fuente Propia N. , 2016)

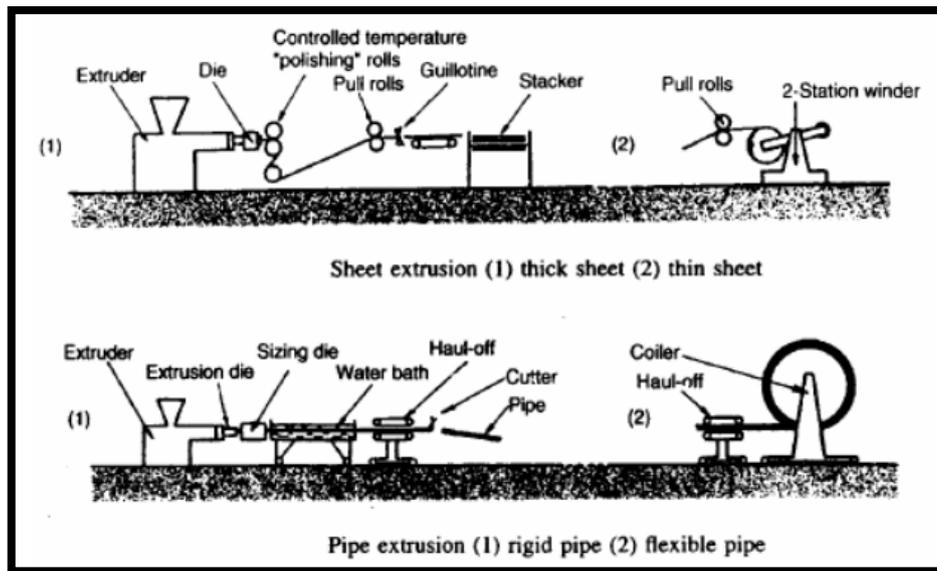


**Figura 8:** Tanque de Agua de Enfriamiento de Malla de polietileno.

Fuente: (Mallatec S.A., 2015)

### **2.3.3 Arrastre y Conformado**

El arrastre depende de cada producto que va a ser procesado. Algunas líneas de extrusión típicas se muestran en la figura 9. La producción de gránulos, extrusión de tubos y láminas, revestimiento de alambres y láminas y producción de filamentos, son algunos de los más importantes procesos que usan la extrusión. El conformado secundario, usualmente, incluye el recalentamiento o e del material antes del enfriamiento para producir formas tridimensionales más complejas, por ejemplo mediante el soplado de film y por moldeo por soplado. (Oviedo, 2005)



**Figura 9:** Ejemplos de sistemas de arrastre hacia fuera.

Fuente: (Oviedo, 2005)

Dos rodillos arrastran la malla de polietileno a velocidad constante, esta velocidad de rotación puede ser controlada mediante un variador de frecuencia. La velocidad de arrastre es de 0,66 m/s. El arrastre por rodillos se muestra en la figura 10.



**Figura 10:** Arrastre por Rodillos

Fuente: (Mallatec, 2015).

## 2.4 TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

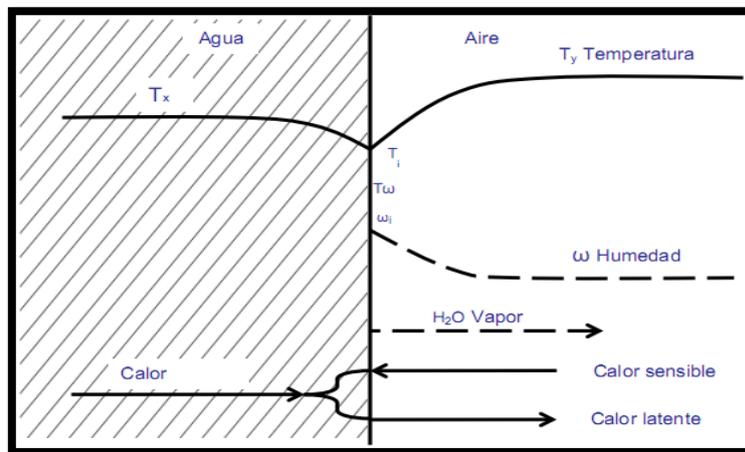
La torre de enfriamiento es una columna de sección transversal con empaques (unidades de transferencia) para hacer circular un flujo de aire en contra corriente o flujo cruzado con el agua a través de la torre. El agua se distribuye sobre el empaque por medio de boquillas de aspersion por una rejilla de muescas a través de tuberías. El aire puede circular a través del empaque mediante convección natural y también por el uso de ventiladores de corriente de aire forzada o inducida. (McCabe, 2002)

### 2.4.1 Funcionamiento

En la torre de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua cuando pasa a través de la torre debido a dos mecanismos: la transmisión de calor por convección transferencia de calor sensible y la transferencia de vapor (calor latente) desde el agua al aire, con el consiguiente enfriamiento del agua debido a la evaporación. En la transmisión de calor por convección, se produce un flujo de calor en dirección al aire que rodea el agua a causa de la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos. (McCabe, 2002)

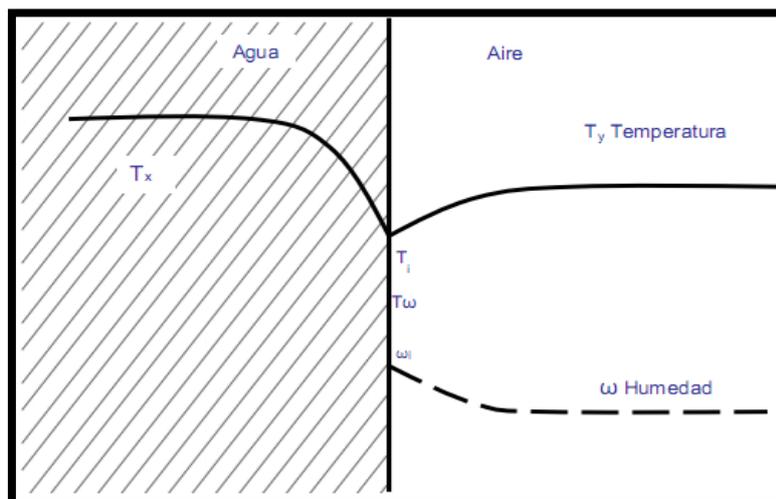
Los gradientes típicos en el fenómeno y en la parte superior de la torre de enfriamiento se muestran en las siguientes figuras figura. En el fondo, la temperatura del aire puede ser mayor que la temperatura del agua (figura 11) pero el agua se comienza a enfriar porque el agua en la superficie de contacto  $T_i$  es menor que la temperatura global del agua  $T_x$ . La humedad en la superficie de contacto es mayor que la masa global del gas, el cual proporciona una fuerza impulsora para la transferencia de masa del vapor de agua. Si la temperatura del aire de entrada es menor que la de agua de salida, (figura 12) los gradientes son similares en forma, pero existe menor transferencia de calor sensible a través de la película gaseosa. En todos los casos, la temperatura de la superficie de contacto debe ser superior a la temperatura del bulbo húmedo, puesto que si  $T_x = T_w$  todos los calores de vaporización provendrían del gas y no existiría gradiente de temperatura ni enfriamiento del agua. (McCabe, 2002)

A medida que el aire pasa hacia arriba de la torre, su temperatura podría disminuir para una distancia corta, pero eventualmente incrementará cuando el aire más caliente entre en contacto con el agua más caliente. En la parte superior los gradientes deben ser como se muestra en la figura (13). El calor transferido del agua a la superficie de contacto. La temperatura del gas tiene por lo regular unos grados menos que la temperatura del agua de entrada. (McCabe, 2002)



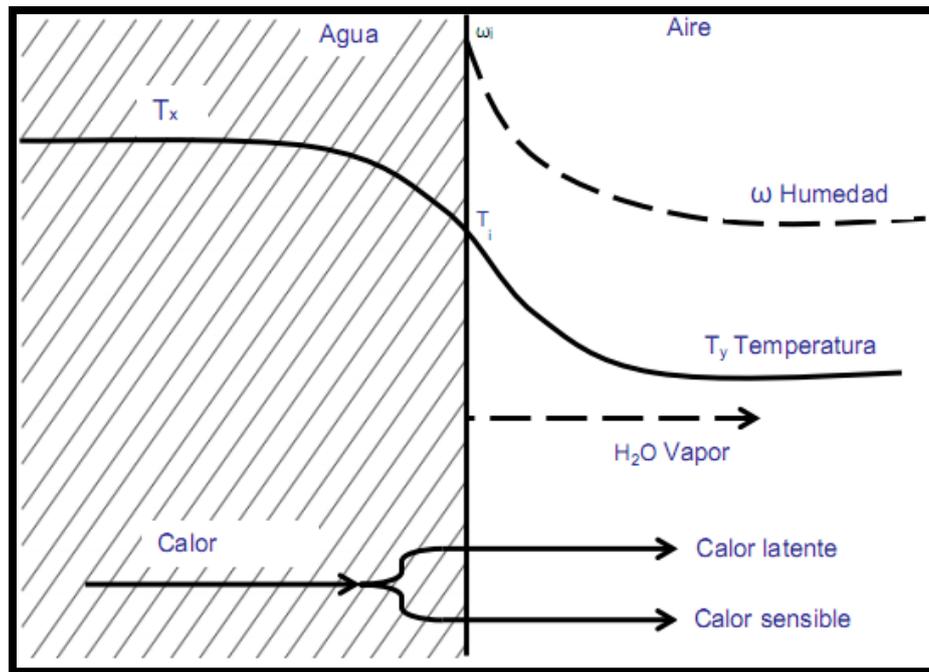
**Figura 11:** Condiciones en la torre de enfriamiento

Fuente: (McCabe, 2002)



**Figura 12:** Condiciones en el fondo de la torre

Fuente: (McCabe, 2002)



**Figura 13:** Condiciones en la parte superior de la torre

Fuente: (McCabe, 2002)

A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado relleno; de esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico. En otras palabras, el relleno sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio entre el agua y el aire. (McCabe, 2002)

La diferencia de temperaturas del agua a la salida y la temperatura húmeda del aire se llama acercamiento o aproximación, ya que representa el límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua. En la práctica este es de 3 a 8 °C (5 a 15°F). (McCabe, 2002)

Se conoce como intervalo a la diferencia de temperatura del agua desde la entrada hasta la salida y es generalmente de 6 a 17°C (10 a 30°F). (McCabe, 2002)

#### **2.4.2 Clasificación de torres de enfriamiento**

La forma usual de clasificar las torres de enfriamiento es según la forma en que se mueve el aire a través de éstas. Según este criterio, existen torres de

circulación natural y torres de tiro mecánico. En las torres de circulación natural, el movimiento del aire sólo depende de las condiciones climáticas y ambientales. Las torres de tiro mecánico utilizan ventiladores para mover el aire a través del relleno. (Treybal, 1970)

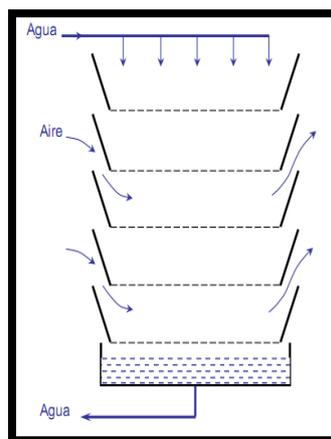
#### 2.4.2.1 Torre de circulación natural

Las torres de tiro natural se clasifican a su vez, en torres atmosféricas y en torres de tiro natural. (Treybal, 1970)

##### 2.4.2.1.1 Torres Atmosféricas

El funcionamiento de este tipo de torres es por rocíos o diferencia de densidad del agua, algunas no constan de relleno y no usan un dispositivo mecánico para el movimiento del aire. La corriente de aire a través de la torre funciona en un modelo de flujo paralelo como se puede apreciar en la figura 2.24. (Treybal, 1970)

Una torre de este tipo puede ser una solución muy económica para determinadas necesidades de refrigeración si se puede garantizar que funcionará habitualmente expuesta a vientos de velocidades iguales o superiores a los 8 km/h. (Treybal, 1970)



**Figura 14:** Torre de enfriamiento atmosférica

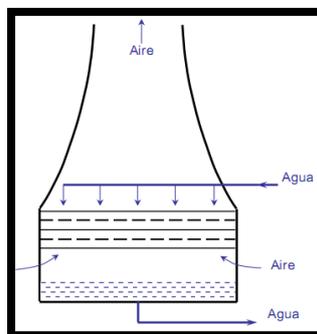
Fuente: (Treybal, 1970)

### 2.4.2.1.2 Torres de enfriamiento de tiro natural

Este tipo de torres son también llamadas torres hiperbólicas; el tiro de la torre se origina por la diferencia de densidades entre el aire húmedo caliente y el aire atmosférico que circula a través de la torre. La diferencia de velocidades entre el viento circulante a nivel del suelo y el viento que circula por la parte superior de la chimenea también ayuda a establecer el flujo de aire, por esta razón las torres de tiro natural o hiperbólicas deben ser altas y de sección transversal grande para facilitar el movimiento del aire ascendente. (Treybal, 1970)

Estas torres tienen bajos costos de mantenimiento y son muy indicadas para enfriar grandes caudales de agua. Al igual que las torres atmosféricas, no tienen partes mecánicas. La velocidad media del aire a través de la torre suele estar comprendida entre 1 y 2 m/s. Las torres de tiro natural no son adecuadas cuando la temperatura seca del aire es elevada, ya que ésta debe ser siempre inferior a la del agua caliente, además no es posible conseguir un valor de acercamiento pequeño y es muy difícil controlar la temperatura del agua. (Treybal, 1970)

Estas torres son muy utilizadas en centrales térmicas y muy pocas veces son aplicables a plantas industriales debido a la fuerte inversión inicial necesaria. (Treybal, 1970)



**Figura 15:** Torre de enfriamiento de tiro natural

Fuente: (Treybal, 1970)

### 2.4.2.2 Torres de Tiro Mecánico

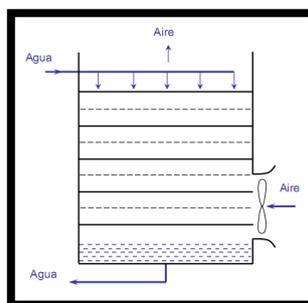
Las torres de tiro mecánico proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado. Se trata de torres compactas, con una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural. (Treybal, 1970)

En este tipo de torre se puede controlar de forma precisa la temperatura de salida del agua, y se pueden lograr valores de acercamiento muy pequeños (en teoría de hasta de 1 o 2 °C, aunque en la práctica de 3 o 4 °C). (Treybal, 1970)

Las torres de tiro mecánico se subdividen en torres de tiro forzado y de tiro inducido. Si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire, el tiro es forzado y cuando el ventilador se ubica en la zona de descarga del aire, se habla de tiro inducido. (Treybal, 1970)

#### 2.4.2.2.1 Torres de Tiro Mecánico Forzado

En las torres de tiro forzado el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre. Estas torres son casi siempre de flujo a contracorriente. La velocidad de circulación en estas torres es superior a las normales en las columnas de tiro natural, por lo que la altura de relleno puede ser mayor que en estas últimas logrando aumentar la superficie de contacto aire agua. (Treybal, 1970)



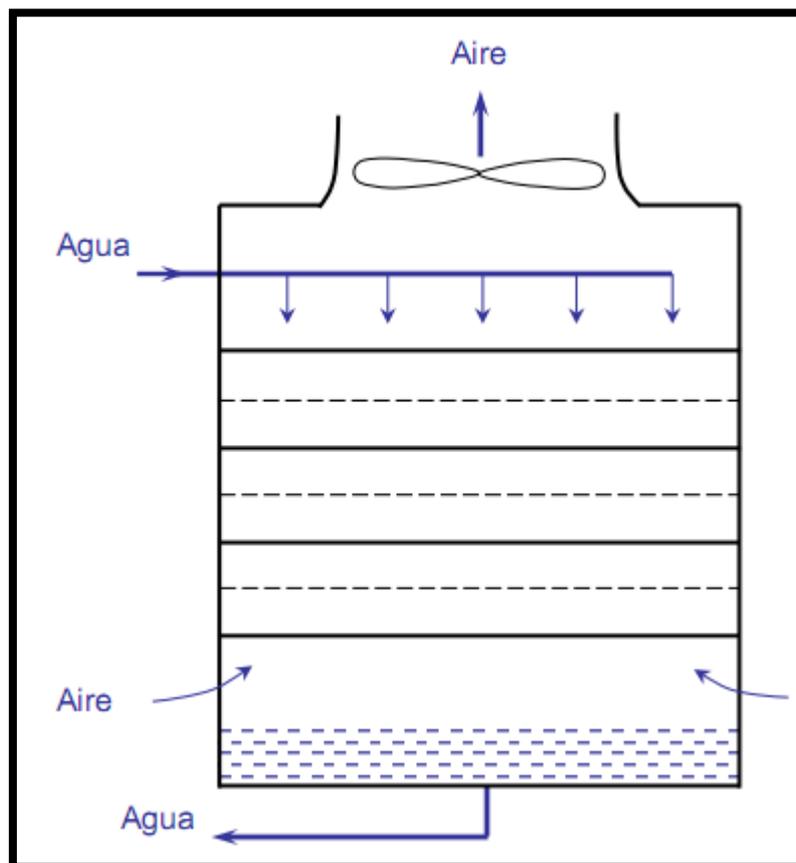
**Figura 16:** Torre de enfriamiento de tiro forzado

Fuente: (Treybal, 1970)

El aire que se mueve a través de la torre es aire frío de mayor densidad que en el caso de tiro inducido, significa que el equipo mecánico tendrá mayor duración, ya que el ventilador trabaja con aire frío y no saturado, menos corrosivo que el aire caliente y saturado de la salida. Como inconveniente debe mencionarse que exista la posibilidad de recirculación del aire de salida hacia la zona de baja presión, creada por el ventilador en la entrada de aire. (Treybal, 1970)

#### 2.4.2.2 Torres de Tiro Mecánico Inducido

Las torres de tiro inducido pueden ser de flujo a contracorriente o de flujo cruzado. El flujo a contracorriente significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tienen la misma dirección, pero sentido opuesto. (Treybal, 1970)



**Figura 17:** Torre de enfriamiento de tiro inducido (Treybal, 1970)

La ventaja que tiene este tipo de torres es que el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco, lográndose un máximo rendimiento. En éstas, el aire puede entrar a través de una o más paredes de la torre, con lo cual se consigue reducir en gran medida la altura de la entrada de aire. Una desventaja es la elevada velocidad del aire, ya que hace que exista el riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre. (Treybal, 1970)

### **2.4.3 Componentes**

Las partes o componentes básicos para que de operación de una torre de enfriamiento son: (Marley, 2001)

- 1) Estructura
- 2) Distribuidor de agua de ingreso
- 3) Relleno de la Torre
- 4) Sistema de recolección de agua
- 5) Sistema de distribución de agua

#### **2.4.3.1 Estructura**

La estructura de la torre de enfriamiento está constituida básicamente de vigas y columnas de perfiles metálicos debidamente dimensionados. El diseño de la estructura base de la torre de enfriamiento debe ser lo suficientemente robusto ya que se debe tomar en cuenta la carga de los accesorios (relleno, distribuidores de agua, tuberías, tanque de recolección o tina etc.); el peso mismo del agua que este circulando en la torre y para los casos de torres que funcionen en zonas donde existan vientos fuertes para soportar las cargas de viento. (Marley, 2001)

#### **2.4.3.2 Distribuidor de Agua de Ingreso**

El agua caliente ingresa a la torre de enfriamiento por su parte superior y se distribuye sobre el relleno de la torre, ya sea por gravedad o por presión. La distribución por gravedad es usualmente empleada en torres de flujo cruzado donde el agua es bombeada a la parte superior de la torre hacia un recipiente desde donde fluye través de orificios ubicados en el fondo del mismo. (Marley, 2001)

#### **2.4.3.3 Relleno de la Torre**

En las torres de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de refrigeración mediante la transferencia de calor y materia al aire que circula por el interior de la torre. A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado "relleno". El agua entra en la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando distribuidores por presión o pulverizadores. De esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico. (Marley, 2001)

El relleno sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio entre el agua y el aire. Una vez establecido el contacto entre el agua y el aire, tiene lugar una sección de calor del agua hacia el aire; esto se produce debido a dos mecanismos: la transmisión de calor por convección y la transferencia de vapor desde el agua al aire, con el consiguiente enfriamiento del agua debido a la evaporación. (Marley, 2001)

#### **2.4.3.4 Sistema de Recolección de Agua**

La torre utiliza un sistema de recolección de agua colocado por debajo del relleno. El sistema de recolección de agua colecta el agua fría a medida que cae desde el relleno, el tanque de recolección de agua debe estar lo suficientemente separado del relleno para permitir que el flujo de aire frío y seco en la parte baja de la torre abastezca la cantidad de aire necesario al equipo mecánico. (Marley, 2001)

#### **2.4.3.5 Sistema de Distribución de Agua**

La eficiencia global de una torre de enfriamiento está directamente relacionada con el diseño del sistema de distribución de agua caliente. La consideración principal en la selección del tipo de sistema de distribución de agua para una aplicación específica es la cabeza a vencer por la bomba. La cabeza de la bomba impuesta por una torre de enfriamiento consiste de la altura estática (relativa a la altura desde la entrada, más la presión necesaria para mover el agua a través del sistema de distribución y sobre el relleno). (Marley, 2001)

### **2.5 TEORIA DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

La transferencia de calor y de masa es una ciencia básica que trata de la rapidez de transferencia de energía térmica. Tiene una amplia área de aplicación que va desde los sistemas biológicos hasta los aparatos domésticos comunes, pasando por los edificios residenciales y comerciales, los procesos industriales, los aparatos electrónicos y el procesamiento de alimentos. (Cengel, 2007)

#### **2.5.1 Mecanismos de Transferencia de Calor**

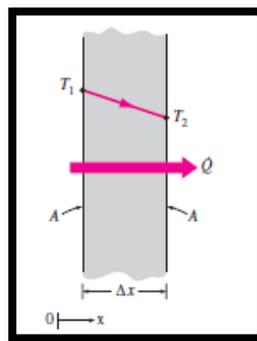
El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. Enseguida se da una breve descripción de cada modo. (Cengel, 2007)

##### **2.5.1.1 Conducción**

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las co-lisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento

aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres. Por ejemplo, llegará el momento en que una bebida enlatada fría en un cuarto cálido se caliente hasta la temperatura ambiente como resultado de la transferencia de calor por conducción, del cuarto hacia la bebida, a través del aluminio. (Cengel, 2007)

Por tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir, (Cengel, 2007)



**Figura 18:** Conducción de calor a través de una pared plana de espesor

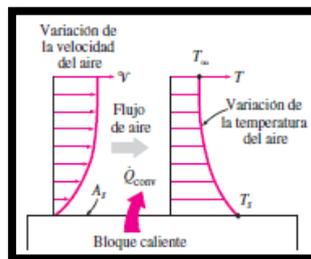
Fuente: (Cengel, 2007).

### 2.5.1.2 Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la

transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia. (Cengel, 2007)

Considere el enfriamiento de un bloque caliente al soplar aire frío sobre su superficie superior. La energía se transfiere primero a la capa de aire adyacente al bloque, por conducción. Enseguida, esta energía es acarreada alejándola de la superficie, por convección; es decir, por los efectos combinados de la conducción dentro del aire, que se debe al movimiento aleatorio de moléculas de éste, y del movimiento masivo o macroscópico de ese aire que remueve el aire calentado cercano a la superficie y lo reemplaza por otro más frío. (Cengel, 2007)

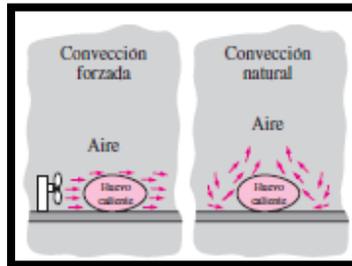


**Figura 19:** Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección

Fuente: (Cengel, 2007).

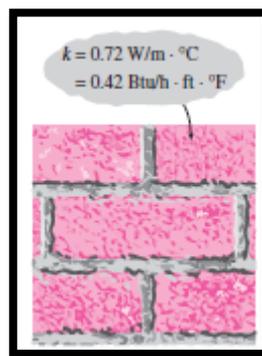
La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. Por ejemplo, en ausencia de un ventilador, la transferencia de calor del bloque caliente de la figura 2.21 será por convección natural, ya que, en este caso, cualquier movimiento en el aire se deberá a la elevación del aire más caliente ( $\gamma$ , por tanto, más ligero) cercano a la superficie y la caída del más frío ( $\gamma$ , por tanto, más pesado) para llenar su lugar. La transferencia de calor entre el bloque y el aire circundante será por conducción si la diferencia de temperatura entre el aire y el bloque no es suficientemente

grande como para vencer la resistencia de ese aire al movimiento y, por consiguiente, para iniciar corrientes naturales de convección. (Cengel, 2007)



**Figura 20:** Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada natural

Fuente: (Cengel, 2007).



**Figura 21:** Transferencia de calor en un bloque caliente

Fuente: (Cengel, 2007).

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación. (Cengel, 2007)

### 2.5.1.3 Radiación.

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las

configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra. (Cengel, 2007)

En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. (Cengel, 2007)

Es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos x, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica. (Cengel, 2007)

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos. (Cengel, 2007)

## 2.6 BOMBAS

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través de sistemas de tuberías. En capítulos anteriores se vio la aplicación general de ellas. De la ecuación general de la energía, se aprendió a determinar la energía que una bomba agrega al fluido, la cual se denomina  $h_a$ . Al despejar  $h_a$  de la ecuación general de la energía, se llega a

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_L \quad (2-1)$$

A este valor de  $h$  se le llama carga total sobre la bomba. Algunos fabricantes de bombas se refieren a él como carga dinámica total (TDH). (Mott, 1996)

A esta ecuación se debe interpretar como una expresión del conjunto total de tareas que tiene que realizar la bomba en un sistema dado. (Mott, 1996)

- En general, debe elevar la presión del fluido, desde la que tiene en la fuente  $P_1$  hasta la que tendrá en el punto de destino  $P_2$ .
- Debe subir el fluido, desde el nivel de la fuente  $Z_1$ , al nivel de destino  $Z_2$ .
- Tiene que incrementar la carga de velocidad en el punto 1 a la del punto 2.
- Se necesita que compense cualesquiera pérdidas de energía en el sistema, debido a la fricción en las tuberías o en válvulas, acoplamientos, componentes del proceso o cambios en el área o dirección del flujo.

La potencia que una bomba trasmite al fluido se la denomina  $P_A$ :

$$P_A = h_\alpha \gamma Q \quad (2-2)$$

Hay pérdidas inevitables de energía en la bomba debido a la fricción mecánica y a la turbulencia que se crea en el fluido cuando pasa a través de ella. Por tanto, se requiere más potencia para impulsar la bomba que la cantidad que eventualmente se transmite al fluido. Se utiliza la eficiencia de la bomba  $e_M$  para determinar la potencia de entrada de la bomba  $P_1$ : (Mott, 1996)

$$e_M = P_A/P_1 \quad (2-3)$$

$$P_1 = P_A/e_M \quad (2-4)$$

### 2.6.1 Parámetros para la selección de la bomba.

Al seleccionar una bomba para una aplicación específica, debe considerar los factores siguientes: (Mott, 1996)

1. Naturaleza del líquido para bombear.

2. Capacidad requerida (flujo volumétrico).
3. Condiciones del lado de succión (entrada) de la bomba.
4. Condiciones del lado de descarga (salida) de la bomba.
5. Carga total sobre la bomba (termino  $h_a$  de la ecuación de la energía).
6. Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
7. Tipo de fuente de potencia (motor eléctrico, motor diésel, turbina de vapor, otros).
8. Limitaciones de espacio, peso y posición.
9. Condiciones ambientales.
10. Costo de adquisición e instalación de la bomba.
11. Costo de operación de la bomba.
12. Códigos y estándares gubernamentales.

La naturaleza del fluido se caracteriza por su temperatura y condiciones de bombeo, gravedad específica, viscosidad y tendencia a corroer o erosionar las partes de la bomba y su presión de vapor a la temperatura del bombeo. El termino presión de vapor se emplea para definir la presión en la superficie libre de un fluido debido a la formación de vapor. La presión de vapor se hace más alta conforme aumenta la temperatura del líquido, y es esencial que la presión en la entrada de la bomba permanezca por arriba de la presión de vapor del fluido. (Mott, 1996)

Después de seleccionar la bomba debe especificarse lo siguiente:

1. Tipo de bomba y su fabricante.
2. Tamaño de la bomba.
3. Tamaño de la conexión de succión y su tipo (bridada, atornillada y otras).
4. Tamaño y tipo de la conexión de descarga.
5. Velocidad de operación.
6. Especificaciones para el impulsor (por ejemplo: para un motor eléctrico — potencia que requiere, velocidad, voltaje, fase, frecuencia, tamaño del chasis y tipo de cubierta).
7. Tipo de acoplamientos, fabricante y número de modelo.

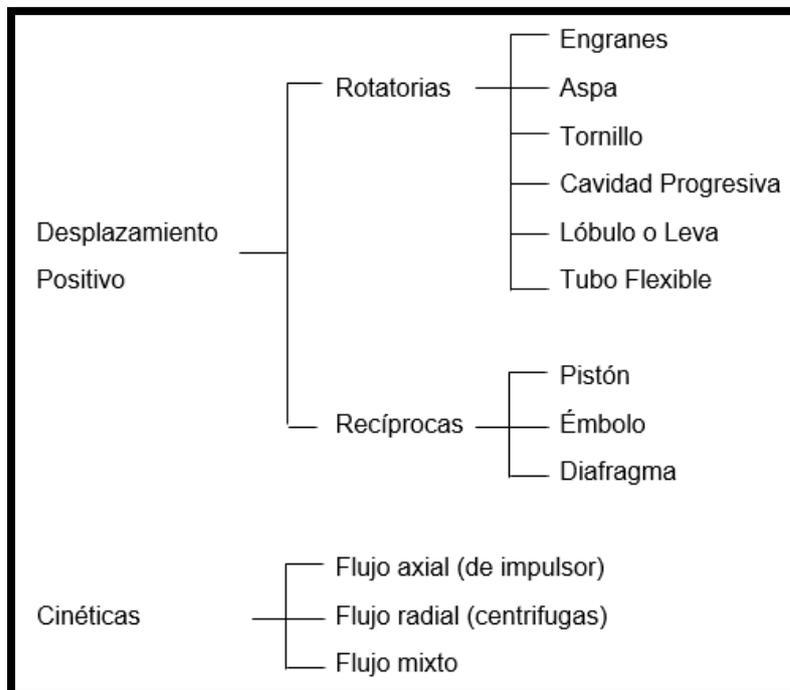
8. Detalles de montaje.
9. Materiales y accesorios especiales que se requiere, si hubiera alguno.
10. Diseño y materiales del sello del eje.

Los catálogos de bombas y los representantes del fabricante proporcionan la información necesaria para seleccionar y cumplir las especificaciones de las bombas y el equipo accesorio. (Mott, 1996)

### 2.6.2 Tipos de Bombas

Es común que se clasifiquen las bombas como de desplazamiento positivo o cinéticas; en la tabla 8 se muestra varios tipos de cada una. El tipo de bomba de chorro o eyectora es una versión especial de bomba cinética centrífuga. (Mott, 1996)

**Tabla 8.** Clasificación de los tipos de bombas



Fuente: (Mott, 1996)

### **2.6.2.1 Bomba de Engranés**

Se compone de dos engranes que giran dentro de una carcasa, en sentido contrario y muy ajustados uno con el otro. La periferia exterior de los dientes del engrane se ajusta muy bien con la superficie interior de la carcasa. Se lleva fluido del almacenamiento del suministro al puerto de la succión, y se conduce en los espacios entre los dientes al puerto de descarga, desde donde se envía a alta presión al sistema. La presión con que se envía depende de la resistencia del sistema. (Mott, 1996)

### **2.6.2.2 Bomba de Pistón**

Los pistones llevan en forma alternada fluido al interior de sus cilindros a través de válvulas de succión, y luego lo fuerzan a salir por válvulas de descarga contra la presión del sistema. La entregare fluido varia de cero al máximo, si se cambia el ángulo de la placa y con ello la carrera de los pistones. La capacidad de presión llega hasta 5000 psi (34.5 MPa). (Mott, 1996)

### **2.6.2.3 Bomba de aspas**

La bomba de aspas, que también se utiliza para potencia de fluido consiste en un rotor excéntrico que contiene un conjunto de aspas deslizantes que corren dentro de una carcasa. Un anillo de levas en la carcasa controla la posición radial. (Mott, 1996)

### **2.6.2.4 Bomba de tornillo**

Una desventaja de las bombas de engranes, pistón y aspas es que distribuyen un flujo por impulsos hacia la salida, debido a que cada elemento funcional mueve un elemento, volumen capturado, de fluido de la succión a la descarga. Las bombas de tomillo no tienen este problema. (Mott, 1996)

### **2.6.2.5 Bomba de cavidad progresiva**

La bomba de cavidad progresiva produce un flujo suave no pulsa, y se utiliza sobre todo para enviar fluidos de procesos, más que en aplicaciones hidráulicas. Conforme el rotor central grande gira dentro del estator, se forman cavidades que avanzan hacia el extremo de descarga de la bomba que mueve el material en cuestión. (Mott, 1996)

### **2.6.2.6 Bomba de Lóbulo**

La bomba de lóbulo llamada a veces bomba de levas, opera en forma similar a la de engranes. Los dos rotores que giran en sentido contrario tienen dos, tres o más lóbulos que coinciden uno con otro y se ajustan muy bien en su contenedor.

El fluido se mueve alrededor de la cavidad formada entre los lóbulos contiguos. (Mott, 1996)

### **2.6.2.7 Bomba de pistón para transferencia de fluidos.**

Las bombas de pistón para transferencia de fluidos se clasifican como simplex (de actuación única) o dúplex (de actuación doble), y aparecen en la figura 13.5. En principio son similares a las bombas de pistón de potencia de fluido, pero es común que tengan una capacidad de flujo mayor y operen a presiones bajas. Además, por lo general operan por medio de un impulsor tipo cigüeñal, en lugar de la placa de derrame descrita antes. (Mott, 1996)

### **2.6.2.8 Bomba de diafragma**

En la bomba de diafragma, una barra reciprocante mueve un diafragma flexible dentro de una cavidad, con lo que descarga fluido conforme aquel se mueve a la izquierda, y lo empuja cuando va hacia la derecha, en forma alternada. (Mott, 1996)

### **2.6.2.9 Bomba peristáltica**

La bomba peristáltica es única en cuanto a que el fluido se captura por completo dentro de un tubo flexible a través del ciclo de bombeo. El tubo se dirige entre un conjunto de rodillos giratorios y una carcasa fija. (Mott, 1996)

### **2.6.2.10 Bomba cinética**

Las bombas cinéticas agregan energía al fluido cuando lo aceleran con la rotación de un impulsor. El fluido se lleva al centro del impulsor y después es lanzado hacia fuera por las aspas. (Mott, 1996)

### **2.6.2.11 Bomba de chorro**

Las bombas de chorro, que se utilizan con frecuencia en sistemas hidráulicos domésticos, están compuestas por una bomba centrífuga junto con un ensamble de chorro o eyector. Una configuración común de bomba de chorro de pozo profundo, donde la bomba principal y el motor se encuentran a nivel del terreno en la boca del pozo, y el ensamble del chorro esta abajo, cerca del nivel del agua. (Mott, 1996)

### **2.6.2.12 Bomba sumergible**

Las bombas sumergibles están diseñadas de modo que pueda sumergirse todo el conjunto de la bomba centrífuga, el motor impulsor y los aparatos de succión y descarga. (Mott, 1996)

### **2.6.2.13 Bomba centrífuga pequeña**

Aunque la mayoría de estilos de las bombas centrífugas estudiadas tienen un tamaño suficiente y están diseñadas para aplicaciones industriales y comercia

les, hay unidades pequeñas para usarse en aparatos chicos como lavadoras de ropa y trastos, así como para productos de escala pequeña. (Mott, 1996)

#### **2.6.2.14 Bomba de autoarranque**

Es esencial que existan las condiciones adecuadas en el puerto de succión de una bomba cuando este arranque, con objeto de garantizar que el fluido llegue al impulsor y se establezca un flujo estable de líquido. El termino arranque describe este proceso. El método predilecto para arrancar una bomba consiste en colocar la fuente del fluido arriba de la línea central del impulsor, y dejar que por efecto de la gravedad llene el puerto de succión. (Mott, 1996)

#### **2.6.2.15 Bomba vertical de turbina**

Es frecuente que el bombeo del fluido de un tanque se realice de mejor modo por medio de una bomba vertical de turbina. La bomba se monta directamente sobre el tanque, en una brida soportando la carga de descarga donde está conectada la tubería de salida. (Mott, 1996)

#### **2.6.2.16 Bomba centrífuga de molino**

Cuando es necesario bombear líquidos que contienen una variedad de sólidos, una buena solución es utilizar una bomba con un molino integrado a ella. El molino se halla adjunto al eje impulsor en la entrada de la bomba, de modo que reduce el tamaño de los sólidos antes de que pasen al impulsor y vayan al tubo de descarga para su disposición final. (Mott, 1996)

## **2.7 SENSORES.**

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. (Pallás, 1989)

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos. Transductor, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas. Para el caso en que lo fueran se propuso el término modificador, pero no ha encontrado aceptación. (Pallás, 1989)

La distinción entre transductor de entrada (señal física/señal eléctrica) y transductor de salida (señal eléctrica/presentación) está prácticamente en desuso. La tendencia actual, particularmente en robótica, es emplear el término sensor (o captador en bibliografía francesa) para designar el transductor de entrada, y el término actuador o accionamiento para designar el transductor de salida. Los primeros pretenden la obtención de información, mientras que los segundos buscan la conversión de energía. (Pallás, 1989)

Por lo que se utiliza el término sensor para referirse a los transductores de entrada. No se tratan los accionamientos o transductores de salida. A veces, sobre todo en el caso de la medida de magnitudes mecánicas, puede señalarse la presencia de un elemento designado como sensor primario, que convierte la variable de medida en una señal de medida, siendo el sensor electrónico quien la convierte en una señal eléctrica. (Pallás, 1989)

### **2.7.1 Tipos de Sensores.**

El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes físicas es tan elevado que no se puede proceder racionalmente a su estudio sin clasificarlos previamente de acuerdo con algún criterio. (Pallás, 1989)

Según el aporte de energía, los sensores se pueden dividir en moduladores y generadores. En los sensores moduladores o activos, la energía de la señal de salida procede, en su mayor parte, de una fuente de energía auxiliar. La entrada sólo controla la salida. En los sensores generadores o pasivos, en cambio, la energía de salida es suministrada por la entrada. (Pallás, 1989)

Los sensores moduladores requieren en general más hilos que los generadores, ya que la energía de alimentación suele suministrarse mediante hilos distintos a los empleados para la señal. Además, esta presencia de energía auxiliar puede crear un peligro de explosiones en algunos ambientes. Por contra, su sensibilidad se puede modificar a través de la señal de alimentación, lo que no permiten los sensores generadores. La designación de activos y pasivos se emplea en algunos textos con significado opuesto al que se ha dado, por lo que aquí no se hará uso de ella para evitar confusiones. (Pallás, 1989)

Según la señal de salida, los sensores se clasifican en analógicos o digitales. En los analógicos la salida varía, a nivel macroscópico, de forma continua. La información está en la amplitud, si bien se suelen incluir en este grupo los sensores con salida en el dominio temporal. Si es en forma de frecuencia, se denominan, a veces, casi digitales, por la facilidad con que se puede convertir en una salida digital. (Pallás, 1989)

En los sensores digitales, la salida varía en forma de saltos o pasos discretos. No requieren conversión A/D y la transmisión de su salida es más fácil. Tienen también mayor fidelidad y mayor habilidad, y muchas veces mayor exactitud, pero lamentablemente no hay modelos digitales para muchas de las magnitudes físicas de mayor interés. (Pallás, 1989)

Atendiendo al modo de funcionamiento, los sensores pueden ser de deflexión o de comparación. En los sensores que funcionan por deflexión, la magnitud medida produce algún efecto físico, que engendra algún efecto similar, pero opuesto, en alguna parte del instrumento, y que está relacionado con alguna variable útil. Un dinamómetro para la medida de fuerzas es un sensor de este tipo en el que la fuerza aplicada deforma un muelle hasta que la fuerza de recuperación de éste, proporcional a su longitud, iguala la fuerza aplicada. (Pallás, 1989)

En los sensores que funcionan por comparación, se intenta mantener nula la deflexión mediante la aplicación de un efecto bien conocido, opuesto al generado por la magnitud a medir. Hay un detector del desequilibrio y un medio

para restablecerlo. En una balanza manual, por ejemplo, la colocación de una masa en un platillo provoca un desequilibrio, indicado por una aguja sobre una escala. El operario coloca entonces una o varias masas en el otro platillo hasta alcanzar el equilibrio, que se juzga por la posición de la aguja. (Pallás, 1989)

Las medidas por comparación suelen ser más exactas porque el efecto conocido opuesto se puede calibrar con un patrón o magnitud de referencia de calidad. (Pallás, 1989)

Según el tipo de relación entrada-salida, los sensores pueden ser de orden cero, de primer orden, de segundo orden o de orden superior. El orden está relacionado con el número de elementos almacenadores de energía independientes que incluye el sensor, y repercute en su exactitud y velocidad de respuesta. Esta clasificación es de gran importancia cuando el sensor forma parte de un sistema de control en lazo cerrado. (Pallás, 1989)

En la tabla 6 se recogen todos estos criterios de clasificación y se dan ejemplos de sensores de cada clase. Cualquiera de estas clasificaciones es exhaustiva, y cada una tiene interés particular para diferentes situaciones de medida. Ahora bien, para el estudio de un gran número de sensores se suele acudir a su clasificación de acuerdo con la magnitud medida. Se habla, en consecuencia, de sensores de temperatura, presión, caudal, humedad, posición, velocidad, aceleración, fuerza, par, etc. Sin embargo, esta clasificación difícilmente puede ser exhaustiva ya que la cantidad de magnitudes que se pueden medir es prácticamente inagotable. (Pallás, 1989)

**Tabla 6.**

Clasificación de los sensores

<b><i>Criterio</i></b>	<b><i>Clases</i></b>	<b><i>Ejemplos</i></b>
Aporte de energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar

Continua

Señal de salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición
Modo de operación	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servo acelerómetro

Fuente: (Pallás, 1989)

Desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, es más atractiva la clasificación de los sensores de acuerdo con el parámetro variable: resistencia, capacidad, inductancia, añadiendo luego los sensores generadores de tensión, carga o corriente, y otros tipos no incluidos en los anteriores grupos. Si bien este tipo de clasificación es poco frecuente, es el elegido en este texto, pues permite reducir el número de grupos a unos pocos y se presta bien al estudio de los acondicionadores de señal asociados. En la tabla 9 se recogen los sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes. (Pallás, 1989)

Tabla 7.

Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes

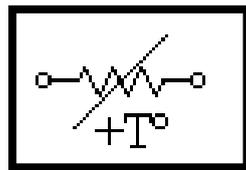
Sensores	Magnitudes								
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad
<b>Resistivos</b>	Potenciómetros Galgas Magneto resistencias		Galgas masa-resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas voladizo Termistores	Potenciómetro flota- dor Termistores LDR	Galgas	Humistor
<b>Capacitivos</b>	Condensador diferencial				Condensador variable * diafragma		Condensador variable	Galgas capacitivas	Dieléctrico variable
<b>Inductivos y electromagnéticos</b>	LVDT Corrientes Foucault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVOT + masa-resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVOT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magneto-elástico LVDT + célula carga	
<b>Generadores</b>			Piezoeléctricos + masa-resorte	Termopares Piezoeléctricos Osciladores de cuarzo Diodo	Piezoeléctricos			Piezoeléctrico	
<b>Digitales</b>	Codificadores In- crementales y absolutos	Codificadores incrementales		Transistor	Codificador Tubo Bourdon	Vórtices			SAW
<b>Uniones p-n</b>	Fotoeléctricos			Convertidores T/I			Fotoeléctricos		
<b>Ultrasonidos</b>	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito Vórtices	Reflexión Absorción		

Fuente: (Pallás, 1989)

### 2.7.1.1 Detectores de temperatura resistivos (rtd)

Los detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con sus siglas inglesas RTD (Resistance Temperature Detector). Dado que el material empleado con mayor frecuencia para esta finalidad es el platino, se habla a veces de PRT (Platinum Resistance Thermometer). (Pallás, 1989)

El símbolo general para estos dispositivos es el de la figura 2.12. La línea recta en diagonal sobre el resistor indica que varía de forma intrínseca lineal, y la anotación junto a dicha línea denota que la variación es debida a la temperatura y tiene coeficiente positivo. (Pallás, 1989)



**Figura 22:** Símbolo de un detector de temperatura resistivo

Fuente: (Pallás, 1989)

El fundamento de las RTD es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. En un conductor, el número de electrones disponibles para la conducción no cambia apreciablemente con la temperatura. Pero si ésta aumenta, las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio son mayores, y así dispersan más eficazmente a los electrones, reduciendo su velocidad media. Esto implica un coeficiente de temperatura positivo, es decir, un aumento de la resistencia con la temperatura. (Pallás, 1989)

### 2.7.1.2 Tipos de RTD

Dependiendo de su forma, tamaño, el medio, el tipo de metal utilizado, y precisión, existen diferentes tipos de RTD. A continuación, se muestran la clasificación de estos: (Quintero, 2011)

- **Forma constructiva:** En esta categoría, los RTD pueden ser clasificados en distintas formas:

Sensor de tipo bobinado: Estos tipos de sensores se encuentran diseñados con una cubierta cerámica con embobinado en el núcleo. La bobina del núcleo puede ser circular o plano, pero siempre debe estar acompañado de algún aislante eléctrico. Se toma específicamente un acero inoxidable en el núcleo para cerrar la unión de la expansión con el platino, Luego es templado y se recubre, proporcionando un completo sellamiento de la sensibilidad del elemento. (Quintero, 2011)

Sensor de tipo laminado: Está fabricado depositando una delgada capa de platino en un sustrato de cerámica. La envoltura de platino es cubierta con una resina o vidrio, ayudando a proteger la envoltura de platino disminuyendo la deformación de los cables. Sus ventajas son su bajo costo y su baja masa térmica, haciendo que el sensor manifieste respuestas en corto tiempo de manera práctica. Sin embargo, estos tipos de sensores no son tan estables comparados con los sensores de tipo bobinado. (Quintero, 2011)

Sensor de tipo enroscado: Se construyen a partir de una bobina helicoidal de alambre de platino. Los conductores se insertan a través de un tubo de óxido de aluminio con 4 agujeros equiespaciados. Los orificios son rellenados con polvo cerámico, evitando cortocircuitos y posibles vibraciones durante la medición. (Quintero, 2011)

Sensor de tipo de anillo hueco: El sensor de anillo hueco utiliza un metal de composición abierta aumentando el fluido del contacto con masa térmica pequeña, lo que ayuda a proporcionar un tiempo de respuesta más rápido. Su área externa está totalmente recubierta con material aislante. Una desventaja de estos tipos de sensores es su alto costo. (Quintero, 2011)

- **Tamaño:** Este criterio está estrechamente relacionado con la velocidad de respuesta del sensor, se pueden encontrar RTDs en miniatura utilizadas donde se requiera medir la temperatura en un punto medio, hasta RTDs

de varios centímetros de longitud utilizadas en aplicaciones para medir la temperatura promedio de un medio. (Quintero, 2011)

- Características del medio: En esta categoría, se evidencian dos grandes grupos, que son los de inmersión en fluidos y los de contacto superficial. Los primeros suelen ser bobinados, protegidos con una envolvente metálica que generalmente es acero inoxidable. Mientras que los de contacto superficial suelen ser de película delgada ensamblados sobre sustratos planos o flexibles para adaptarse a la forma de las superficies. (Quintero, 2011)
- Tipo de metal utilizado: La linealidad juega un papel importante en esta categoría. (Quintero, 2011)

Platino: Es el material más utilizado para la construcción de los RTDs, debido a su estabilidad y a que es naturalmente predecible. Además, se caracterizan por su resistencia a la corrosión y oxidación, y presentan medidas reproducibles a temperaturas elevadas. (Quintero, 2011)

Los RTDs de platino se construyen en dos clases, dependiendo de su exactitud: clase A y clase B, en donde la clase A se considera de alta exactitud y su tolerancia en punto de hielo es  $\pm 0,06$  y clase B, de exactitud estándar su tolerancia es de  $\pm 0,12$ . (Quintero, 2011)

Níquel: Su nivel de impedancia va a ser más elevada con respecto a la variación de la temperatura. No presenta linealidad entre su resistencia y la temperatura. Presenta problemas de oxidación poniendo en riesgo la reproductibilidad de las medidas y su utilización para las distintas aplicaciones. Sin embargo, una ventaja del níquel además de presentar mayor sensibilidad que el platino es la posibilidad de ser linealizado, utilizando un circuito de acondicionamiento de Wheaston equilibrado a una temperatura específica. (Quintero, 2011)

Cobre: Su comportamiento de resistencia con respecto a la temperatura es uniforme. Es más económico que el platino y el níquel. Sin embargo, presenta una baja resistividad y además sus características impiden su utilización en temperaturas mayores a 180°C. Esto indica que, aunque presente una mayor relación lineal con respecto a las demás, maneja un estrecho rango de medidas.

Existen otros materiales con los que se puede construir estos tipos de sensores, como, por ejemplo, el Tungsteno, que presenta características importantes, como su capacidad de realizar mediciones a temperaturas mayores que el platino alcanza. Sin embargo, no son utilizados en la industria, ya que debido a sus propiedades presenta una baja estabilidad.

- Precisión: Para clasificar los RTD's en función de sus tolerancias existen ciertas normas, como la UNE-EN60751 que precisa dos clases de tolerancia para las RTD's de platino, los clase A y B. En la clase A, el error en la temperatura en °C se encuentra acotado en  $0,15 \pm 0,002T$  y en las de clase B en  $0,3 \pm 0,002T$ , donde T esta en Kelvin. (Quintero, 2011)

### **2.7.1.3 Acondicionamiento de la Señal**

Para medir la temperatura implica medir la resistencia de la RTD, mediante su curva o tabla de calibración. Pero este método no ofrece una señal eléctrica proporcional a la temperatura objeto de medición que pueda ser registrada o medida fácilmente. Si se hace circular una corriente I conocida teniendo en cuenta la limitación que impone el auto calentamiento, por la RTD, se mide la tensión a través de la misma, esta señal eléctrica será directamente proporcional a la temperatura. (Quintero, 2011)

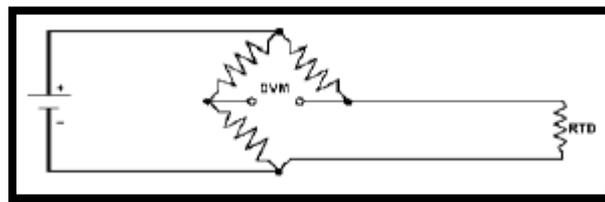
El puente de Wheatstone es un dispositivo eléctrico de medida utilizado para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Conformado por 4 resistencias, una fuente de tensión y un galvanómetro. Las sondas de resistencias se conectan a estos puentes, en configuraciones de dos, tres o cuatro hilos. (Quintero, 2011)

Los RTD's pueden construirse con 2,3 o 4 hilos conductores extendidos desde el sensor.

Es importante considerar:

- Exactitud Requerida.
- Estabilidad.
- Ubicación del dispositivo receptor.
- Condiciones ambientales.
- Rango y resistencia nominal del sensor.

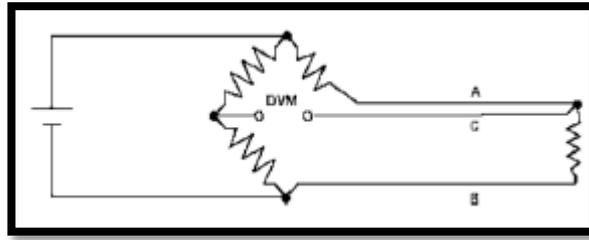
RTD de dos conductores: Es la configuración más simple y menos costosa. El aplicar este dispositivo proporciona una medida de temperatura acertada cuando el dispositivo receptor se encuentra conectado directamente al receptor, sin utilizar cables de extensión. (Quintero, 2011)



**Figura 23:** Configuración de dos hilos

Fuente: (Quintero, 2011)

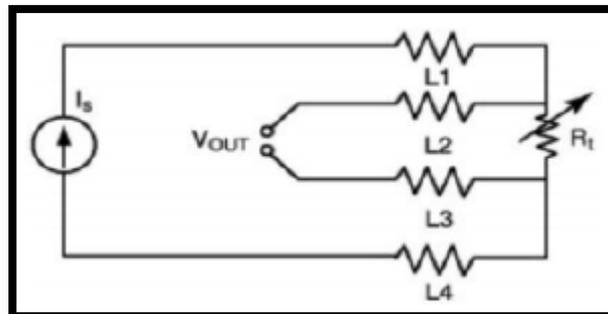
RTD de tres conductores: La sonda se encuentra conectada mediante tres hilos al puente. De esta forma, la temperatura ni la longitud de los cables afectan la medida. Esta configuración también se encuentra sujeta a corrosión. (Quintero, 2011)



**Figura 24:** Configuración de tres hilos

Fuente (Quintero, 2011)

RTD de cuatro conductores: Se utiliza para obtener la mayor precisión posible en la medida, como en el caso de los convertidores digitales de temperatura o la calibración de patrones de resistencias. Se pueden utilizar conductores de menor calibre, ya que no hay problema con la resistencia del cable. (Quintero, 2011)



**Figura 25:** Configuración de cuatro hilos

Fuente: (Quintero, 2011)

## 2.8 PLC

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. (Wilde, 2010)

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. (Wilde, 2010)

Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. (Wilde, 2010)

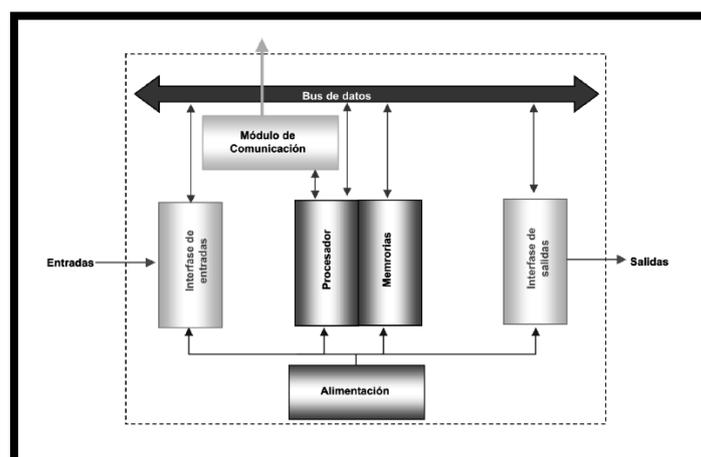
Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez. (Wilde, 2010)

### 2.8.1 Estructura de un PLC

La estructura básica de un PLC está compuesta por:

- La CPU.
- Las interfases de entradas.
- Las interfases de salidas.

Esta estructura se puede observar en la figura siguiente:



**Figura 26:** Estructura del PLC

Fuente (Wilde, 2010)

## 2.8.2 Lenguaje de Programación LADDER

Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés. Mediante símbolos representa contactos, bobinas, etc. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes. Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones. Con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC. En el diagrama eléctrico todas las acciones ocurren simultáneamente, en el programa se realizan en forma secuencial, siguiendo el orden en el que los "escalones" fueron escritos, y que a diferencia de los relés y contactos reales (cuyo número está determinado por la implementación física de estos elementos), en el PLC se puede considerar que existen infinitos contactos auxiliares para cada entrada, salida, relé auxiliar o interno, etc. (Villalobos, 2014)

## 2.8.3 Módulo de Señal RTD SM 1231 SIEMENS



**Figura 27:** Módulo de señal RTD SM 1231

Fuente: (Siemens, s.f.)

Los módulos de entradas analógicas Signal Module SM 1231 transforman las señales analógicas del proceso en señales digitales para su procesamiento dentro de SIMATIC S7-1200. (Siemens, s.f.)

Los módulos RTD SM 1231 permiten medir temperaturas con suma precisión utilizando termorresistencias de tipo corriente. Se usan con las CPU 1211, 1212 y 1214. (Siemens, s.f.)

Montaje en perfil normalizado: Los módulos se abrochan en el perfil, a la derecha de la CPU, y se conectan entre sí y con la CPU 1200 a través del bus de fondo integrado. (Siemens, s.f.)

Montaje directo: Los taladros integrados permiten atornillar los módulos directamente a la pared. Este tipo de montaje se recomienda para aplicaciones con fuertes vibraciones. (Siemens, s.f.)

Termorresistencias: Se pueden utilizar termorresistencias de tipo convencional: Pt 100, Pt 200, Pt 500, Pt 1000, Pt 10000, Ni 100, Ni 120, Ni 1000, Cu 10, FS 150, FS 30, FS 600. Éstas se conectan directamente al módulo, sin necesidad de amplificador, pero todas han de ser del mismo tipo. Se pueden conectar con 2, 3 o 4 hilos. (Siemens, s.f.)

Lugar de montaje: Con el fin de conseguir la mayor precisión posible en la medida y en la repetición, se recomienda montar el módulo RTD en lugares con escasas fluctuaciones de temperatura. (Siemens, s.f.)

Interruptor DIP: Los ajustes necesarios (por ejemplo, selección de las termorresistencias conectadas) se realiza mediante interruptor DIP en el módulo. (Siemens, s.f.)

Diferentes rangos de medida: Termorresistencias de tipo Pt 100, Pt 200, Pt 500, Pt 1000, Pt 10000, Ni 100, Ni 120, Ni 1000, Cu 10, FS 150, FS 30, FS 600. (Siemens, s.f.)

Escala de temperaturas: La temperatura medida se puede mostrar en °C o °F. (Siemens, s.f.)

## **2.9 ELECTROVALVULA**

Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo de un fluido. Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros. Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula. (Matarollo, 2012)

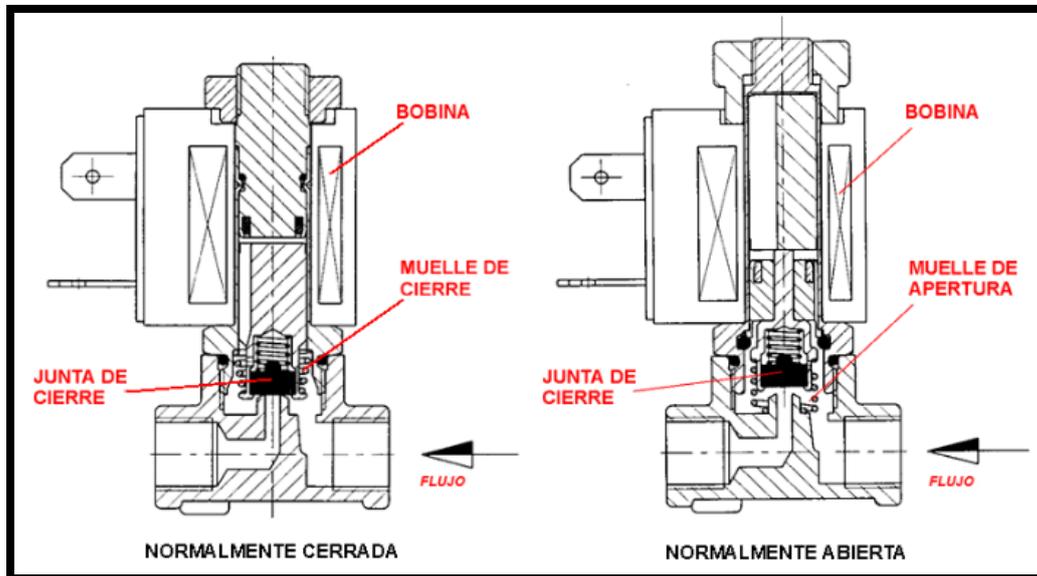
En las válvulas de 2 vías, normalmente se utilizan las que funcionan con tres modalidades diferentes, dependiendo del uso que están destinadas a operar; pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada, además cada una de estas categorías puede ser Normalmente Cerrada (N.C.) o Normalmente Abierta (N.A.) , esto dependiendo de la función que va a realizar ya sea que esté cerrada y cuando reciba la señal a la solenoide abra durante unos segundos, o que esté abierta y cuando reciba la señal la solenoide corte el flujo. (Matarollo, 2012)

### **2.9.1 Acción directa**

El comando eléctrico acciona directamente la apertura o cierre de la válvula, por medio de un embolo.

La diferencia entre la válvula N.C. a la N.A. de acción directa es que, cuando la válvula N.C. no está energizada el embolo permanece en una posición que bloquea el orificio de tal manera que impide el flujo del fluido, y cuando se energiza la bobina el embolo es magnetizado de tal manera que se desbloquea el orificio y de esta manera fluye el fluido. La N.A. cuando la bobina no está energizada mediante la acción de un resorte el embolo se mantiene en tal posición que siempre está abierta y cuando se energiza la bobina la acción es

hacia abajo empujando el resorte haciendo que cierre el orificio e impida que fluya el fluido. (Matarollo, 2012)



**Figura 28:** Electroválvula RTD SM 1231

Fuente: (Matarollo, 2012)

### 2.9.2 Acción Indirecta

La característica principal de la válvula del tipo acción indirecta es que cuando recibe el comando eléctrico se acciona el embolo el cual permite a su vez como segunda acción, o acción indirecta, que el diafragma principal se abra o se cierre, en una acción indirecta. Esta serie de válvulas necesita una presión mínima para poder funcionar correctamente. También en esta serie de comando indirecto tenemos válvulas normalmente cerradas y válvulas normalmente abiertas.

## 2.10 FLOW SIMULATION

Con solidworks Flow Simulation, podrá simular fácilmente el flujo de fluidos, la transferencia de calor y las fuerzas de fluidos fundamentales para el éxito de su diseño. La herramienta de dinámica de fluidos computacional de SOLIDWORKS, totalmente integrada con el software de CAD en 3D de SOLIDWORKS, le permite simular el flujo de gases y líquidos en condiciones

reales, ejecutar casos hipotéticos y analizar de forma eficaz los efectos del flujo de fluidos, la transferencia de calor y otras fuerzas relacionadas en componentes sumergidos o próximos. Puede comparar variaciones de diseño para tomar mejores decisiones y crear productos de mayor rendimiento. Impulsado por fines de ingeniería, SOLIDWORKS Flow Simulation permite a los ingenieros de productos aprovechar los datos de la dinámica de fluidos computacional para tomar sus decisiones técnicas en función de un enfoque de ingeniería concurrente. Los módulos adicionales de HVAC y de refrigeración electrónica ofrecen herramientas especializadas de simulación de flujo de fluidos para llevar a cabo análisis minuciosos. (SolidWorks, 2016)

### **2.10.1 Funciones de Solidworks Simulation**

Las sencillas capacidades de análisis integradas en el software de CAD impulsan las soluciones y las herramientas de software de SOLIDWORKS Simulation para permitir a todos los diseñadores e ingenieros simular y analizar el rendimiento del diseño. Puede utilizar de forma rápida y sencilla las técnicas de simulación avanzada para optimizar el rendimiento mientras diseña, reducir la generación de costosos prototipos, acabar con las repeticiones de trabajo y demoras, y ahorrar tiempo y costes de desarrollo. (SolidWorks, 2016)

### **2.10.2 Funciones de Solidworks Simulation**

Las sencillas capacidades de análisis integradas en el software de CAD impulsan las soluciones y las herramientas de software de SOLIDWORKS Simulation para permitir a todos los diseñadores e ingenieros simular y analizar el rendimiento del diseño. Puede utilizar de forma rápida y sencilla las técnicas de simulación avanzada para optimizar el rendimiento mientras diseña, reducir la generación de costosos prototipos, acabar con las repeticiones de trabajo y demoras, y ahorrar tiempo y costes de desarrollo. (SolidWorks, 2016)

### **2.10.3 Funciones de Solidworks Simulation**

SolidWorks Flow Simulation utiliza el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) para permitir una simulación rápida y eficaz del flujo de fluidos y de la transferencia de calor. Puede calcular fácilmente las fuerzas de fluidos y comprender el impacto de un líquido o gas en el rendimiento de un producto.

Estrechamente integrado con el CAD de SolidWorks, el análisis de CFD con SolidWorks Simulation elimina la complejidad del análisis de flujo y puede convertirse en un elemento habitual del proceso de diseño, lo que reduce la necesidad de crear prototipos, acaba con las repeticiones y demoras, y ahorra tiempo y costes de desarrollo. (SolidWorks, 2016)

### **2.10.3.1 Visión General de análisis CFD**

CFD simula el paso de fluidos (líquidos o gases) a través de un objeto o a su alrededor. El análisis puede ser muy complejo; por ejemplo, puede contener en un cálculo transferencia de calor, mezclas, y flujos inestables y compresibles. La capacidad de predecir el impacto de dichos flujos en el rendimiento de producto puede resultar lenta y costosa si no se utiliza ningún tipo de herramienta de simulación.

SolidWorks Flow Simulation ofrece una amplia variedad de modelos físicos y de funciones de flujos de fluidos, para que pueda obtener más información sobre el comportamiento del producto que es fundamental para lograr el éxito del diseño, cubriendo una amplia gama de aplicaciones, como por ejemplo:

- Flujo de líquido y gas con transferencia de calor
- Flujo de fluidos externo e interno
- Flujos laminares, turbulentos y de transición
- Flujo dependiente del tiempo
- Regímenes subsónicos, transónicos y supersónicos
- Mezcla de gas, mezcla de líquido
- Conjugación de la transferencia de calor
- Transferencia de calor en sólidos

- Líquido incompresible y compresible
- Gas compresible
- Gases reales
- Vapor de agua
- Fluidos no newtonianos (para simular sangre, miel, plásticos fundidos)

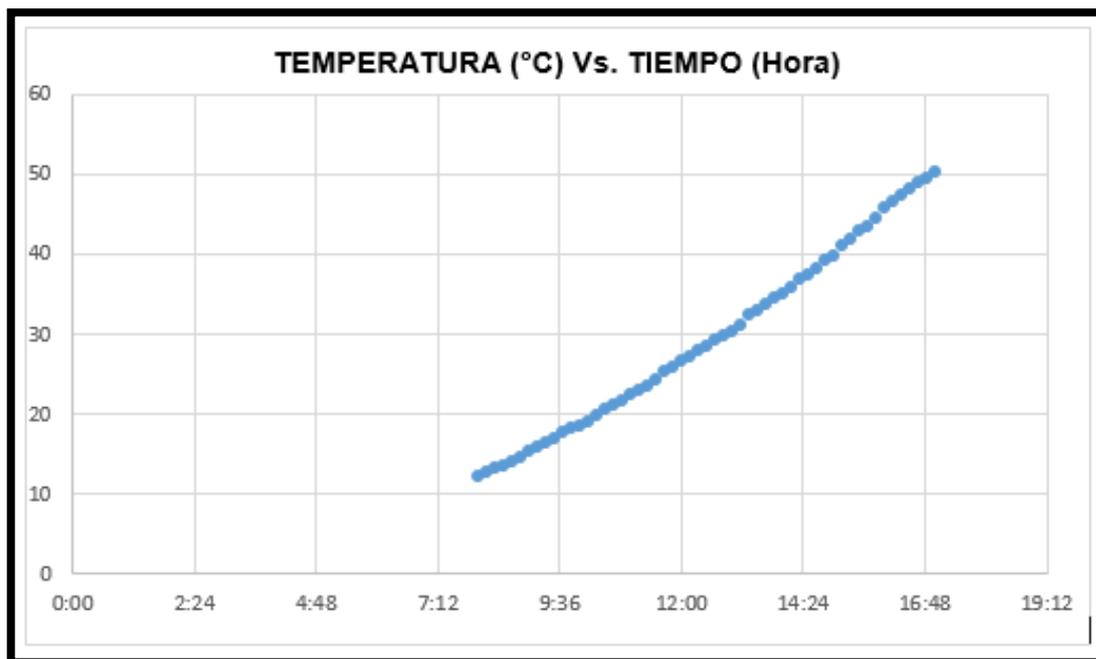
Los ingenieros de una amplia variedad de sectores pueden beneficiarse de la dinámica de fluidos computacional (CFD), como en sectores de automoción, aeroespaciales, defensa, ciencias de la vida, maquinaria y alta tecnología. De hecho, casi todos los diseños encuentran dinámicas de fluidos en algún momento de su ciclo de vida, ya sea por calor o líquidos, de forma interna o externa. (SolidWorks, 2016)

## CAPÍTULO 3: TOMA DE DATOS DEL PROCESO

### 3.1 DATOS EXPERIMENTALES DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN EL TANQUE DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

La transferencia de temperatura entre el tanque de agua de enfriamiento de mallas de polietileno y el polietileno extruido se da por lo que genera que a lo largo de la jornada de trabajo la temperatura en el tanque aumente perdiendo propiedades en su ajuste (memoria) la malla de polietileno.

La siguiente figura muestra el aumento de temperatura obtenida experimentalmente en el tanque de agua de enfriamiento de malla de polietileno: (Fuente Propia, 2016)



**Figura 29** Aumento de temperatura durante la jornada de trabajo

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

Estos datos fueron obtenidos durante una jornada de trabajo a partir de las 08:00 A.M. hasta las 17:00 P.M.

Aproximadamente a las 15:00 P.M que es donde la temperatura de agua de enfriamiento en el tanque es de 40°C la malla de polietileno pierde el ajuste (memoria). (Fuente Propia, 2016)

### **3.2 TOMA DE DATOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO A IMPLEMENTAR**

Al no disponer de una ficha técnica y parámetros de funcionamiento de la torre de enfriamiento tipo atmosférica a implementar se ha dispuesto a tomar experimentalmente los siguientes datos:

La torre de enfriamiento a implementar en el proceso es una torre de tipo atmosférica, se encuentra montada sobre una estructura de 2,5 m. de alto a continuación se detallan sus parámetros:

- Tipo: Torre de circulación natural
- Altura: 4 m.
- Unidades de Transferencia (NTU): 9m.
- Altura entre (NTU): 0,4m
- Área Transversal: 2m<sup>2</sup>
- Depósito recolector de Agua: 0,5m<sup>3</sup>

Al no tener parámetros dados por el fabricante el diferencial de temperatura de la torre se lo determino experimentalmente:

En la siguiente figura se muestra la temperatura de agua en el tanque:

En la figura se muestra la temperatura a la salida de la torre:

- Caudal de ingreso a la torre:

El caudal de ingreso a la torre se lo puede determinar mediante el área de transferencia de flujo de la NTU. Cada NTU cuenta 19 orificios de 0,0127 m. como se muestra en la figura. (Fuente Propia, 2016)

Cálculo de caudal de ingreso de la torre:

$$Q = A.V \quad (2-1)$$

Donde:

$$V = \sqrt{2.g.h} \quad (2-2)$$

$$A = \pi.\frac{D^2}{4} \quad (2-3)$$

La altura se considera como 0.05 m con el criterio de no superar la mitad de la capacidad de NTU:

$$V = \sqrt{2.9,8\frac{m}{s^2}.0,05\ m}$$

$$V = \sqrt{2.9,8\frac{m}{s^2}.0,05\ m}$$

$$V = 0,99\ \frac{m}{s}$$

Donde

$$Q = \frac{\pi.d^2}{4}.V$$

$$Q = \frac{\pi.0,0127m^2}{4}.0,99\ \frac{m}{s}$$

$$Q = 1,25x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$$

Caudal total para los 19 orificios:

$$Q_T = 1,25x10^{-4}\ \frac{m^3}{s} x 19$$

$$Q_T = 2,37x10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

El diferencial de temperatura de la torre de enfriamiento se determinó tomando la temperatura del agua en el tanque de enfriamiento y la temperatura del agua en el tanque depósito recolector de la torre.

Se realizó cinco mediciones durante la jornada de trabajo como se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 10.**

Toma de Datos de diferencial de temperatura en la torre de enfriamiento

<b>HORA</b>	<b>TEMPERATURA DE AGUA DEL TANQUE °C</b>	<b>TEMPERATURA DE AGUA EN EL DEPÓSITO DE LA TORRE °C</b>
09:00 AM	15	13
10:00 AM	18	14
12:00 AM	29	25
14:00 AM	35	31
17:00 AM	49	44

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

Estas temperaturas se midieron con una termocupla mostrando el valor medido en un pirómetro, la medición se realizó tomando agua desde el tanque haciéndola caer hasta el tanque reservorio. De estas mediciones se pudo determinar que el diferencial de temperatura  $\Delta T = 4^{\circ}C$  en promedio. (Fuente Propia, 2016)



**Figura 30:** Toma de diferencial de Temperatura – Pirómetro

Fuente: (Fuente Propia, 2016)



**Figura 31:** Toma de diferencial de Temperatura – Termocupla

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

## CAPÍTULO 4: DISEÑO MECÁNICO

### 4.1 DISEÑO DE LA BOMBA Y SISTEMA DE CIRCULACIÓN

A continuación, se realizará el proceso de diseño y selección de la bomba para el sistema de circulación de agua de la torre de enfriamiento atmosférica, este se ha realizado de manera que describe paso a paso los cálculos y variables que se debe tomar en cuenta para el diseño y selección de este equipo.

La temperatura de agua del fluido para el diseño se determinó de acuerdo a las necesidades del proceso de extrusión de mallas de polietileno para que estas no pierdan su memoria (ajuste).

Los parámetros para ese diseño parten de los datos de operación de la torre de enfriamiento y del tanque de agua de enfriamiento de malla de polietileno extruido. (Fuente Propia N. , 2016)

#### 4.1.1 Parámetros del Fluido

- Líquido para bombear: Agua.
- Temperatura máxima de líquido para bombear: 40 °C.

**Tabla 11.**

Propiedades del Agua

<b>TEMPERATURA</b> °C	<b>PESO</b> <b>ESPECIFICO <math>\gamma</math></b> <b>KN/m<sup>3</sup></b>	<b>DENSIDAD</b> <b><math>\rho</math></b> <b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>VISCOSIDAD</b> <b>DINAMICA <math>\eta</math></b> <b>Pa. s</b>	<b>VISCOSIDAD</b> <b>CINEMATICA <math>\nu</math></b> <b>m<sup>2</sup>/s</b>
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$

Fuente: (Mott, 1996)

#### 4.1.2 Capacidad Requerida

Para calcular la capacidad de la bomba se va a partir del caudal de ingreso de la torre y del dimensionamiento del sistema de circulación, en el Anexo 1 se muestra el diagrama de diseño del sistema de circulación.

Caudal Requerido:

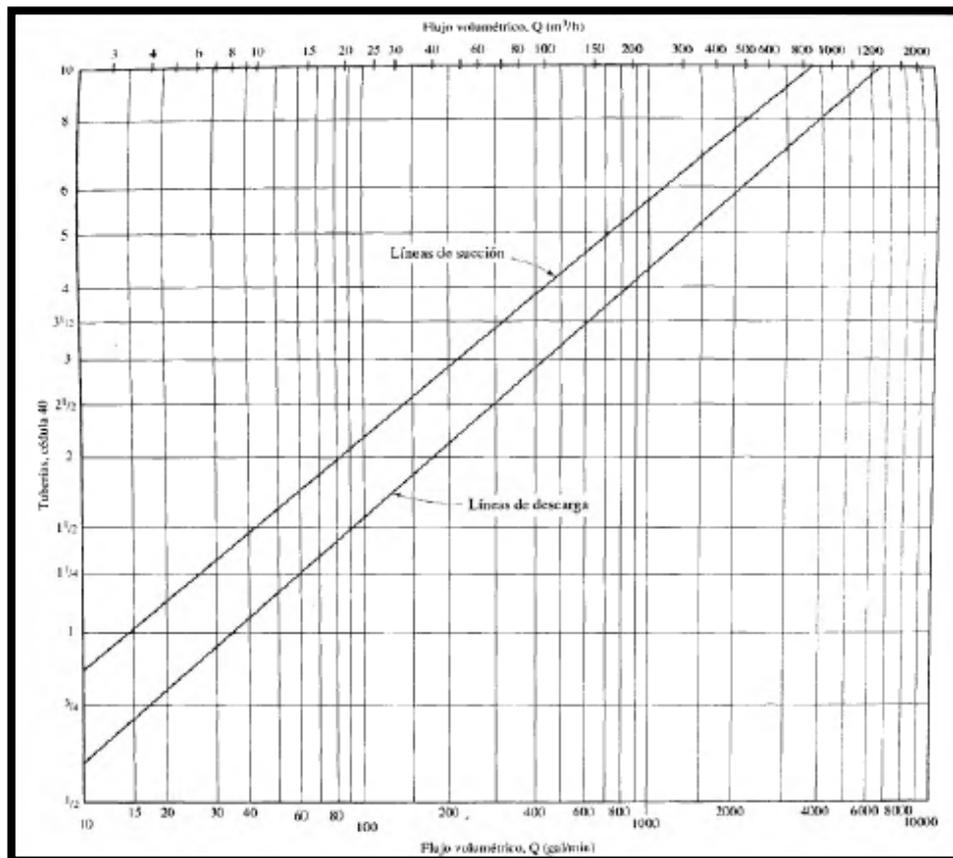
$$Q_T = 2,37 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_T = 36,78 \frac{g}{min}$$

#### 4.1.3 Cálculo de Potencia de la Bomba:

- Línea de Descarga:

Se puede asumir diámetro 1" según la figura 3.1, de acuerdo al caudal requerido:



**Figura 32:** Velocidades recomendadas

Fuente: (Mott, 1996)

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3-1)$$

Diámetro tubería 1" cédula 80 (Ver Anexo 2)

$$V = \frac{2,37 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot \frac{24,31 \times 10^{-3} m^2}{4}}$$

$$V = 4,34 \frac{m}{s}$$

Valor aceptable dentro de lo recomendado (Mott, 1996)

$$N_R = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\nu} \quad (3-2)$$

$N_R$ : Número de Reynolds

$V$ : Velocidad

$D$ : Diámetro

$\rho$ : Densidad

$\nu$ : viscosidad

$$N_R = \frac{4,34 \frac{m}{seg} \cdot 24,31 \times 10^{-3} m \cdot 992 \frac{kg}{m^3}}{6,51 \times 10^{-4} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 1,6 \times 10^{-5}$$

A pesar de ser un fluido turbulento la velocidad se encuentra dentro de los límites recomendados. (Mott, 1996)

- Línea de Succión:

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (3-3)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,37 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot V}}$$

$$D = 0,049 \text{ m}$$

Diámetro tubería 2" cédula 80 (Ver Anexo 2) = 0,049m

$$V = \frac{2,37 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot \frac{0,049 m^2}{4}}$$

$$V = 1,05 \frac{m}{s}$$

$$N_R = \frac{1,05 \frac{m}{seg} \cdot 0,049 \times 10^{-3} m \cdot 992 \frac{kg}{m^3}}{6,51 \times 10^{-4} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 78800$$

Número de Reynolds indica que el fluido es turbulento.

Para determinar las pérdidas por tubería y accesorios para un flujo turbulento se determina mediante la ecuación de Darcy. (Mott, 1996)

$$h_L = f + \frac{L}{D} X \frac{V^2}{2g} \quad (3-4)$$

$h_L$ : Pérdida por fricción

$f$ : factor de fricción

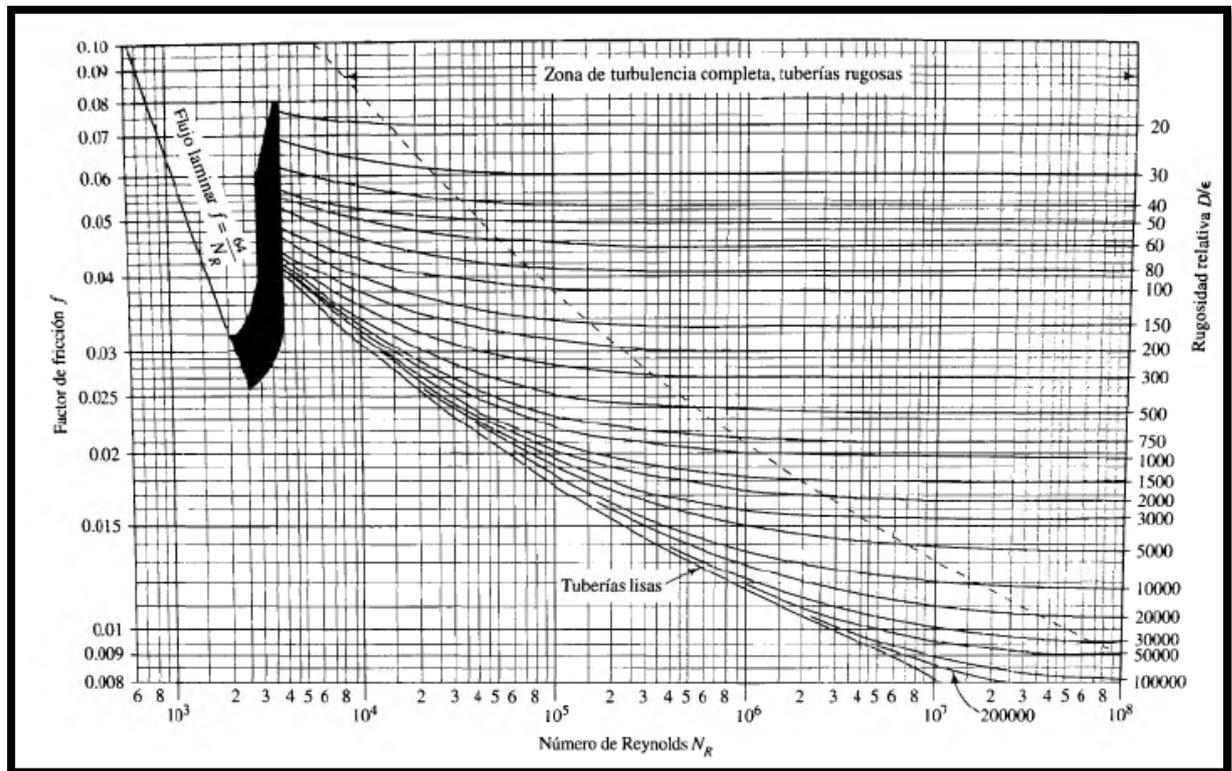
$D$ : Diámetro de la Tubería

$V$ : Velocidad

Cálculo de pérdidas por fricción en un flujo turbulento:

- Para la descarga:

Para determinar el factor de fricción para un flujo turbulento se lo realiza basándose en el diagrama de MOODY, ingresando con el número de Reynolds y la rugosidad relativa:



**Figura 33:** Diagrama de Moody

Fuente: (Mott, 1996)

$$N_R = 1,6 \times 10^5$$

$$\text{Rugosidad Relativa: } \frac{D}{\varepsilon} \quad (3-5)$$

$\varepsilon = 3,0 \times 10^{-7} \text{ m}$  Rugosidad Relativa del Plástico (Mott, 1996)

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0,02431 \text{ m}}{3,0 \times 10^{-7}}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = 8 \times 10^3$$

$$f = 0,016$$

- Para la succión:

$$N_R = 7,88 \times 10^3$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0,04925 \text{ m}}{3,0 \times 10^{-7}}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = 164,1 \times 10^3$$

$$f = 0,033$$

Cálculo de pérdidas por accesorios:

$$H_L = H_1 + H_2 + H_3 \dots + H \quad (3-6)$$

- Pérdidas en la línea de descarga

$$H_1 \times 6: 1 \text{ Codo} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_2 \times 1: \text{Válvula verificación} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_3 \text{ Tubería} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

Para Los accesorios la longitud equivalente en diámetros de tubería  $\frac{L_e}{D}$  se determina mediante la siguiente tabla:

**Tabla 12.**

Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería

<b>TIPO</b>	$\frac{L_e}{D}$
Codo estándar a 90°	30

Continúa

Válvula Verificación	100
Válvula de compuerta	8
Te Estándar	20

Fuente: (Mott, 1996)

$$H_1: 1 \text{ Codo } 90^\circ = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_1 = 0,016 \cdot 30 \cdot \frac{(4,34 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_1 = 2,76m$$

$$H_2: 1 \text{ Válvula de Verificación} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_2 = 0,016 \cdot 100 \cdot \frac{(4,34 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_2 = 1,54m$$

$$H_3: \text{Pérdidas por tubería} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_3 = 0,016 \cdot \frac{17 m}{0,02431} \cdot \frac{(4,34 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_3 = 10,75 m$$

$$H_L \text{ Descarga} = H_1 + H_2 + H_3$$

$$H_L \text{ Descarga} = 15,05 m$$

- Pérdidas en la línea de succión:

$$H_4: 1 \text{ Codo} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_5 \times 2: T \text{ Estándar} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_6 \text{ Válvula de compuerta} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_7: \text{Longitud} = \left( f \left( \frac{L_e}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) \right)$$

$$H_4 = 0,033 \cdot 30 \cdot \frac{(1,05 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_4 = 0,055 \text{ m}$$

$$2xH_5 = 0,033 \cdot 20 \cdot \frac{(1,05 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$2xH_5 = 0,037 \text{ m}$$

$$H_5 = 0,074 \text{ m}$$

$$H_6 = 0,033 \cdot 8 \cdot \frac{(1,05 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_6 = 0,01 \text{ m}$$

$$H_7 = 0,033 \cdot \frac{3,5}{0,04925} \cdot \frac{(1,05 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_7 = 0,13 \text{ m}$$

$$H_L \text{ Succión} = H_4 + H_5 + H_6 + H_7$$

$$H_L \text{Succión} = 0,27m$$

$$H_L \text{Total} = H_L \text{Succión} + H_L \text{Descarga}$$

$$H_L \text{Total} = 15,05m + 0,27m$$

$$H_L \text{Total} = 15,32m$$

- Ecuación general de la Energía:

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \quad (3-7)$$

Donde:

$$E_1 = \frac{P}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} \quad (3-8)$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3-9)$$

$$P_1 = P_2 = P_{atm}$$

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$V_1 = 0$$

$$h_A = z_2 - z_1 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

$$h_A = 6,5m - 1m + \frac{\left(4,34 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} + 15,32m$$

$$h_A = 23,78m$$

- Potencia requerida por la bomba:

$$p_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q \quad (3-10)$$

$$p_A = 23,78m \cdot 9,73 \times 10^3 \frac{N}{m^3} \cdot 0,0023 \frac{m^3}{s}$$

$$p_A = 532 W$$

$$p_A = \mathbf{0,532 KW}$$

- Cálculo de NPSH

$$NPSH = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (3-11)$$

$$h_{sp} = \frac{P_{abs}}{\gamma} \quad (3-12)$$

$$NPSH = \frac{P_{abs}}{\gamma} \pm 1m - h_f - h_{vp}$$

$$P_{abs} = P_{atm} = 702,28hPa$$

$$h_f = 1 + 0,27m$$

$$h_f = 1,27m$$

$$NPSH = 7,21m + 1m - 1,27m - 0,5m$$

$$NPSH = 6,44m$$

$$TDH = 23,78m$$

## 4.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Con los datos obtenidos se ha encontrado más de una opción, sin embargo, tomando en cuenta y por ajustarse a las características de diseño se eligió la siguiente bomba EVANS 3HME100 (Ver Anexo 3): (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 13.**

Ficha Técnica de la Bomba

<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	$\Phi$ <b>SUCCION</b>	$\Phi$ <b>DESCARGA</b>	<b>POTENCIA</b>	<b>TEMPERATURA LIQUIDO</b>
EVANS	3HME100	1 ¼"	1"	1 HP	50°C

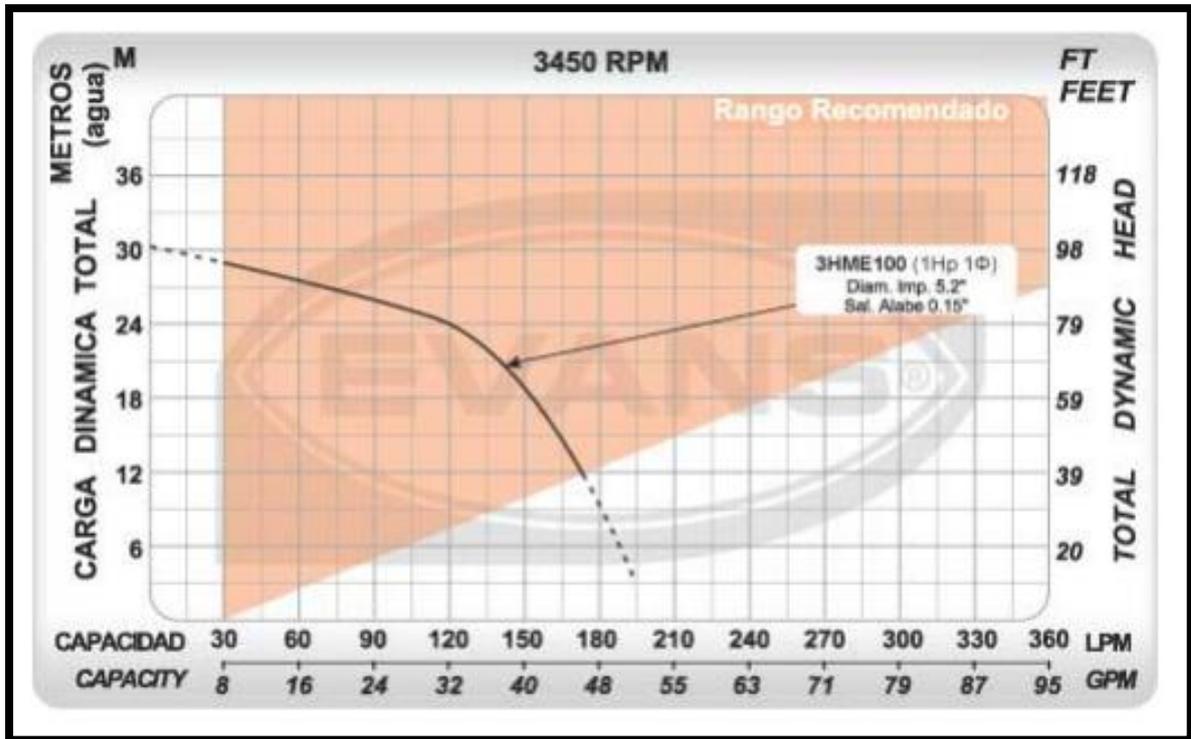
Fuente: (Evans, 2016)

**Tabla 14.**

Parámetros de Funcionamiento del Motor

<b>MOTOR</b>	<b>VOLTAJE</b>	<b>POT. NOMINAL</b>	<b>FLUJO MÁX. ALTURA MÁX.</b>
2 POLOS	MON. 127 V	12,5 A	165 l/min
3450 R.P.M.	TRIF. 220 V	6 A	30,1 m

Fuente: (Evans, 2016)



**Figura 34:** Curva de Funcionamiento de la Bomba

Fuente: (Evans, 2016)

### 4.3 CIRCUITO DE RETORNO AL TANQUE

Para el diseño del sistema se requiere que el agua que sale desde la torre de enfriamiento retorne por gravedad a cada uno de los tanques, ya que la torre de enfriamiento está montada sobre una estructura de 2,5 m. de altura.

Es necesario determinar que el fluido pueda circular por gravedad.

El circuito de retorno al tanque se implementará como se muestra en el Anexo 1. (Fuente Propia, 2016)

- Asumir una tubería de retorno de 2" de diámetro. Diámetro =  $0,057m^2$  tubería de desagüe RIVAL. (Ver Anexo 4)

$$Q = A.V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi \cdot 0,057m^2}{4}$$

$$A = 0,002m^2$$

$$V = \frac{0,0023 \frac{m^3}{s}}{0,002m^2}$$

$$V = 1,1 \frac{m}{s}$$

$$N_R = \frac{1,1 \frac{m}{seg} \cdot (0,0507)m \cdot 992 \frac{kg}{m^3}}{6,51 \times 10^{-4} Pa \cdot s}$$

$$N_R = 85133,6$$

- Factor de fricción para flujo turbulento por diagrama de Moody:

$$N_R = 8,5 \times 10^3$$

$$\text{Rugosidad Relativa: } \frac{D}{\varepsilon}$$

$\varepsilon = 3,0 \times 10^{-7}m$  *Rugosidad Relativa del Plástico (Mott, 1996)*

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0,0507 m}{3,0 \times 10^{-7}m}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = 16900$$

$$f = 0,035$$

- Cálculo de Perdidas en el circuito de Retorno

$$H_1 \times 3: 1 \text{ Codo} = 0,035 \cdot 30 \cdot \frac{(1,1 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_1 \times 3: 1 \text{ Codo} = 0,064 \text{ m}$$

$$H_1 \times 3: 1 \text{ Codo} = 0,19 \text{ m}$$

$$H_2 \times 2: T \text{ Estándar} = 0,035 \cdot 20 \cdot \frac{(1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_2 \times 2: T \text{ Estándar} = 0,042$$

$$H_2: T \text{ Estándar} = 0,084$$

$$H_3 \text{ Válvula de compuerta} = 0,035 \cdot 150 \cdot \frac{(1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_3 \text{ Válvula de compuerta} = 0,32$$

$$H_4 \text{ Longitud} = 0,035 \cdot \frac{14,5 \text{ m}}{0,0507} \cdot \frac{(1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_4 = 0,62$$

$$H_{TOTAL} = 0,19 + 0,084 + 0,32 + 0,62$$

$$H_{TOTAL} = 1,21 \text{ m}$$

- Ecuación de la Energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$P_1 = P_2 = P_{atm}; \text{ Velocidades iguales}$$

$$h_A = Z_2 + h_L - Z_1$$

$$h_A = 1 + 1,21 - 2,5$$

$$h_A = -0,29$$

El diámetro de la tubería de retorno de 2" puede ser implementada para el circuito de retorno al tanque por gravedad.

El diseño del sistema de circulación de salida y retorno de agua al tanque se encuentra modelado en un entorno CAD, estos se muestran en los Planos 01-CIRC a 04-CIRC.

## **CAPÍTULO 5: DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

Parte principal para el control y automatización del proceso es el PLC, de este punto se parte la automatización del sistema por lo que es necesario definir el modelo de PLC SIEMENS que se va a implementar.

También, se va a calcular y establecer cada uno de los diferentes parámetros, dispositivos eléctricos y electrónicos de control y maniobra que van a ser implementados en el proceso. (Fuente Propia N. , 2016).

### **5.1 SELECCIÓN DEL MODELO DEL PLC**

Para seleccionar un PLC se debe tomar en cuenta ciertos criterios y aspectos fundamentales a continuación, se detallan los mismos: (Villajulca, 2013)

Cantidad de entradas y salidas, y si estas son analógicas o digitales.

- Lenguaje de programación.
- Software especializado para cada modelo de PLC y su facilidad de manejo.
- Software para programación desde la PC y necesidad de tarjeta de interfase.
- Capacidad de adaptación modular.
- Costo.

Debido a la familiaridad y experiencia en el manejo de la marca SIEMENS se propuso realizar el proyecto con un PLC de esta marca. Conociendo el número de entradas y salidas, análogas o digitales se puede seleccionar el modelo del PLC. (Fuente Propia N. , 2016)

- Entradas Análogas: 3 AI (Sensores de Temperatura)
- Entradas Digitales: 9 DI (Pulsadores, paro de emergencia, selector)
- Salidas Digitales: 10 DO (Bomba, electroválvulas y alarmas)

La marca SIEMENS ofrece varios modelos que se pueden adaptar a nuestros requerimientos, se seleccionó el PLC SIEMENS S71200 1214C (Ver Anexo 5) el cual cumple con los requerimientos de entradas/salidas establecidos además de contar con conexión modular a un controlador de temperatura por RTD modelo SM 1231 RTD ideal para el sistema de control de temperatura en los tanques (Ver Anexo 6).

El PLC seleccionado SIEMENS S71200 1214C dispone de:

- Entradas Análogas: 2 AI
- Entradas Digitales: 13 AI
- Salidas Digitales: 10 DO

El Módulo SIEMENS 1231 RTD dispone de 8 entradas análogas para RTD'S con conexión a 4 hilos.

## **5.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE SENSORES DE TEMPERATURA**

Seleccionar un sensor de temperatura puede ser muy sencillo y algunas veces difícil, pero el objetivo es hacerlo bien. Esto es porque los sensores, especialmente para uso científico o para ingeniería, pueden significar la diferencia entre mediciones repetibles o número disparados. El objetivo es medir con exactitud y con incertidumbres aceptables.

Se muestran los principales requisitos, ventajas y desventajas a considerar en la selección de termómetros. (Metrólogos, 2006)

- Alcance de Medición.

Este parámetro permite determinar que instrumento tiene el alcance al cual lo vamos a someter.

- Exactitud.

La segunda más importante decisión. Al establecer los requisitos de exactitud de laboratorio o proceso, la inversión apropiada en el instrumento correcto puede

eliminar errores. La exactitud de un instrumento no solo depende de los resultados de la calibración sino de sus características físicas y metroológicas. (Metrólogos, 2006)

Condiciones bajo la cual la medición va a ser realizada.

El problema fundamental para medir la temperatura de un fluido es el asegurar el acoplamiento térmico, el sensor debe estar en equilibrio con la temperatura del fluido por lo cual habrá de determinarse las medidas y forma del sensor, conocer las condiciones de enfriamiento-calentamiento junto con una estimación de la magnitud de los gradientes de temperatura. (Metrólogos, 2006)

Para seleccionar el tipo de sensor de temperatura que se va a utilizar en el sistema se va a generar una matriz de decisión de acuerdo a los diferentes tipos y requisitos que se encuentran el mercado. Donde 5 es la ponderación más favorable y 1 es la más despreciable. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 15.**

Matriz de decisión selección de sensor de temperatura

<b>TIPO DE SENSOR REQUISITOS</b>	<b>RTD</b>	<b>Termopar</b>	<b>Termistor</b>	<b>Sensor IC</b>
Alcance de Medición	5	5	5	5
Exactitud	5	3	5	3
Condiciones de medición (Inmersión en agua)	5	5	4	5
Costo	3	4	3	4
<b>PONDERACIÓN</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

Según la matriz de decisión el sensor de temperatura a implementar es el RTD.

En el mercado se puede encontrar variedad de sensores RTD, se escogió el modelo PT100 de 4 hilos los cuales dan mayor precisión en su lectura. (Ver Anexo 7).

### 5.3 SELECCIÓN DE LAS ELECTROVÁLVULAS

Para el sistema de circulación se va a seleccionar 6 válvulas solenoides normalmente cerradas, tres electroválvulas de 1" para la línea de succión del tanque y tres electroválvulas de 2" para la línea de descarga de la torre al tanque.

Para elegir la electroválvula adecuada es necesario tener en cuenta Estos parámetros como la presión (tanto de apertura de la electroválvula como la de trabajo), la temperatura, el diámetro y el tipo de fluido. (Fuente Propia, 2016)

La siguiente tabla muestra los datos técnicos de las electroválvulas seleccionadas. (Ver Anexo8)

**Tabla 16.**

Ficha Técnica de Electroválvulas

<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>VOLTAJE</b>	<b>POTENCIA</b>	<b>PRESIÓN</b>	<b>FLUIDO</b>
SMART SOLU	2W160- 15P	1"	110	300 W	0,05 – 0,7 MPa	Agua
SMART SOLU	2W186- 15P	2"	110	300 W	0,05 – 0,7 MPa	Agua

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

### 5.4 DISEÑO ELÉCTRICO

Para diseñar una instalación se debe evaluar la demanda máxima de potencia que se puede solicitar al sistema.

Por lo que se debe evaluar varios factores teniendo en cuenta la diversidad y la utilización de todas las cargas existentes y proyectadas.

Una vez evaluado estos factores, deben implementarse los dispositivos protectores apropiados para lograr una protección contra los riesgos de contacto directo o indirecto.

El PLC con el cual se va a trabajar es un PLC SIEMENS S7 1200 1214C (Fuente Propia N. , 2016)

#### **5.4.1 Alimentación del Sistema**

A continuación, se detalla el tipo de alimentación con el que cuenta la planta de la empresa:

- La alimentación monofásica de 220 VAC con la cual se energizará la bomba centrífuga.
- La alimentación monofásica de 110 VAC con la cual se alimentará las seis electroválvulas de los tanques, además de cada uno de los elementos del tablero de control.
- La alimentación de 24 VDC para el funcionamiento del PLC.

#### **5.4.2 Cálculo de la Fuente de Alimentación del PLC**

El PLC SIEMENS 1214C no cuenta con fuente propia, por lo que es necesario utilizar una fuente de alimentación externa con el propósito de alimentar el PLC con 24VDC y garantizar su funcionamiento. (Fuente Propia N. , 2016)

Para determinar la fuente de alimentación externa al PLC se necesita definir dos parámetros importantes, voltaje y corriente. El voltaje de la fuente externa debe ser el mismo que maneja las entradas y salidas del PLC SIEMENS, el cual es de 24 VDC, por lo que el parámetro que va a determinar el dimensionamiento de la fuente externa va a ser la corriente. Para determinar la corriente se debe tomar en cuenta la corriente de consumo del PLC, los

elementos que se encuentran a la salida del mismo. También determinar la corriente de consumo del módulo SIEMENS SM 1231 RTD que será necesario para realizar el control (Fuente Propia N. , 2016)

#### **5.4.2.1 Corriente de consumo del PLC SIEMENS 1214C**

La corriente de consumo del PLC Siemens 1214C es 1.5 A. (Ver Anexo 5)

#### **5.4.2.2 Cálculo de corriente para funcionamiento de Relés**

Para calcular la corriente necesaria para el funcionamiento de los cuatro relés (bomba y electroválvulas) es necesario conocer la corriente de la bobina. Este valor es de 21 mA (Ver Anexo12). Entonces:

$$I_{Total\ Relés} = (0.021 \times 4) A$$

$$I_{Total\ Relés} = 0,084A$$

#### **5.4.2.3 Corriente de consumo módulo SIEMENS SM 1231 RTD**

El módulo SIEMENS SM 1231 RTD consume 0,120 A (Ver Anexo 6).

#### **5.4.2.4 Cálculo de la Corriente Total de la Fuente**

Una vez determinadas las corrientes a la salida del PLC y la corriente de necesaria para activar el módulo SIEMENS SM 1231 RTD, se puede definir la corriente total que va a manejar la fuente externa. (Fuente Propia, 2016)

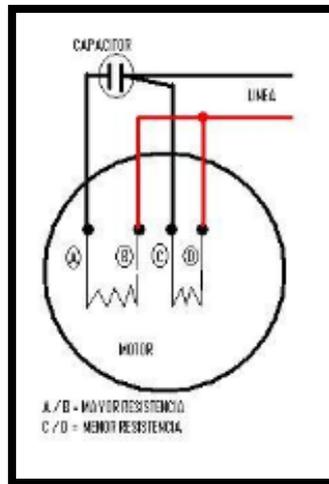
$$I_{Total} = 1,5 + 0.084 + 0.120 (A)$$

$$I_{Total} = 1.704 A$$

La corriente total que debe manejar el PLC SIEMENS es de 1.704 A y 24VDC. Por lo que se consiguió en el mercado una fuente de 2 A (Ver Anexo 13) con el fin de garantizar el funcionamiento del PLC tomando en cuenta los picos de corriente que generan los relés. (Fuente Propia N. , 2016)

#### **5.4.3 Protección de Motor de la Bomba**

Para poner en marcha el motor monofásico 220 V de la bomba es necesario alimentarlo a la red eléctrica.



**Figura 35:** Conexión de motor monofásico 220 V

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

La red está compuesta por 2 fases (L1 y L2) y también un neutro. La medida entre fases se tiene 220 VAC y entre fase y neutro 110 VAC, con una frecuencia de 50 Hz.

Para determinar la protección adecuada para el motor de la bomba se debe partir de los datos de placa del motor, en la siguiente figura se muestran estos datos:



**Figura 36:** Placa de Motor de la Bomba

Fuente: (Evans, 2016)

La corriente nominal de consumo del motor es de 6.2 A, por lo que:

$$I_p = 1.25 \times I_{Nominal} \quad (4-1)$$

$$I_p = 1.25 \times 6,2 \text{ A}$$

$$I_p = 7,75 \text{ A}$$

La corriente de protección calculada para el motor de la bomba es de 7,75 A por lo que se determinó un breaker de 2 polos de 10 A que se encuentra en el mercado (Ver Anexo 14).

#### 5.4.3.1 Cálculo de Corriente para Determinar el Relé Térmico del Motor de la Bomba

Para calcular la protección térmica para el motor de la bomba es necesario determina la corriente nominal del motor y multiplicar por un factor de seguridad.

$$P_{Térmica} = 1.25 \times I_{Nominal} \quad (4-2)$$

$$P_{Térmica} = 7,75 \text{ A (Regulación del Térmico)}$$

#### 5.4.3.2 Cálculo de Corriente para Determinar el Cable Conductor para la Bomba

Para calcular la corriente que circula por cada conductor se utiliza la fórmula de la potencia eléctrica, ya que, tenemos la potencia y el voltaje del motor de la bomba. Por lo tanto:

Motor 1HP, 220 VAC,  $\eta=0,65$

$$P = I \times V \quad (4-3)$$

$$I_{Conductor} = \frac{P \text{ (HP)} \times 746}{1.732 \times V \times \eta}$$

$$I_{Conductor} = \frac{1 \text{ (HP)} \times 746}{1.732 \times 220 \times 0.65}$$

$$I_{conductor} = \frac{1 (HP) \times 746}{1.732 \times 220 \times 0.65}$$

$$I_{conductor} = 3.011 A$$

#### 5.4.4 Protección del PLC

Como ya se determinó anteriormente la corriente de la fuente de alimentación del PLC es de 2 A por lo que:

$$I_p = 1.25 \times I_{Nominal}$$

$$I_p = 1.25 \times 2 A$$

$$I_p = 2.5 A$$

La corriente de protección calculada para el PLC SIEMENS es de 2.5 A por lo que se determinó un breaker de 2 polos de 3 A que se encuentra en el mercado (Ver Anexo 15).

#### 5.4.5 Protección del Tablero de Control

Una vez determinados los valores de las protecciones del PLC y el motor eléctrico de la bomba se puede determinar la protección principal del tablero de control.

$$I_{PT} = I_{P\ PLC} + I_{P\ BOMBA} \quad (4-4)$$

$$I_{PT} = 3 A + 10 A$$

$$I_{PT} = 13 A$$

$$I_p = 1.25 \times I_{PT}$$

$$I_p = 1.25 \times 13 A$$

$$I_p = 16.25 A$$

La corriente de protección calculada para el tablero de control es de 16.25 A por lo que se determinó un breaker de 2 polos de 20 A que se encuentra en el mercado (Ver Anexo 14).

#### 5.4.6 Cálculo del Fusible de Protección

A continuación, se calcula el valor del fusible del tablero de control:

- Tensión 220 V:

$$I = 16,5 A$$

Para el cálculo del fusible se multiplica por 1,5 p:

$$I = 16,5 \times 1,5$$

$$I = 24,75 A$$

Por lo que se determina un fusible comercial de 25 A 220v

#### 5.4.7 Cálculo de Cable Conductor para las Electroválvulas

Para calcular la corriente que circula por cada conductor se utiliza la fórmula de la potencia eléctrica, ya que, tenemos la potencia y el voltaje de cada una de las tres electroválvulas. Por lo tanto:

Potencia 300W, 110 VAC

$$P = I \times V$$

$$I_{Conductor} = \frac{P (W)}{V}$$

$$I_{Conductor} = \frac{300 W}{110}$$

$$I_{Conductor} = 2.727 A$$

#### 5.4.8 Cálculo de Cables de Conexión, Basado en la Norma AWG (American Wire Gauge)

La dependencia entre el diámetro y el área del conductor permite establecer un método de clasificación para los cables. A determinados diámetros se les asigna un número en una escala arbitraria, al que se conoce como el calibre del conductor. Esta escala se la conoce como el AWG (*American Wire Gauge*,

calibre americano para conductores) y es utilizada dentro y fuera de los EEUU. El rango de calibres para nuestra aplicación comienza con el calibre 4/0 (4 ceros), al que corresponde el mayor diámetro. El número de ceros disminuye hasta alcanzar el valor 1/0. A partir de este valor el calibre del cable está asociado a un valor numérico creciente (2, 4, 6, etc). Es importante recordar que para estos calibres el diámetro del conductor se *reduce* cuando el valor numérico asignado aumenta. (Diaclau, 2013)

Según la norma AWG se determina el tipo de cable que se va a utilizar en el tablero de para la alimentación del tablero de control, motor de la bomba, electroválvulas y circuito de control del PLC. (Ver Anexo 17)

**Tabla 17.**

Selección de Conductor Según Norma AWG

<b>NOMENCALTURA</b>	<b>DISPOSITIVO</b>	<b>CORRIENTE CALCULADA</b>	<b>CABLE AWG</b>
Cable 1	Alimentación Tablero	16.25 A	9 AWG
Cable 2	Circuito de Control PLC	2.5 A	17 AWG
Cable 3	Motor de la Bomba	3.011 A	17 AWG
Cable 4	Electroválvulas	2.727 A	17 AWG

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

#### **5.4.9 Identificación de elementos eléctricos y electrónicos del tablero de control**

**Tabla 18.**

Tabla de Identificación de elementos eléctricos y electrónicos del tablero de control

<b><i>DISPOSITIVO</i></b>	<b><i>IDENTIFICACIÓN</i></b>
Motor de la bomba	M1
Interruptor Principal del Tablero	BR1
Interruptor de alimentación de la Bomba	BR2
Interruptor Fuente de Alimentación PLC	BR3
Fuente de Alimentación 24 VDC	FV1
Relé Térmico Motor Bomba	RT1
Relé Electroválvulas Tanque 1	KA1
Relé Electroválvulas Tanque 2	KA2
Relé Electroválvulas Tanque 3	KA3
Relé Bomba	KA4
Contactador Bomba	KM1
Luz Piloto ON Tanque 1	LT1
Luz Piloto ON Tanque 2	LT2
Luz Piloto ON Tanque 3	LT3
Luz Piloto Bomba	LT4
Luz Piloto OFF Tanque 1	LT5
Luz Piloto OFF Tanque 2	LT6

Continua

Luz Piloto OFF Tanque 3	LT7
Luz Piloto Alarma Tanque 1	LT8
Luz Piloto Alarma Tanque 1	LT9
Luz Piloto Alarma Tanque 3	LT10
RTD PT100 Máquina 1	S1
RTD PT100 Máquina 2	S2
RTD PT100 Máquina 3	S3
RTD PT100 Referencia	S4
Electroválvula Salida Tanque 1	EV1
Electroválvula Salida Tanque 2	EV2
Electroválvula Salida Tanque 3	EV3
Electroválvula Entrada Tanque 1	EV4
Electroválvula Entrada Tanque 2	EV5
Electroválvula Entrada Tanque 3	EV6
Pulsador Encendido Máquina 1	P1
Pulsador Encendido Máquina 2	P2
Pulsador Encendido Máquina 3	P3
Pulsador Encendido Bomba	P4
Pulsador Apagado Máquina 1	P5
Pulsador Apagado Máquina 2	P6
Pulsador Apagado Máquina 3	P7

Continua

Pulsador Apagado Bomba	P8
------------------------	----

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

Los planos del circuito eléctrico del tablero de control se encuentran en los planos eléctricos (Ver Planos Eléctricos 1-8).

## 5.5 DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico del proyecto se centra en el PLC SIEMENS 1214C junto con su módulo de control de temperatura SM-1231, por lo que se debe definir las entradas y salidas del PLC como inicio a la programación para el control del proceso. (Fuente Propia N. , 2016)

### 5.5.1 Entradas del PLC

En las entradas del PLC SIEMENS se conecta pulsadores de encendido y apagado de las máquinas, paro de emergencia y el selector de posición manual y automático.

Las entradas analógicas que envía cada uno de los RTD's van a ser conectadas en el módulo de control de temperatura SM 1231 RTD, y deben ser declaradas dentro de la tabla de variables del programa.

En la siguiente tabla se describe los elementos que se van a conectar en las entradas del PLC SIEMENS. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 19.**

*Tabla de Identificación de elementos de entrada al PLC*

<b>FUNCION</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>INPUT PLC</b>
Encendido Máquina 1	Pulsador	P1	I0.0
Encendido Máquina 2	Pulsador	P2	I0.1

Continúa

Encendido Máquina 3	Pulsador	P3	I0.2
Encendido Bomba	Pulsador	P4	I0.3
Apagado Máquina 1	Pulsador	P5	I0.4
Apagado Máquina 2	Pulsador	P6	I0.5
Apagado Máquina 3	Pulsador	P7	I0.6
Apagado Bomba	Pulsador	P8	I0.7
Modo Manual	Selector	P9	I1.0
Modo Automático	Selector	P10	I1.1
Paro de Emergencia	Pulsador	P11	I1.2
RTD Máquina 1	PT100	S1	IW22
RTD Máquina 2	PT 100	S2	IW24
RTD Máquina 3	PT 100	S3	IW26
RTD Referencia	PT 100	S4	IW28

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

### 5.5.2 Salidas del PLC

En las salidas del PLC SIEMENS se conecta los relés, los cuales permiten separar la parte de potencia de la parte de control del sistema, pueden trabajar con cargas pesadas y activarse con una señal de 24 VDC enviada desde el PLC.

Las salidas digitales del PLC van a activar las señales para las luces piloto de apagado de las máquinas y las alarmas.

En la siguiente tabla se describe los elementos que se van a conectar en las salidas del PLC SIEMENS. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 20.**

*Tabla de Identificación de elementos de salida al PLC*

<b>FUNCIÓN</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>OUTPUT PLC</b>
Activación electroválvulas Tanque1	Relé, Luz Piloto	KA1, KA4, LT1	Qa0.0
Activación electroválvulas Tanque 2	Relé, Luz Piloto	KA2, KA5, LT2	Qa0.1
Activación electroválvulas Tanque 3	Relé, Luz Piloto	KA3, KA6, LT3	Qa0.2
Activación Bomba	Relé, Luz Piloto	KM1, LT4	Qa0.3
Desactivación electroválvulas Tanque 1	Luz Piloto	LT5	Qa0.4
Desactivación electroválvulas Tanque 2	Luz Piloto	LT6	Qa0.5
Desactivación electroválvula Tanque 3	Luz Piloto	LT7	Qa0.6
Alarma Tanque 1	Luz Piloto	LT5	Qa0.7
Alarma Tanque 2	Luz Piloto	LT6	Qb0.0
Alarma Tanque 3	Luz Piloto	LT7	Qb0.1

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

Los planos eléctricos y de control del sistema se encuentran al final del documento en el ANEXO.

## **5.6 DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL**

La programación del sistema comprende que cada uno de los tres tanques de agua de enfriamiento de malla de polietileno sea sometido al proceso de enfriamiento de agua mediante una torre de enfriamiento tipo atmosférica, cada tanque debe enfriarse de manera independiente y automática para lo que se cuenta con un conjunto de electroválvulas los cuales se van a encargar de permitir el paso de agua de manera automática desde los tanques hacia la torre mediante una bomba y también permiten el retorno de agua hacia el tanque.

Los sensores RTD tipo PT-100 envían las señales análogas de temperatura de los tanques de agua de enfriamiento de malla de polietileno al módulo SM 1231 RTD del PLC SIEMENS el mismo que se va a encargar de convertirlos en señales digitales y de esta manera poder realizar el control del proceso mediante la programación.

La programación del PLC SIEMENS se ejecuta mediante el programa TIA PORTAL el cual es el software de la marca, la programación se realiza en lenguaje LADDER.

Lo primero que se debe realizar es determinar la tabla de variables, donde se determina las entradas, salidas y memorias auxiliares que se van a utilizar en la programación. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 21.**

Tabla de Identificación de elementos de salida al PLC

<b>NAME</b>	<b>PATH</b>	<b>DATA TYPE</b>	<b>LOGICAL ADDRESS</b>	<b>COMMENT</b>
RTD_1	Tabla de variables estándar	Int	%IW122	Sensor Temperatura Matriz 1
RTD_2	Tabla de variables estándar	Int	%IW124	Sensor Temperatura Matriz 2

Continua

RTD_3	Tabla de variables estándar	Int	%IW126	Sensor Temperatura Matriz 3
RTD_4	Tabla de variables estándar	Int	%IW128	Sensor Temperatura Ambiente
EV_1_ON	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.0	Electroválvula 1 ON
EV_2_ON	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.1	Electroválvula 2 ON
EV_3_ON	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.2	Electroválvula 3 ON
BOMBA_ON	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.3	Bomba ON
EV_1_OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.4	Electroválvula 1 OFF
EV_2_OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.5	Electroválvula 2 OFF
Ev_3_OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.6	Electroválvula 3 OFF
BOMBA_OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%I0.7	Bomba_OFF
MANUAL	Tabla de variables estándar	Bool	%I1.0	Mando Manual
AUTO	Tabla de variables estándar	Bool	%I1.1	Mando Automático

Continua

PE	Tabla de variables estándar	Bool	%I1.2	Paro Emergencia
EV_1	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.0	Electroválvula 1
EV_2	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.1	Electroválvula 2
EV_3	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.2	Electroválvula 3
BOMBA	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.3	BOMBA
M_MAN UAL	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.0	Memoria Manual
M_AUTO	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.1	Memoria Auto
M_M_EV 1	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.2	Memoria manual Electroválvula 1
M_M_EV 2	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.3	Memoria manual Electroválvula 2
M_M_EV 3	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.4	Memoria manual Electroválvula 3
M_M_BO MBA	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.5	Memoria manual Bomba
Temp	Tabla de variables estándar	Real	%MD10	Variable temporal

Continua

AUX_T1 _ON	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.6	Memoria Auto T1 ON
AUX_T1 _OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%M1.7	Memoria Auto T1 OFF
AUX_T2 _ON	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.0	Memoria Auto T2 ON
AUX_T2 _OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.1	Memoria Auto T2 OFF
AUX_T3 _ON	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.2	Memoria Auto T3 ON
AUX_T3 _OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%M2.3	Memoria Auto T3 OFF
EV_1 OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.4	Foco OFF Tanque 1
EV_2 OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.5	Foco OFF Tanque 2
EV_3 OFF	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.6	Foco OFF Tanque 3
ALARMA _1	Tabla de variables estándar	Bool	%Q0.7	Alarma Tanque 1
ALARMA _2	Tabla de variables estándar	Bool	%Q1.0	Alarma Tanque 2
ALARMA _3	Tabla de variables estándar	Bool	%Q1.1	Alarma Tanque 3

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

### 5.6.1 Programación Manual

Este modo de programación se activa poniendo el selector en modo manual, va a accionar el sistema de enfriamiento de cada uno de los tanques de forma manual, una vez que se active/desactive mediante los pulsadores del tanque a ser enfriado, para que el sistema inicie la temperatura a la cual debe estar el tanque de agua de enfriamiento de malla de polietileno debe ser 5°C

mayor o igual que la temperatura de referencia (ambiente) que va a ser enviada por el sensor de referencia el cual se encarga de medir la temperatura ambiental entonces este tanque activa las electroválvulas de entrada y salida de agua al igual que la bomba. Una vez activado el sistema este va a trabajar hasta conseguir disminuir 5°C. De la misma manera el sistema se repite para cualquier tanque que se seleccione.

El programa cuenta con un pulsador de paro de emergencia el cual interrumpe el sistema en cualquier momento, una vez desactivado lee los datos del sensor y reanuda el sistema,

Una luz piloto de alarma (amarilla) la cual indica si la temperatura en el tanque de agua de enfriamiento de mallas de polietileno es mayor a 40°C.

Este modo será implementado con el fin de que el usuario pueda elegir de manera independiente el tanque a enfriar.

El diagrama de flujo del modo manual del programa se encuentra en el Anexo 18. (Fuente Propia N. , 2016)

### **5.6.2 Programación automática**

Este modo de programación se lo activa mediante el selector poniéndolo en modo automático, en este modo el programa hace que el sistema trabaje automáticamente. Compara la temperatura enviada por el RTD desde cada uno de los tres tanques, la condición de comparación para cada tanque es que el primero de los tres tanques que tenga una diferencia mayor o igual a 5°C respecto a la temperatura de referencia (temperatura ambiente) entonces este tanque activa las electroválvulas de entrada y salida de agua al igual que la bomba poniendo en funcionamiento la torre de enfriamiento hasta conseguir disminuir 5°C, para una vez más volver a comparar la temperatura de los tanques respecto a la temperatura referencial y de esta forma repetir el proceso.

En el eventual caso que una máquina se averíe mientras el sistema de enfriamiento este en marcha en dicha máquina y tenga que ser parada el

operario podrá detener el sistema de enfriamiento y continuar en cualquiera de las otras máquinas.

En el caso extremo de que dos o más tanques lleguen a una temperatura igual el programa activará el tanque a enfriar de manera secuencial para de esta forma no alterar el proceso del sistema.

Si la temperatura de enfriamiento no alcanza a disminuir a la temperatura ambiente en una hora, se compara con los otros dos tanques y entra en funcionamiento el sistema con el que mayor temperatura lea el sensor.

El programa cuenta con un pulsador de paro de emergencia el cual interrumpe el sistema en cualquier momento.

Una luz piloto de alarma (amarilla) la cual indica si la temperatura en el tanque de agua de enfriamiento de mallas de polietileno es mayor a 40°C.

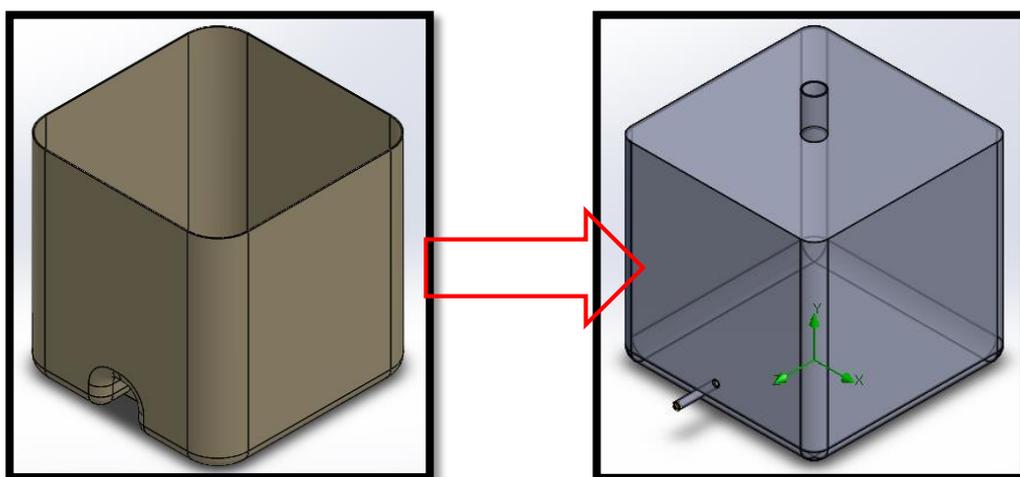
El diagrama de flujo del modo automático del programa se encuentra en el Anexo 18. (Fuente Propia N. , 2016)

## CAPÍTULO 6: MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL POLIETILENO EXTRUIDO AL TANQUE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

Para realizar el análisis de comportamiento de la transferencia de temperatura entre la malla de polietileno extruida hacia el tanque de agua de enfriamiento se procede a analizar mediante la ayuda de SolidWorks con su módulo flow simulation que utiliza el método de cálculo CFD.

Para esto es necesario realizar un modelado físico del problema, es decir un modelado de la malla de polietileno extruido que sale desde el cabezal de la extrusora al tanque de agua de enfriamiento de polietileno.

Modelado: Tomando como referencia el tanque con medidas reales se hará una simplificación del mismo tomando en cuenta solamente las características físicas necesaria para la simulación; volumen, geometría global (prima, esfera, etc). En la gráfica se muestra el tanque original y las simplificaciones que se han realizado. Adicionalmente se colocó dos tuberías una de ingreso y otra de salida para simular el funcionamiento de la torre de enfriamiento del tanque. (Fuente Propia, 2016)

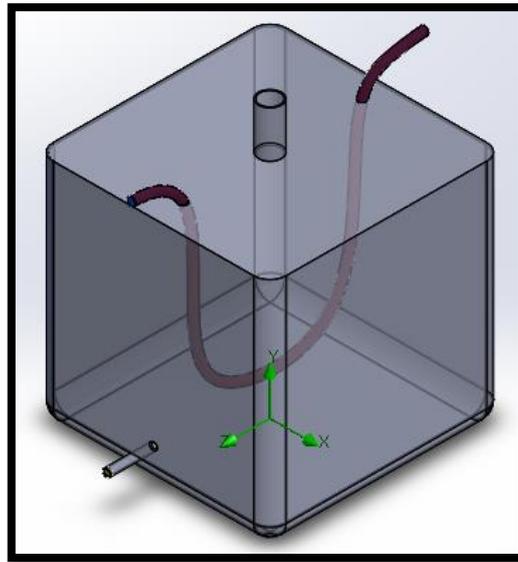


**Figura 37:** Modelo real vs modelo simplificado de tanque de agua de enfriamiento de malla de polietileno

Fuente: (SolidWorks, 2016)

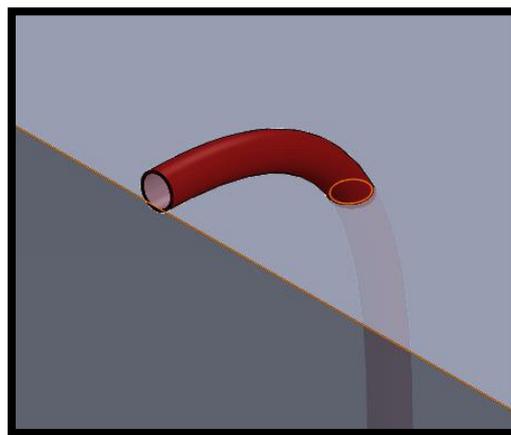
Para el modelado del polietileno que está en constante movimiento a través del agua se considerará que es un fluido que transita a través de un conductor sólido a una velocidad determinada. Esta velocidad es obtenida de los datos del arrastre de la máquina extrusora la cual es de  $0,63 \frac{m}{s}$ .

En la siguiente figura se muestra el modelado del conducto que va a simular el polietileno dentro del tanque tal y como se lo va a simular.



**Figura 38:** Modelo de conducto de polietileno

Fuente: (SolidWorks, 2016)



**Figura 39:** Conducto de polietileno

Fuente: (SolidWorks, 2016)

Para la validación del diseño se va a realizar tres tipos de análisis diferentes. Los dos primeros análisis van a ser estáticos y el tercer análisis en función del tiempo, es decir un análisis transitorio. Estos análisis nos van a servir para determinar si la configuración seleccionada y los cálculos obtenidos de nuestro diseño son los más adecuados y para encontrar una tendencia en el funcionamiento del sistema.

El objetivo de la simulación va a ser determinar el comportamiento del sistema de acuerdo a los datos obtenidos para el dimensionamiento de la bomba y el control de temperatura aplicado

Finalmente se realizará un análisis transitorio con los parámetros calculados para nuestro sistema aplicando un control al sistema cuando la temperatura del agua llegue a los 40°C con el fin de observar el funcionamiento y observar como varia la temperatura del agua del tanque de enfriamiento.

A continuación, se resume los análisis que van a ser realizados:

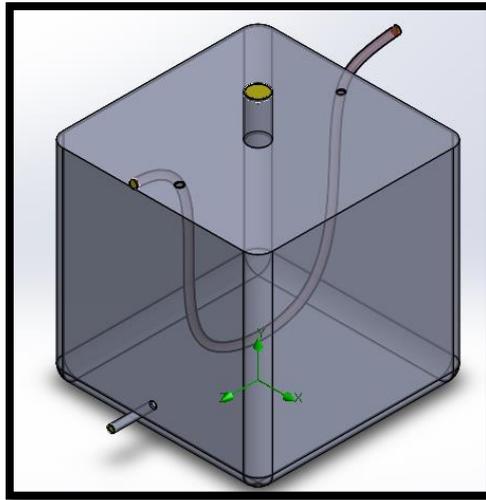
- El primer análisis estacionario se lo va a hacer sin tomar en cuenta la implementación de sistema de refrigeración, el polietileno está sumergido en el agua. (Fuente Propia N. , 2016)
- El segundo análisis va a ser un análisis transitorio con el control del sistema de enfriamiento cuando el agua llegue a los 40°C con el fin de determinar el funcionamiento y como varia la temperatura en el tanque de agua de enfriamiento. (Fuente Propia N. , 2016)

## **6.1 SIMULACIÓN EN SOLID WORKS**

A continuación, se detalla paso a paso el proceso de simulación en SolidWorks:

Verificar la geometría del modelo para conseguir un modelo completamente hermético con el fin de que no existan fugas de fluido no deseadas. (Fuente Propia N. , 2016)

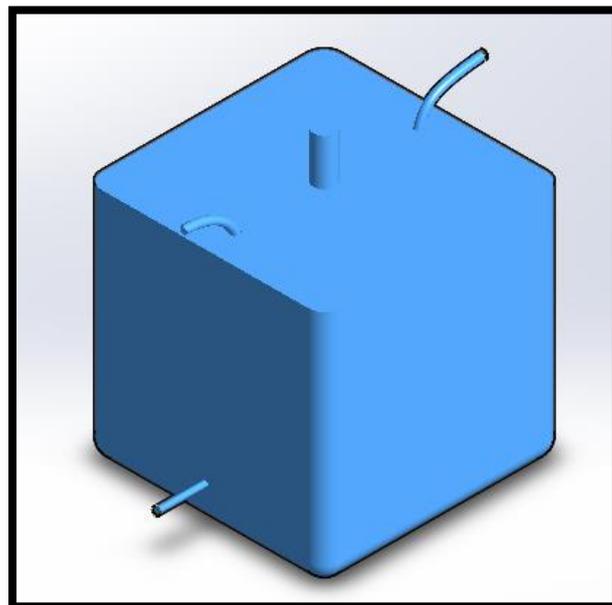
Para conseguir esto vamos a utilizar la herramienta automática de creación de tapas de SolidWorks como se indica. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 40:** Verificación de modelado hermético tanque

*Fuente: (SolidWorks, 2016)*

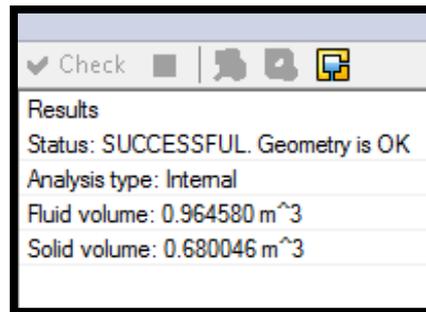
La herramienta de simulación de fluidos requiere que nuestro modelo sea completamente hermético para poder realizar un análisis correcto, la siguiente figura muestra la comprobación de que el sólido a analizar puede contener un fluido (Fuente Propia, 2016).



**Figura 41:** Comprobación de modelo hermético

*Fuente: (SolidWorks, 2016)*

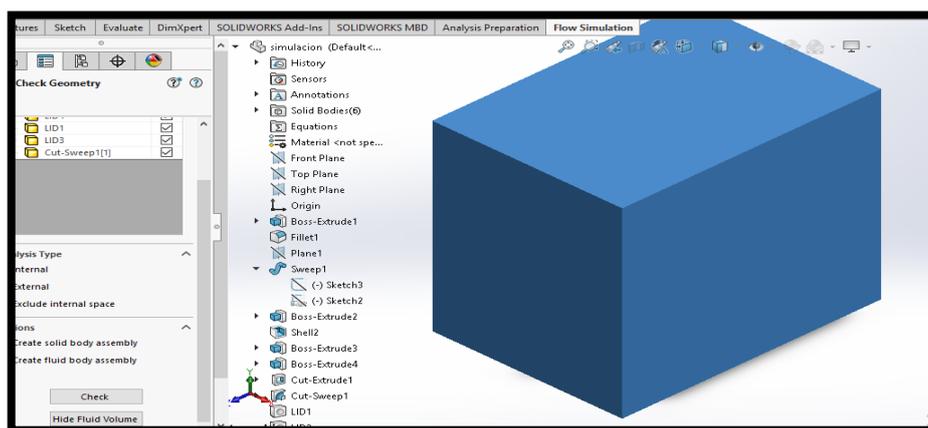
En la figura 42 se muestra que el modelado hermético es correcto de esta forma generando el volumen del fluido como del sólido, el valor de volumen obtenido es de acuerdo a los parámetros originales de diseño partiendo de los datos reales de volumen del tanque, por lo tanto el volumen que se utilizará para la simulación es de:  $\text{Volúmen generado} = 1,6\text{m}^3$  (Fuente Propia, 2016).



**Figura 42:** Verificación de volúmenes generados

Fuente: (SolidWorks, 2016)

En la siguiente figura se muestra el dominio computacional (espacio de fluido para simular) para la simulación Dominio computacional. (Fuente Propia N. , 2016)



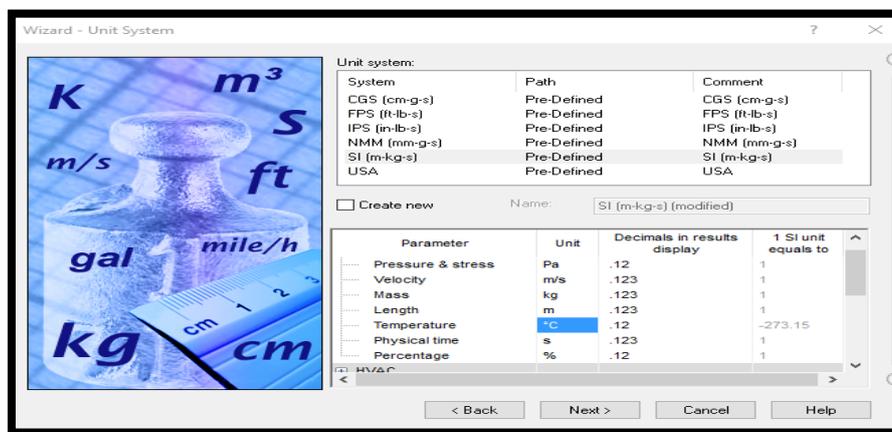
**Figura 43:** Dominio computacional del sistema

Fuente: (SolidWorks, 2016)

## 6.2 CREACIÓN DE SIMULACIÓN MEDIANTE WIZARD

Con el asistente de creación de simulaciones WIZARD se puede definir los parámetros para la simulación. (Fuente Propia N. , 2016)

Una vez creado el proyecto con el asistente de creación WIZARD se puede definir las unidades que van a ser utilizadas a lo largo de la simulación (sistema internacional). (Fuente Propia N. , 2016)

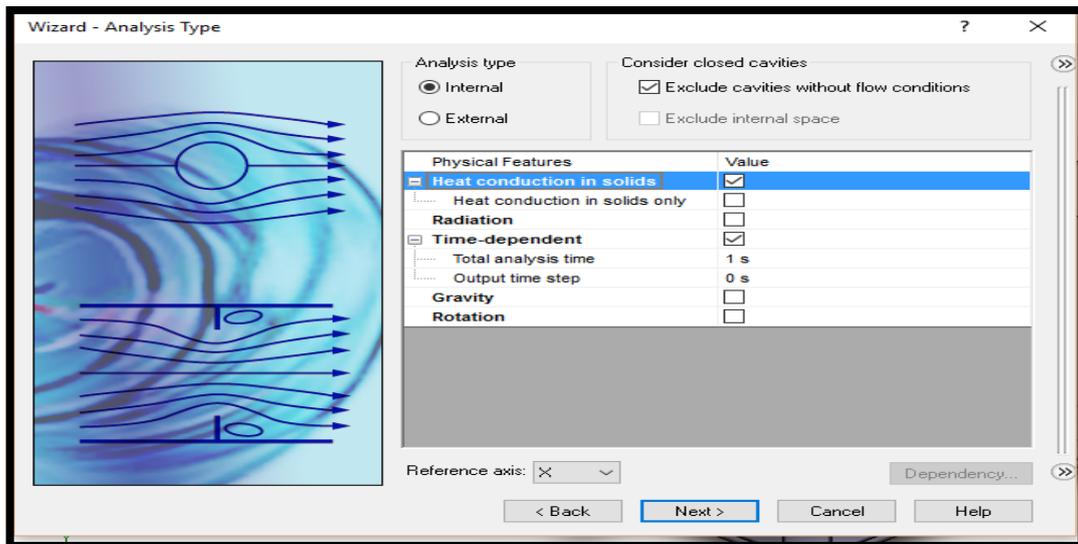


**Figura 44:** Ingreso de unidades (SI) WIZARD

Fuente: (SolidWorks, 2016)

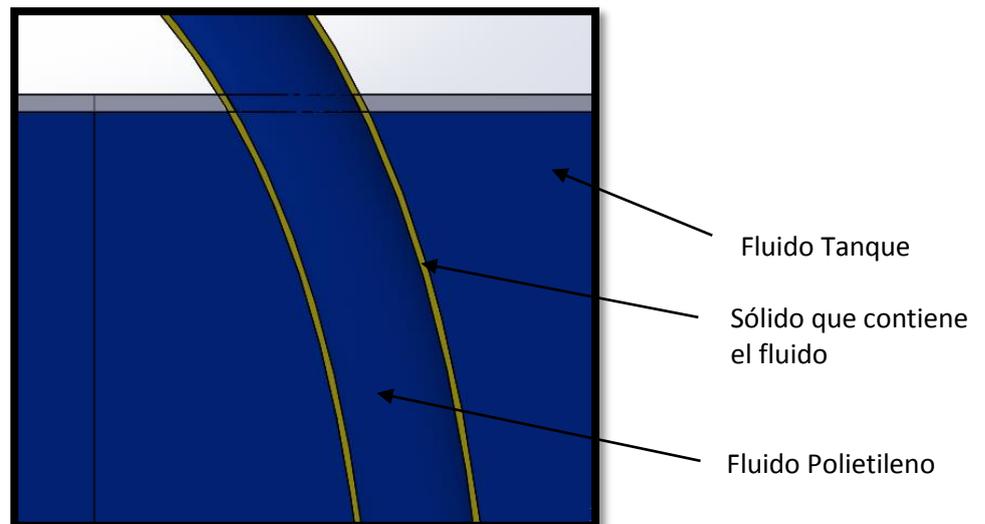
Se define el tipo de análisis (heat conductions in solids) al cual va a estar considerado el sistema.

Es necesario seleccionar esta opción (heat conductions in solids) debido a que, entre la manguera de polietileno, el fluido interno que simula el polietileno y el agua contenida en el tanque existe transferencia de calor no solamente entre fluidos sino también involucra sólidos, el programa asume por defecto que la transferencia es entre fluidos para evitar esto es necesario señalar la opción (heat conductions in solids). Cabe recalcar que la malla de polietileno contenida en el tanque esta simulada como un sólido que contiene un fluido (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 45:** Definición de tipo de análisis a considerar WIZARD

Fuente: (SolidWorks, 2016)

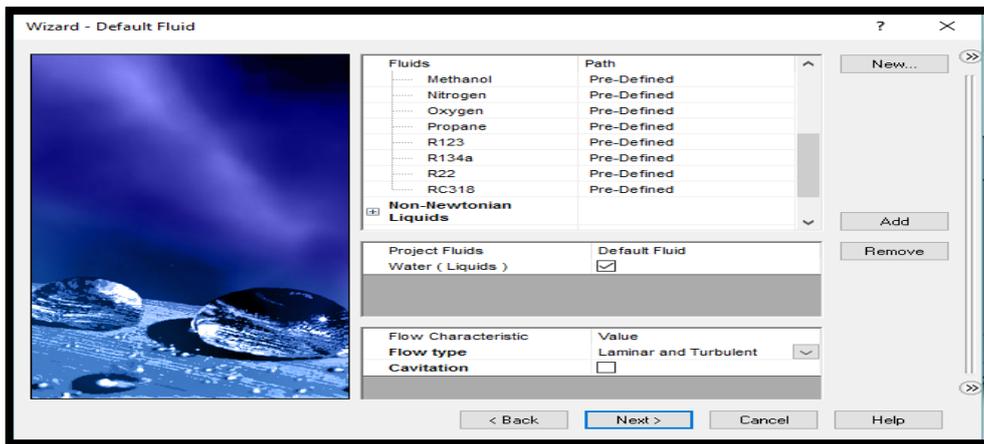


**Figura 46:** Vista en corte de modelo a simular

Fuente: (SolidWorks, 2016)

### 6.3 CONDICIONES DE DISEÑO

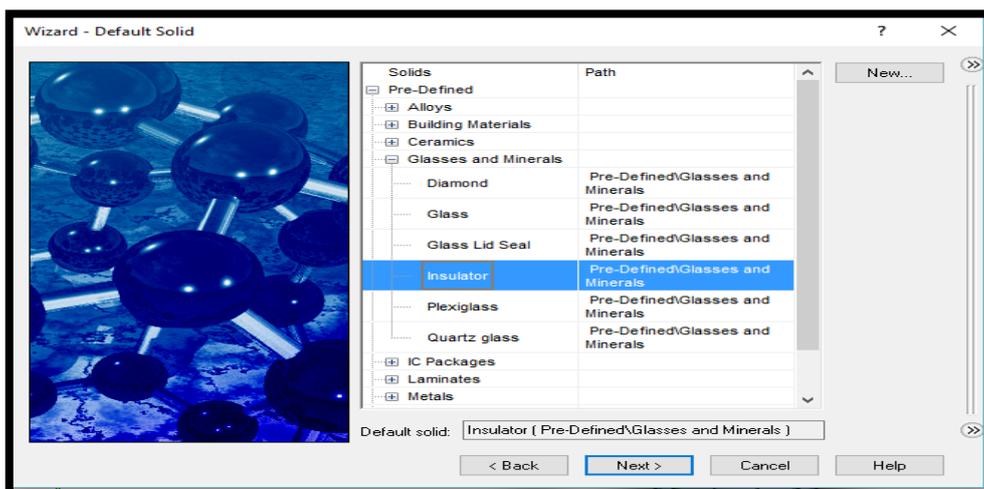
El siguiente paso es determinar el fluido con el cual vamos a trabajar para este caso es agua. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 47:** Determinación de fluido (agua) WIZARD

Fuente: (SolidWorks, 2016)

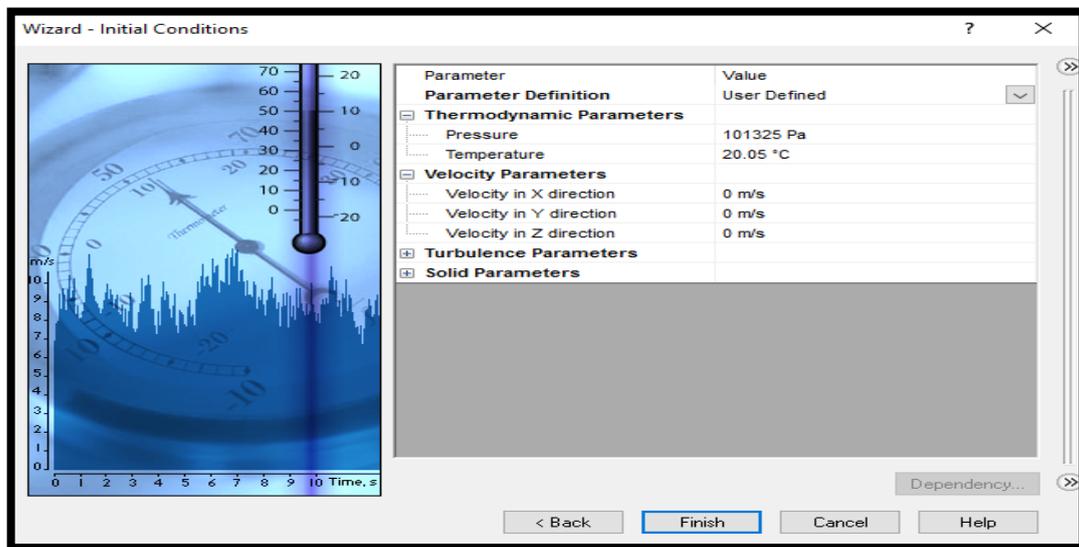
Seleccionar el material del solido que va a contener el fluido, el material seleccionado (insulador) va a ser un aislante con el fin de simplificar el proceso de simulación. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 48:** Determinación de material que va a contener el agua (insulador) WIZARD

Fuente: (SolidWorks, 2016)

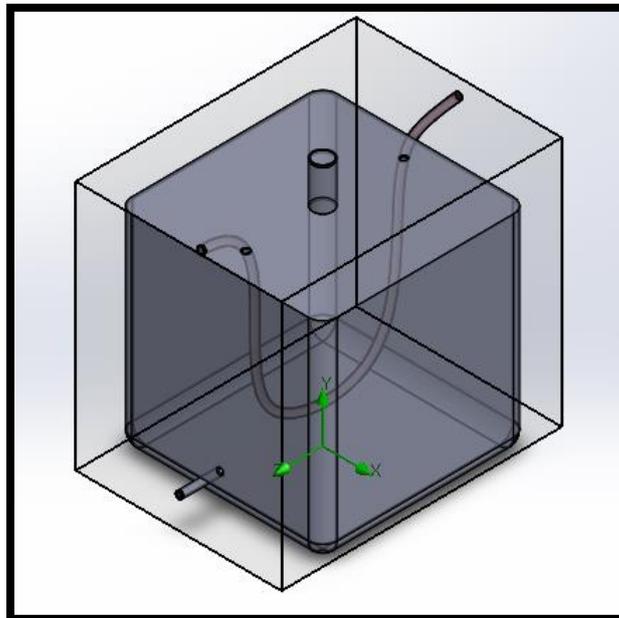
En la siguiente figura se muestran las condiciones iniciales del análisis:



**Figura 49:** Condiciones iniciales del análisis WIZARD

Fuente: (SolidWorks, 2016)

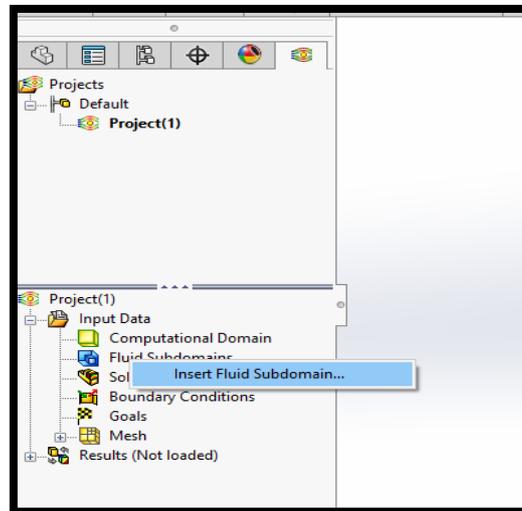
Al finalizar WIZARD muestra el dominio computacional en el cual se va a ejecutar la simulación. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 50:** Dominio computacional a ejecutar WIZARD

Fuente: (SolidWorks, 2016)

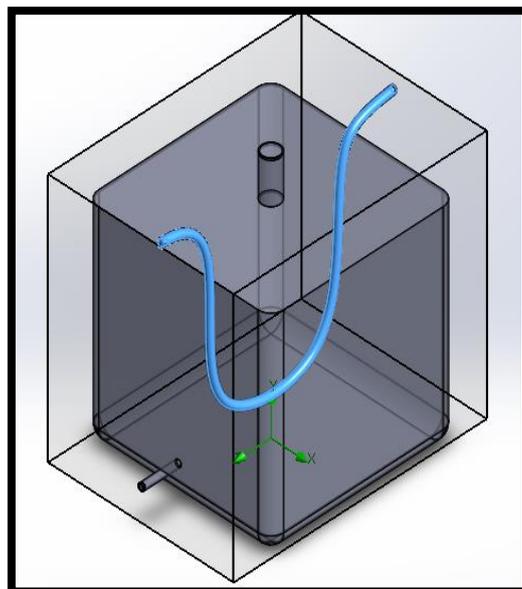
Se define el sub dominio computacional por el cual va a fluir el polietileno a través del tanque. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 51:** SubDominio computacional

Fuente: (SolidWorks, 2016)

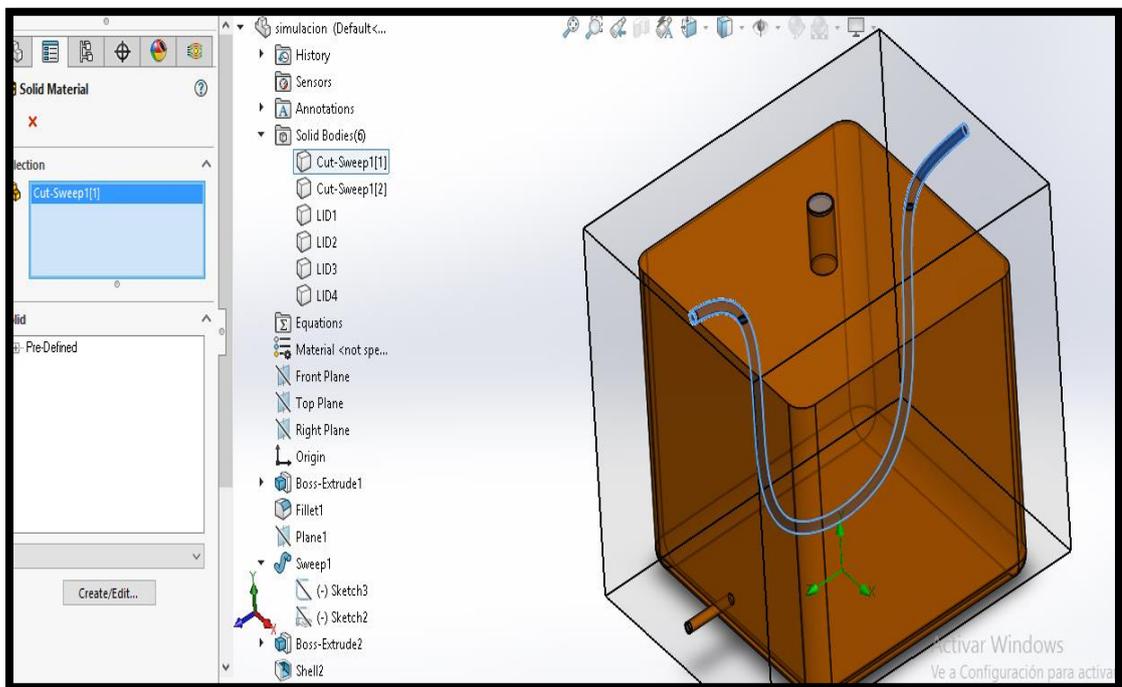
A continuación, se debe seleccionar la geometría del sub fluido a ser analizado, malla de polietileno extruido. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 52:** Geometría de SubDominio

Fuente: (SolidWorks, 2016)

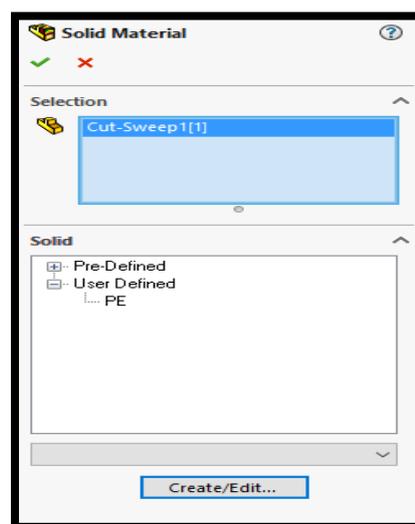
Definir el material sólido (tubo) para el polietileno. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 53:** Definición de material (Polietileno)

Fuente: (SolidWorks, 2016)

Seleccionar el material para simular el polietileno. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 54:** Selección de material (Polietileno)

Fuente: (SolidWorks, 2016)

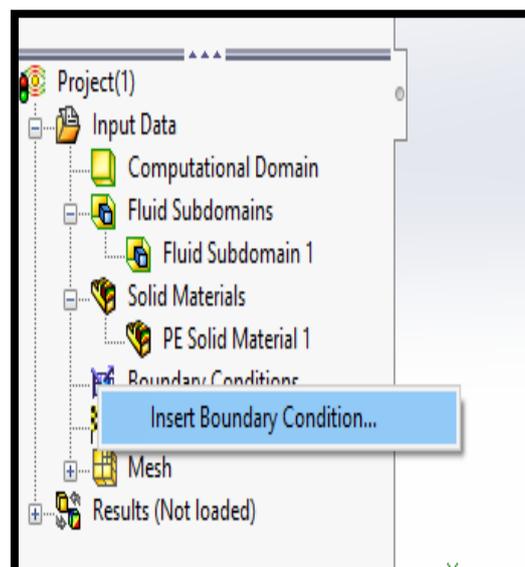
Definir las condiciones de borde para determinar las propiedades del fluido (velocidad y temperatura). (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 22.**

Condiciones de borde de simulación

PARAMETRO	ANALISIS 1	ANALISIS 2	ANALISIS 3
Caudal de entrada del fluido	$0,00237 \frac{m^3}{s}$	$0,00237 \frac{m^3}{s}$	$0,00237 \frac{m^3}{s}$
Velocidad de entrada Polietileno	0,63 m/s	0,63 m/s	0,63 m/s
Temperatura Polietileno	110 °C	110 °C	110 °C
Presión de Salida	0,06 MPa	0,06 MPa	0,06 MPa

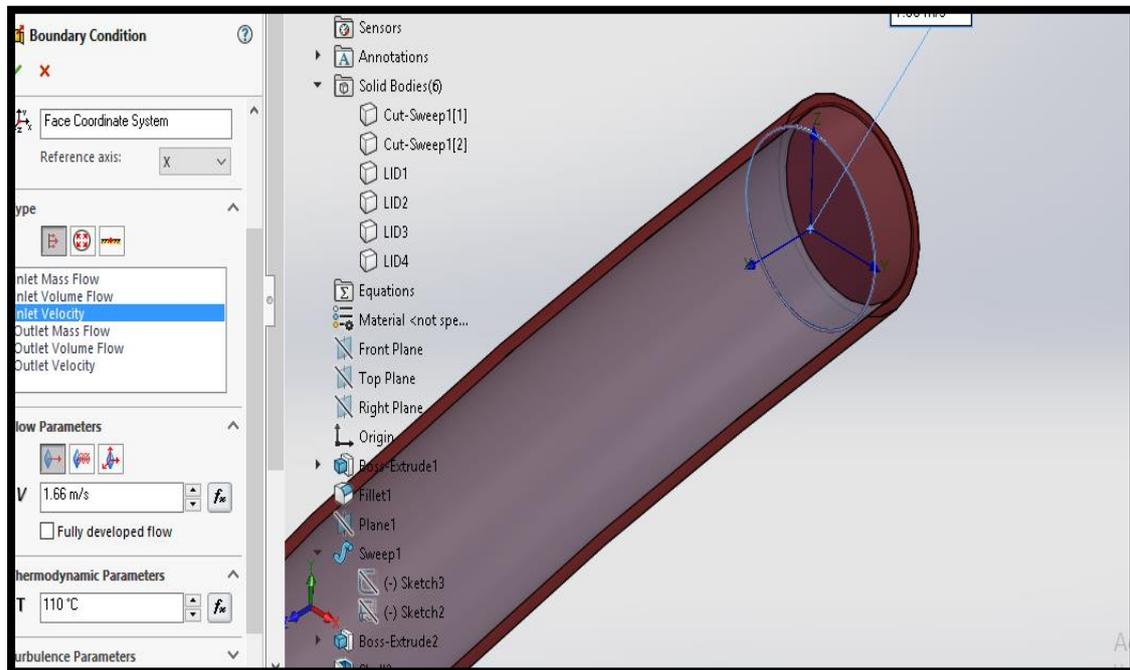
Fuente: (Fuente Propia, 2016)



**Figura 55:** Definición de condiciones de borde

Fuente: (SolidWorks, 2016)

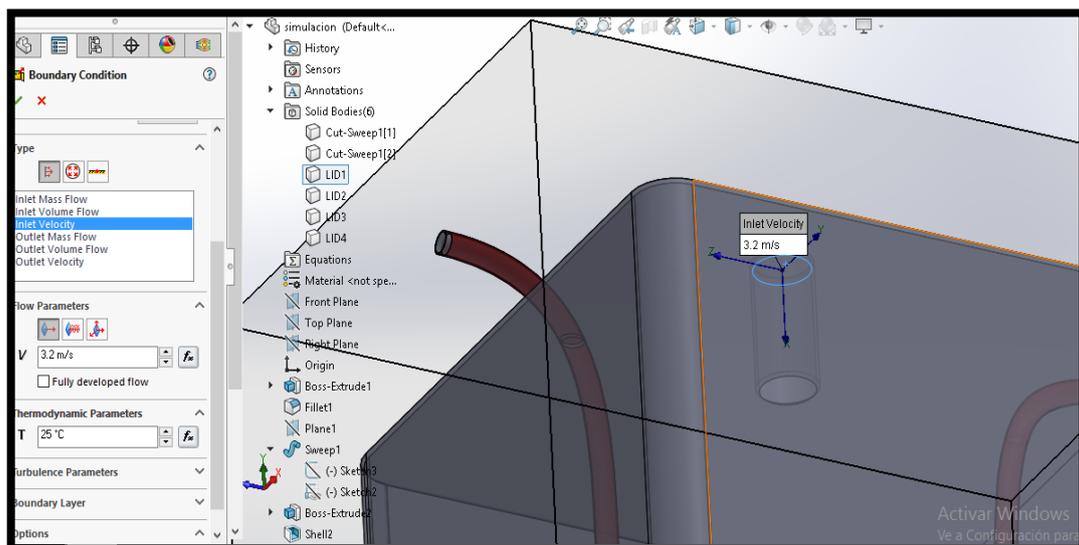
Definir condiciones de entrada de malla de polietileno. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 56:** Condiciones de entrada de PE

Fuente: (SolidWorks, 2016)

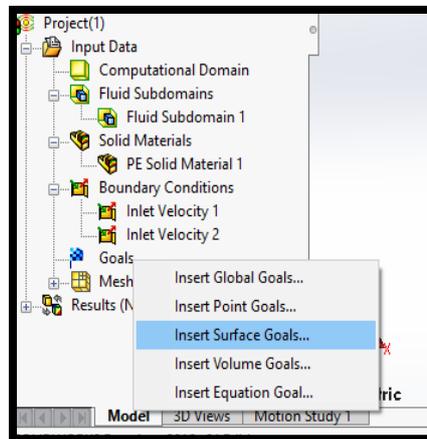
Definir condiciones de entrada de agua al tanque. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 57:** Condiciones de entrada de agua al tanque

Fuente: (SolidWorks, 2016)

Después de determinar estas condiciones para el análisis, se puede establecer los criterios de convergencia para la solución de la simulación. (Fuente Propia N. , 2016)

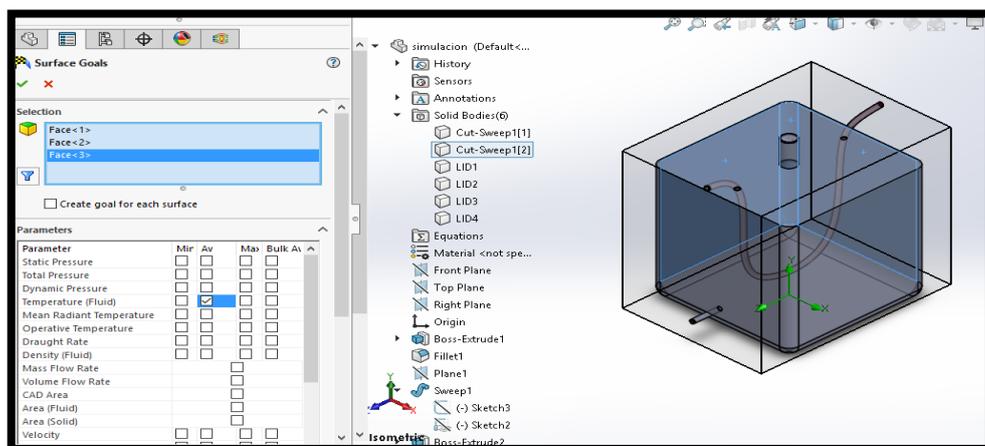


**Figura 58:** Definición de criterios de convergencia

Fuente: (SolidWorks, 2016)

El programa permite definir puntos, superficies, volúmenes y metas globales de todo el sistema. (Fuente Propia N. , 2016)

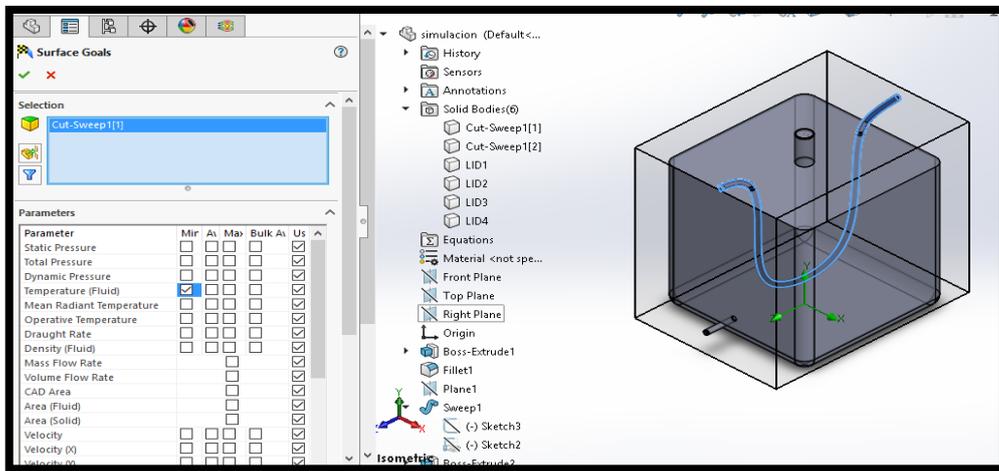
Por lo que se debe definir la meta de superficie en todas las caras del tanque para determinar la temperatura promedio del agua. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 59:** Definición de meta de superficie

Fuente: (SolidWorks, 2016)

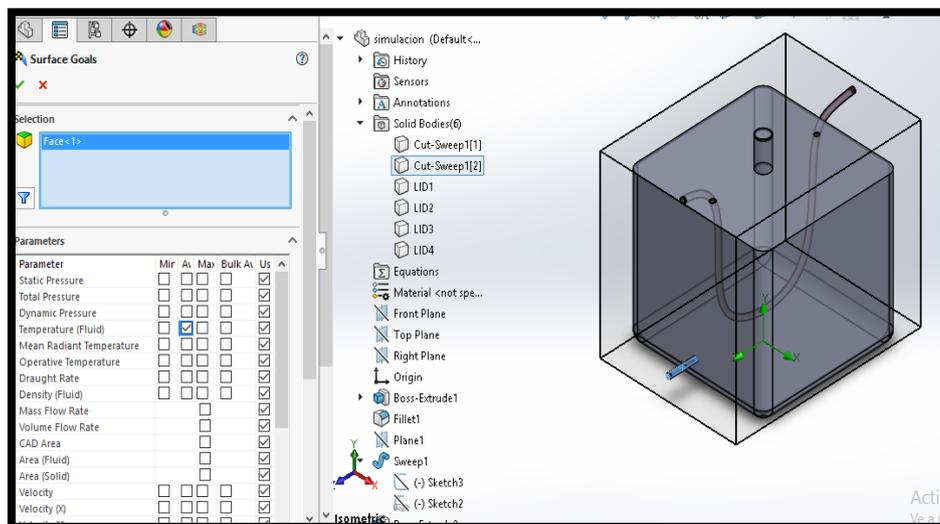
Definir la meta de superficie para la malla de polietileno extruida, considerando la temperatura mínima a la que va a llegar este elemento. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 60:** Definición de meta de superficie de malla de PE

Fuente: (SolidWorks, 2016)

Definir la meta de superficie para salida de agua en el tanque, para obtener el valor promedio del fluido que va a llegar a la torre de enfriamiento. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 61:** Definición de meta de superficie para salida del tanque

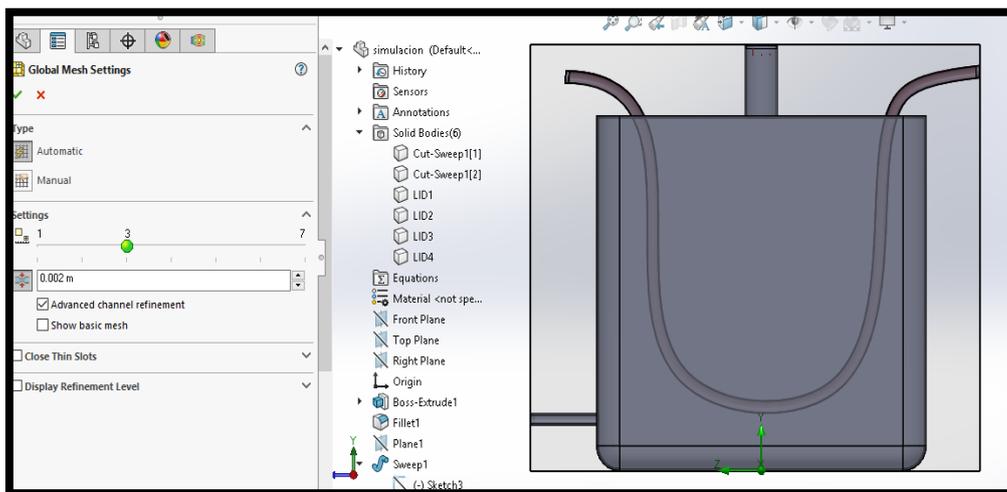
Fuente: (SolidWorks, 2016)

Finalmente, definir las condiciones de malla que se va a utilizar tomando en cuenta los puntos críticos en este caso la convección que existe entre el polietileno y el resto de fluido y la salida del agua en el tanque. (Fuente Propia N. , 2016)

Para esto vamos a tomar los valores como se ve en la imagen:

Definir un nivel de refinamiento de la malla N°3, reduce el mallado a tres niveles de siete por tiempo de simulación. (Fuente Propia N. , 2016)

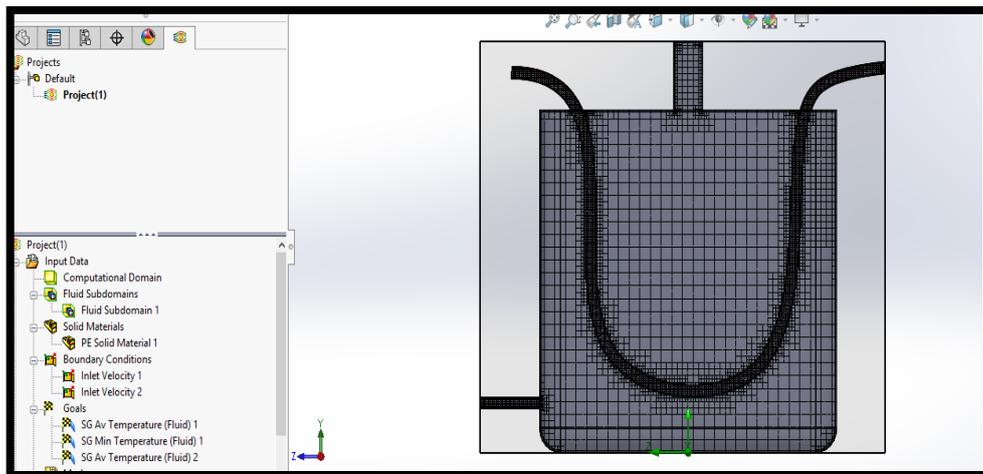
También se define el espesor de pared mínimo igual a 2mm debido a consideraciones previas de diseño, al igual que se define mallado adaptivo con el fin de que exista una mayor concentración en los contactos sólido líquido. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 62:** Definición de refinamiento de malla N°3

*Fuente:* (SolidWorks, 2016)

La siguiente figura muestra el mallado terminado dándole mayor importancia a los puntos de interés mencionados anteriormente. (Fuente Propia N. , 2016)



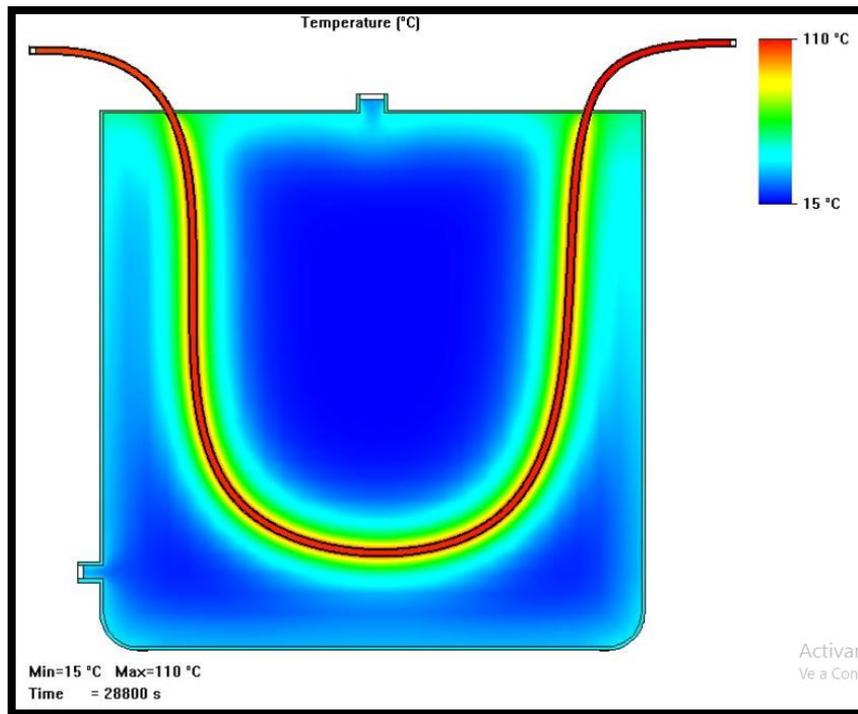
**Figura 63:** Mallado terminado

*Fuente:* (SolidWorks, 2016)

## 6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

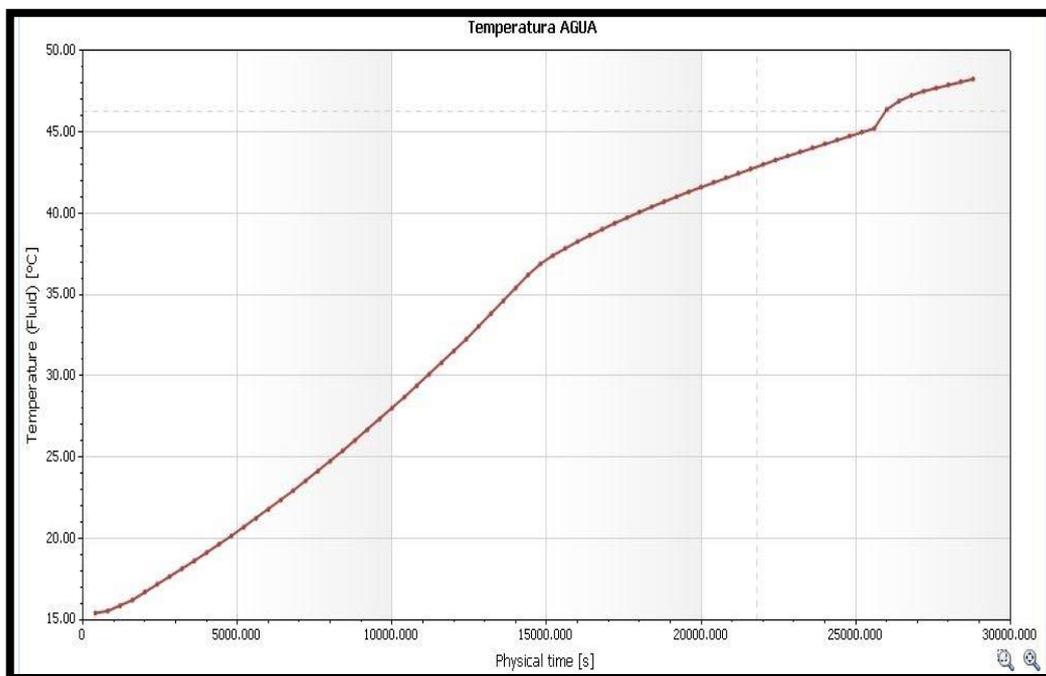
### 6.4.1 Primer Análisis Estacionario

El primer análisis estacionario se lo va a hacer sin tomar en cuenta la implementación de sistema de refrigeración, el polietileno está sumergido en el agua. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 64:** Primer análisis estacionario

Fuente: (SolidWorks, 2016)



**Figura 65:** Curva de resultados análisis estacionario

Fuente: (SolidWorks, 2016)

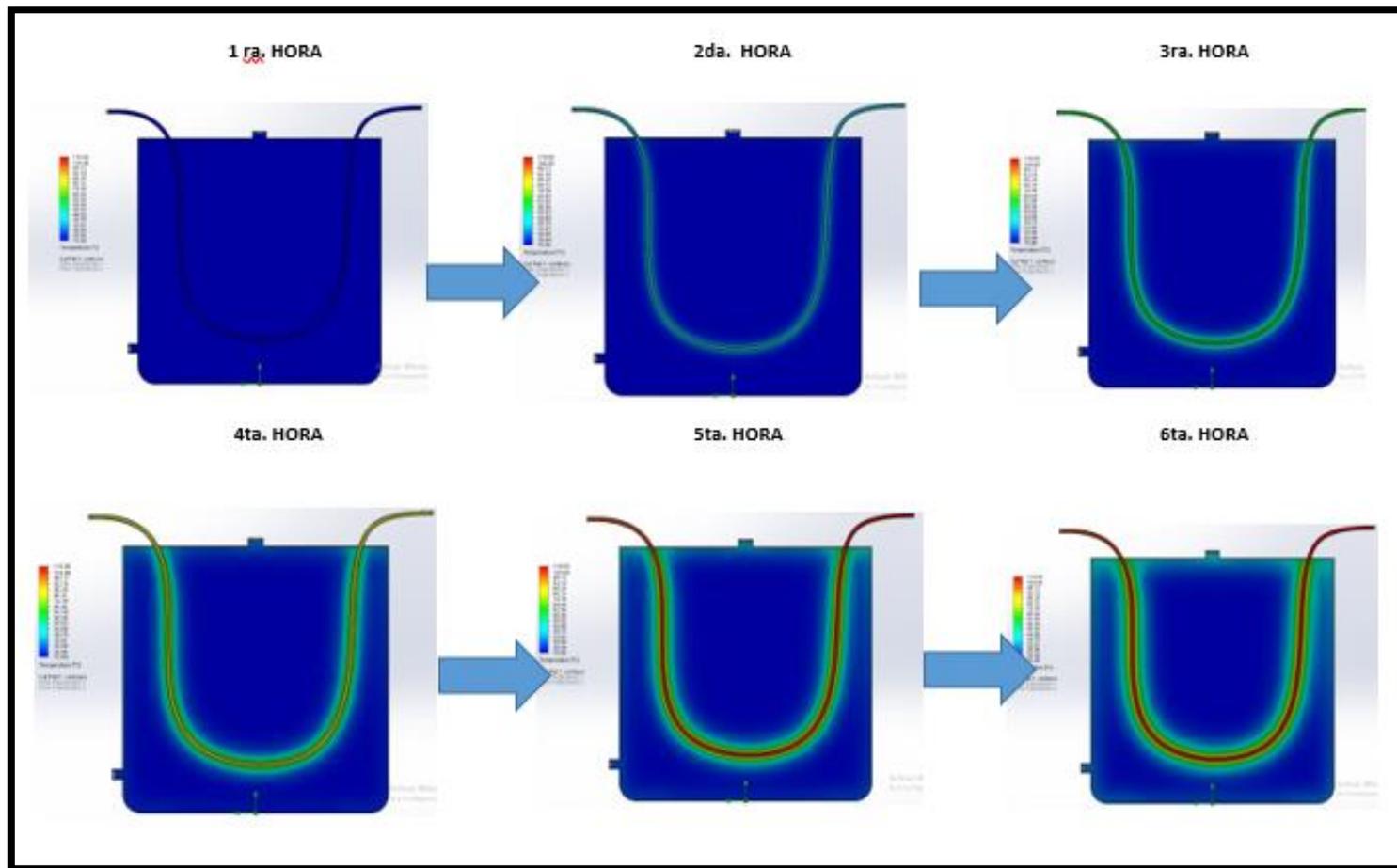
Este análisis se realiza simulando la jornada completa de trabajo de 9 horas para determinar cómo se comporta el tanque con la malla de polietileno extruido sumergida en el agua sin implementar el sistema. Como se puede observar en la gráfica, al no tener un flujo de entrada y salida de agua la temperatura del polietileno es disipada en el fluido. Al no existir un flujo la temperatura continuará aumentando y la malla extruida de polietileno perderá sus propiedades.

De esta manera haciendo una comparación con los datos obtenidos en el tanque experimentalmente como se muestra en la figura 3.1, se puede determinar que los parámetros y condiciones de borde considerados en la simulación son confiables y de este punto se puede partir para la simulación del sistema a implementar. (Fuente Propia N. , 2016)

#### **6.4.2 Segundo Análisis Transitorio**

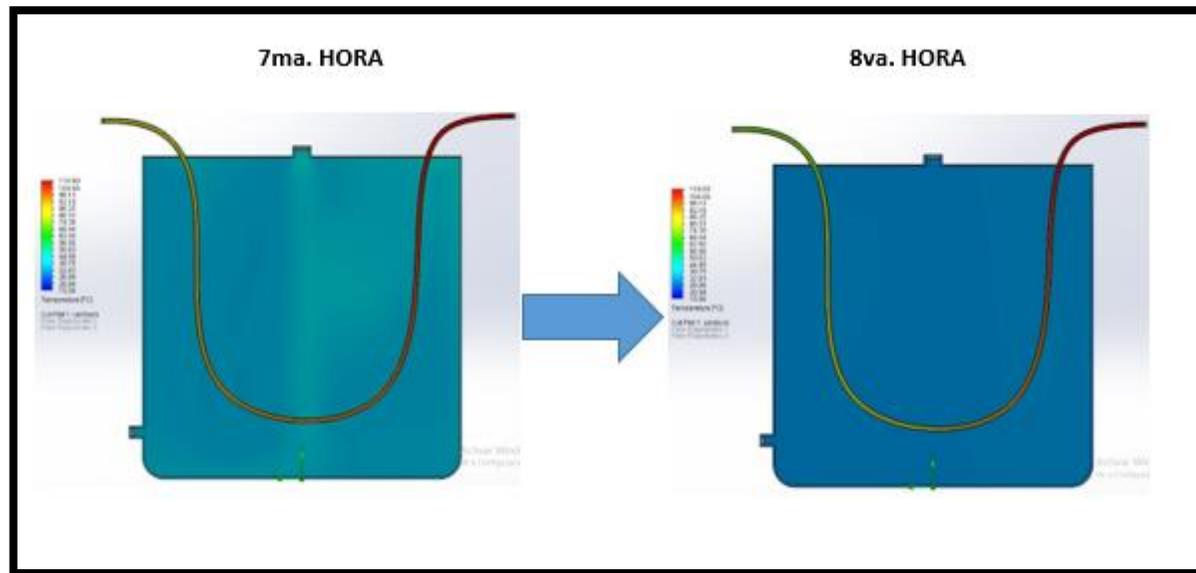
El segundo análisis se lo va a realizar en función del tiempo con el caudal real del fluido de entrada de  $0,00237 \frac{m^3}{s}$ , velocidad de salida de polietileno de 0,63 m/s, presión de salida de 0,06 MPa, temperatura del polietileno 110°C en la simulación el sistema se va a encender una vez que la temperatura en el tanque llegue a los 40°C, y se va a observar cómo va enfriando el agua del tanque.

La figura 6.30 y 6.31 muestra la secuencia de trabajo del sistema en función del tiempo:



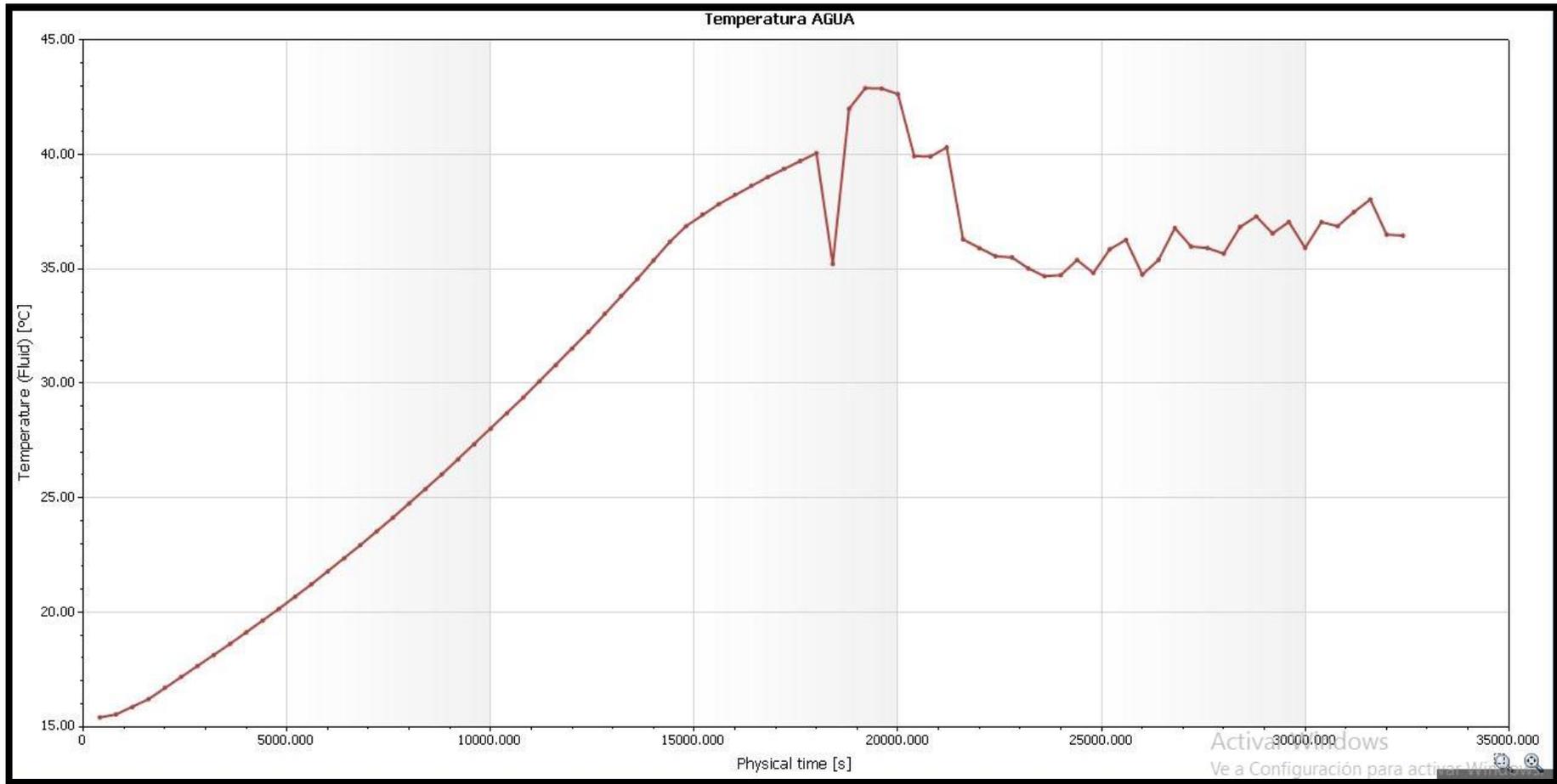
**Figura 66:** Secuencia de Trabajo de Enfriamiento en el Transcurso del Tiempo

Fuente: (SolidWorks, 2016)



**Figura 67:** Secuencia de Trabajo de Enfriamiento en el Transcurso del Tiempo

Fuente: (SolidWorks, 2016)



**Figura 68:** Gráfica de Secuencia de Trabajo de Enfriamiento en el Transcurso del Tiempo

Fuente: (SolidWorks, 2016)

Una vez obtenidos los resultados de la simulación en estado transitorio activando el sistema a la temperatura crítica de trabajo de 40°C, se puede observar que el sistema está trabajando correctamente y tarda aproximadamente una hora diez minutos en disminuir 5°C una vez que el sistema llega a la temperatura de 35C se estabiliza y en el caso de que la temperatura vuelva a elevarse el sistema se activa disminuyendo una vez más la temperatura.

Validando los cálculos en la simulación da una pauta inicial para realizar una implementación exitosa respecto al diseño, sin embargo, siempre será necesario realizar pruebas del modelo físico para validar el sistema ya que habrá otras variables como cambios de temperatura, variación en la velocidad del viento.

Con este análisis establecido partiendo de datos reales se puede establecer que el sistema a implementar será el adecuado, al ser una simulación estos valores variaran en la realidad, pero de esta forma se obtiene un direccionamiento hacia el correcto funcionamiento. (Fuente Propia, 2016)

## CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

### 7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La implementación de la torre de enfriamiento atmosférica servirá como medio para disminuir la temperatura del agua en cada uno de los tres tanques de manera independiente, que a su vez cristalizan la malla de polietileno extruido del proceso de producción de mallas de polietileno para botón floral. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 69:** Torre de Enfriamiento

*Fuente:* (Mallatec S.A., 2015)

### **7.1.1 Ubicación: corriente de aire**

La Fábrica Mallatec S.A. está ubicada en el al Sur-Oriente de la ciudad de Quito a una altura de 2500 msnm. sobre el nivel del mar. (Militar, 2105)

Debido a que se encuentra a pocos kilómetros al sur de la línea ecuatorial y una altura de 2500 metros su temperatura oscila entre los 8°C a los 29 °C, con una temperatura media anual de 15,6°C.(Ver Anexo 9). Los meses más fríos son de octubre a mayo y los meses más cálidos son de junio a septiembre. La menor velocidad de aire promedio se presenta en los meses de octubre a diciembre según datos estadísticos del año 2015 la velocidad media anual es de 10,1 km/h (Ver Anexo 10) este dato supera el valor mínimo establecido de 8 km/h para las condiciones de funcionamiento de la torre de enfriamiento atmosférica. (Militar, 2105)

## **7.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN**

Para realizar el diseño del sistema de circulación se consideró las condiciones de funcionamiento y posicionamiento de cada uno de los tres tanques de agua de enfriamiento, tomando en cuenta que desde estos se partió con el diseño del sistema que incluye el diseño y selección de la bomba, dimensionamiento de líneas de circulación y retorno de agua con sus respectivos accesorios. (Fuente Propia N. , 2016)

Las dimensiones y posicionamiento de los tres tanques respecto a la torre, al igual que la altura de la misma se pueden observar en el Plano (02-CIRC), a partir de estos se puede realizar el diseño y selección de la bomba, líneas de circulación y retorno y accesorios. (Fuente Propia N. , 2016)

Cabe recalcar que la torre de enfriamiento está anclada a una estructura de 2,5 metros de altura con el fin de que el agua que acumula en el reservorio retorne por gravedad a cada uno de los tanques de agua de enfriamiento. (Fuente Propia N. , 2016)

Una vez seleccionada la bomba se puede partir con el diseño del sistema de circulación. El diámetro de succión de la bomba es de 1 1/4" mientras que el diámetro de descarga es de 1" con estos datos del fabricante se puede seleccionar las tuberías y accesorios del sistema. (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.2.1 Selección de la tubería y accesorios

El diseño de un sistema de tuberías consiste en el diseño de sus tuberías, válvulas, accesorios, filtros. (Grinnell, 1995)

La siguiente lista muestra los pasos que se deben completar en el diseño mecánico de cualquier sistema de tuberías: (Grinnell, 1995)

- Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones, tales como la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas. (Grinnell, 1995)
- Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido. (Grinnell, 1995)
- Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia. (Grinnell, 1995)

#### 7.2.1.1 Presión del fluido

La presión del fluido se va a determinar mediante la ecuación de la potencia de salida de la bomba (Quirion, 1999):

$$Potencia = Presión \times Caudal$$

$$Presión (PSI) = \frac{Potencia (Hp) \times 1714}{Caudal (GPM)} \quad (6-1)$$

$$P = \frac{1 (Hp) \times 1714}{36,78 GPM}$$

$$P = 46,16 PSI$$

### 7.2.1.2 Temperatura del Fluido

La bomba seleccionada tiene 50°C como límite máximo de temperatura de fluido. (Mallatec S.A., 2015)

### 7.2.1.3 Diámetro de la Tubería

El diámetro de la tubería está determinado por las características de la bomba seleccionada, este parámetro se pudo determinar en el capítulo anterior el diámetro de succión de la bomba es de 1 ¼" y el diámetro de descarga es de 1". (Evans, 2016)

### 7.2.1.4 Material de la Tubería y Accesorios

Para realizar la selección del material de la tubería del sistema de circulación se va a aplicar una matriz de decisión de acuerdo a los diferentes materiales y sus respectivas propiedades que se encuentran el mercado. Donde 5 es la más favorable y 1 es la más despreciable. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 23.**

Matriz de decisión material de tubería succión y descarga

<b>TUBERIA</b> <i>(Material)</i>  <b>PROPIEDADES</b>	<b>PP ROSCABLE</b>	<b>GALVANIZADO</b>	<b>BRONCE</b>
Resistencia a la Corrosión	5	3	4
Resistencia a la Temperatura	4	4	4
Facilidad de Conexión	5	5	5
Flexibilidad	5	3	3

Continua

Costo	5	4	2
Accesorios	5	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>24</b>	<b>23</b>

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

La matriz de decisión determino que la tubería y accesorios roscables de PP son la mejor opción dentro del mercado. (Fuente Propia N. , 2016)

#### 7.2.1.4.1 Tubería roscable de PP

Debido a que posee una baja conductividad eléctrica, no se produce en el material la corrosión galvánica, mucho menos la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, esto facilita el paso del fluido al conservar inalterable la sección hidráulica. (Plastigama, 2014)

Resisten el ataque de aguas con elementos químicos o productos químicos, gracias a la inercia química del compuesto de PVC y a los aditivos usados en la fabricación. (Plastigama, 2014)

El sistema de roscado es preciso y ayuda a realizar instalaciones de forma rápida y segura, mejorando el rendimiento en la instalación de tuberías en obra. (Plastigama, 2014)



**Figura 70:** Tarraja NPT

Fuente: (Plastigama, 2014)

Para garantizar la hermeticidad las uniones roscadas de PVC se sellan con cinta teflón y el ajuste se efectúa mediante presión manual. (Plastigama, 2014)



**Figura 71:** Cinta Teflón

*Fuente:* (Plastigama, 2014)

Las características y especificaciones técnicas de la tubería roscable de polipropileno se la puede apreciar en el ANEXO 11.

### **7.2.2 Ubicación de la Bomba**

Una vez determinada y seleccionada la bomba y por criterios de funcionamiento del diseño debe estar ubicada lo más cerca posible a la succión, es por eso que se la ubica junto a la salida del tanque número 2, de esta manera la succión de la bomba se encuentra más cerca a la salida del tanque uno y dos, la salida del tanque número tres es la distancia más alejada de la succión de la bomba. (Fuente Propia N. , 2016)

### **7.2.3 Línea de Succión de la Bomba**

Los restos de polietileno extruido se acumulan en el cabezal de la extrusora, caen al agua y se asientan en el fondo del tanque por lo que es necesario diseñar un filtro que impida el paso de estos sedimentos por la salida del tanque hacia la bomba. (Fuente Propia N. , 2016)

A continuación, se muestra el filtro construido y acoplado en los tanques:



**Figura 72:** Filtro para sedimentos PP

Fuente: (Mallatec, 2016)

Para realizar la conexión a la succión de la bomba se debe acoplar la salida de cada uno de los tres tanques de enfriamiento de agua, estos tienen una válvula de bola de 2" en la cual se acopla cada una de las electroválvulas de 1" que controlaran la salida de agua de los tanques. (Fuente Propia N. , 2016)

En las siguientes figuras se puede observar los accesorios que se utilizan para acoplar la electroválvula a la salida de cada uno de los tanques de agua. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 73:** Acople electroválvula tanque 1

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 74:** Acople electroválvula tanque 2

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 75:** Acople electroválvula tanque 3

Fuente: (Mallatec, 2016)

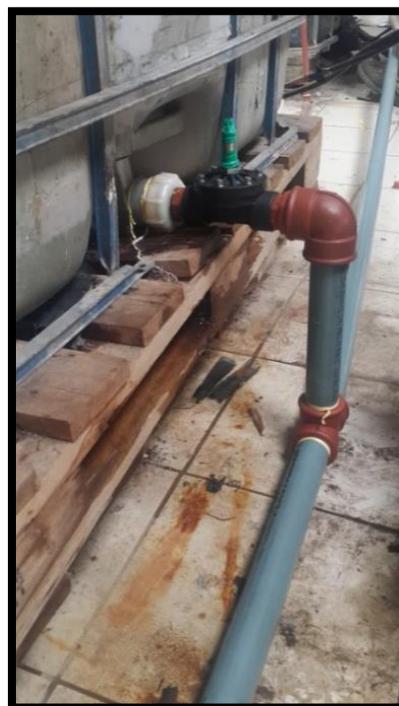
Una vez realizada la adaptación a la electroválvula de 1" en cada uno de los tanques se procede a realizar la conexión de la tubería de 1 ¼" desde cada uno de los tanques realizando un circuito de conexión hasta la succión de la bomba. (Fuente Propia N. , 2016)

En las figuras se muestra la conexión de la tubería a la succión de la bomba:



**Figura 76:** Conexión tubería tanque 3

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 77:** Conexión tubería tanque 2

Fuente: (Mallatec, 2016)



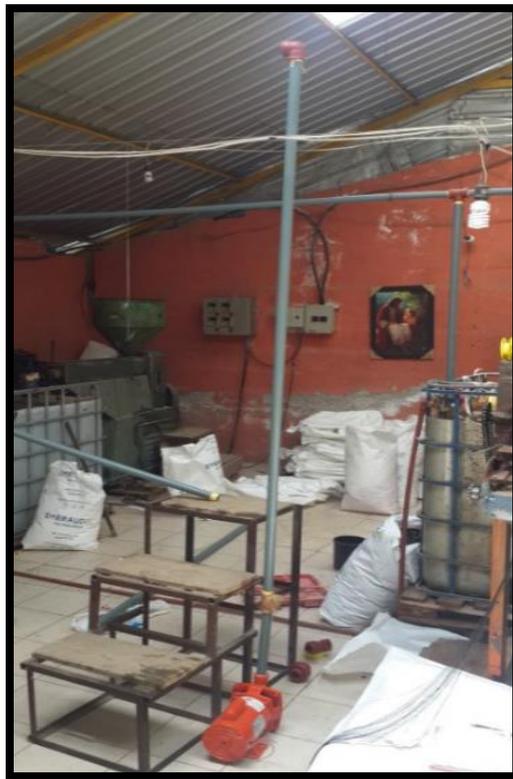
**Figura 78:** Conexión tubería a línea de succión bomba

Fuente: (Mallatec, 2016)

#### **7.2.4 Línea de Descarga de la Bomba**

Tanto la tubería como los accesorios necesarios para la construcción de la línea de descarga de la bomba deben ser de 1" de diámetro. (Fuente Propia N. , 2016)

A continuación, se muestran paso a paso la conexión de la línea de descarga desde la salida de la bomba hasta el distribuidor de agua de la torre de enfriamiento. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 79:** Conexión tubería a línea de descarga de bomba

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 80:** Línea de descarga de bomba

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 81:** Línea de descarga exterior de bomba

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 82:** Línea de descarga de bomba en torre

Fuente: (Mallatec, 2016)

### 7.2.5 Circuito de Retorno de agua a los tanques

Tomando en cuenta el diseño de la torre de enfriamiento que se encuentra anclada a un soporte de 2,5 metros de alto con el fin de que el agua retorne a cada uno de los tanques x gravedad, la tubería del circuito de retorno al tanque debe estar conectada desde la salida del tanque reservorio de la torre hacia los tres tanques de agua de enfriamiento. (Fuente Propia N. , 2016)

Por lo que la única función de esta tubería es conducir el agua desde el tanque reservorio hasta cada uno de los tres tanques de agua de enfriamiento. (Fuente Propia N. , 2016)

#### 7.2.5.1 Presión del fluido

La presión del fluido será la presión hidrostática que este ejerce sobre las paredes de la tubería cuando la electroválvula se encuentre cerrada. A continuación, se calcula la misma: (Fuente Propia N. , 2016)

$$P = \rho gh + P_o \quad (6-2)$$

*P: Presión*

*h: altura*

*$\rho$ : densidad del líquido*

*P<sub>o</sub>: Presión atmosférica*

*g: gravedad*

$$P = 992,25 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 1,5m + 101325 Pa$$

$$P = 115911,1 Pa$$

$$P = 16,81 PSI$$

### 7.2.5.2 Temperatura del Fluido

El fluido va a circular a una temperatura máxima de 50°C en el peor de los casos. (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.2.5.3 Diámetro de la tubería

El diámetro calculado para la tubería de retorno es de 2", este diámetro se determinó una vez realizado los cálculos verificando que este sea el apropiado para la línea de retorno por gravedad. (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.2.5.4 Material de la tubería y accesorios

Para realizar la selección del material de la tubería del circuito de retorno de agua se va a aplicar una matriz de decisión de acuerdo a los diferentes materiales y sus respectivas propiedades que se encuentran el mercado. Donde cinco es la ponderación más favorable y uno es la más despreciable. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 24.**

Matriz de decisión material de tubería de retorno a los tanques

<b>TUBERIA</b> <i>(Material)</i>  <b>PROPIEDADES</b>	<b>PVC</b> <b>DESAGÜE</b>	<b>GALVANIZADO</b>	<b>PP ROSCABLE</b>
Resistencia a la Corrosión	5	1	5
Temperatura	5	5	5
Facilidad de conexión	5	4	5
Flexibilidad	5	3	5

Continua

Costo	5	2	2
<b>PONDERACIÓN</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>22</b>

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

La matriz de decisión determino que la tubería de PVC de desagüe es la mejor opción dentro del mercado. (Ver Anexo 2) (Fuente Propia N. , 2016)

#### 7.2.5.4.1 Tubería de desagüe de PVC

Los tubosistemas PVC Sanitaria son fabricados de PVC (Policloruro de Vinilo). Están diseñados para transportar agua servida, residual doméstica, industrial o aguas lluvias y ventilación. Son fabricados para ser unidos con cemento solvente. Los tubos vienen de extremo liso y los accesorios con campana. (Pavco, 2015)

Los Tubosistemas de Sanitaria de PVC de son totalmente inmunes a los gases y líquidos corrosivos de los sistemas de desagüe. También son inertes a la acción de los productos químicos comúnmente utilizados para destapar cañerías. (Pavco, 2015)

La tubería de PVC rígido ha estado en servicio por más de 40 años en usos industriales, acueductos y desagües. Esta tradición y experiencia garantizan la durabilidad y el buen servicio de la tubería de PVC rígido. (Pavco, 2015)



**Figura 83:** Tubería de desagüe PVC

Fuente: (Plastigama, 2014)

### 7.2.5.5 Conexión de circuito de retorno de agua a los tanques

En las siguientes figuras, se detalla paso a paso la conexión del circuito de retorno de agua desde la torre de enfriamiento a cada uno de los tanques. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 84:** Acople de conexión en reservorio a circuito de retorno de agua

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 85:** Conexión en reservorio a circuito de retorno de agua

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 86:** Conexión de tubería de retorno a ingreso de la planta

Fuente: (Mallatec, 2016)



**Figura 87:** Tubería de retorno en tanques

Fuente: (Mallatec, 2016)

## **7.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

### **7.3.1 Implementación del tablero de control**

En los ítems anteriores se calculó los diferentes elementos y conductores que van a ser implementados en el tablero de control del proceso, a continuación, se describe la implementación del mismo. (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.3.2 Colocación de Canaletas y Rieles DIN en el Tablero

Es muy importante colocar las canaletas en la base del tablero de control, estas van permitir guiar y esconder el cableado del tablero, de manera funcional y estética.

El carril DIN es fundamental para el montaje de los distintos dispositivos en el tablero de control, este riel es normalizada y se puede sujetar de manera muy fácil cualquier elemento. El carril DIN implementado es el Tipo C ya que este se utiliza en breakers, contactores, Relés, PLC, etc. (Ver Anexo 16).

En la figura se puede observar la colocación de estas en la base del tablero (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 88:** Canaletas y Riel DIN

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

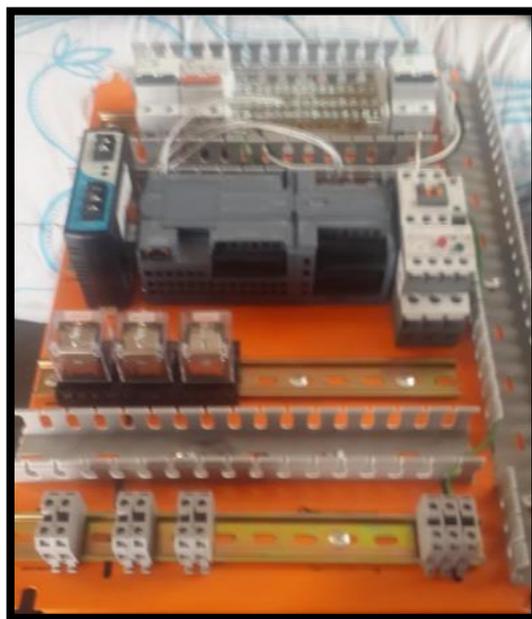
### 7.3.3 Montaje de Elementos

De acuerdo al diseño establecido en el plano se ubica en la parte superior del tablero las protecciones para este caso los breakers, en la parte media los elementos de control como el PLC y sus módulos y en la parte inferior las salidas del control que para este caso son los relés. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 89:** Ubicación de Elementos tablero de control

Fuente (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 90:** Fijación de Elementos en tablero de control

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.3.4 Montaje de Pulsadores y Luces Piloto

Los pulsadores como las luces piloto del tablero de control van ubicados en la puerta del tablero de control, estos van conectados a los diferentes elementos como se muestra en el plano. Para poder ser ubicados en el tablero es necesario perforar la puerta y sujetarlos. En la figura se muestra el montaje de estos elementos. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 91:** Ubicación de pulsadores y luces piloto

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 82:** Perforación en puerta de tablero

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 83:** Montaje pulsadores y luces piloto

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.3.5 Cableado del Tablero de Control

Una vez montado los elementos de protección y control al igual que las luces piloto y pulsadores se procede a conectar de acuerdo al plano el tablero de control. En la siguiente figura se muestra el cableado del tablero. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 84:** Cableado de pulsadores y luces piloto

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 85:** Cableado de tablero de control

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.3.6 Conexión de la Bomba

Una vez determinada mediante el diseño del sistema de circulación el posicionamiento de la bomba se procede a tender el cable desde el tablero de control y conectar la bomba EVANS. (Fuente Propia, 2016)

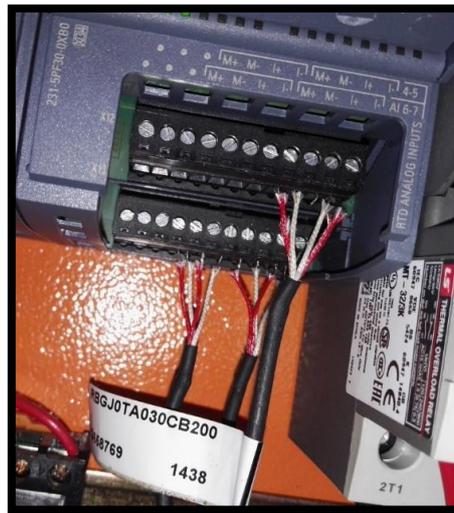


**Figura 86:** Ubicación y conexión de la bomba EVANS 3HME100

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.3.7 Montaje de Sensores PT100

Para montar los sensores PT100 lo primero a realizar es verificar la conexión correcta mediante colores de cables de señal en el módulo de temperatura SIEMENS SM 1231 RTD. (Fuente Propia, 2016)



**Figura 87:** Conexión de PT100 en módulo SM1231

*Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)*

Una vez conectado los sensores en el módulo SM1231 se procede a tender el cable adecuadamente hasta posicionarlos en cada uno de los tanques y el cuarto sensor se posiciona en el exterior de la planta montado sobre un soporte de fijación y de esta manera conseguir enviar la señal de la temperatura ambiente, las siguientes figuras muestran el montaje de dichos sensores. (Fuente Propia, 2016)



**Figura 88:** PT100 con soporte de fijación en Tanque

*Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)*



**Figura 89:** PT100 medidor de temperatura ambiente

*Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)*

## 7.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Durante la implementación y montaje de los elementos del sistema de circulación como tuberías y accesorios al igual que los elementos en el tablero de control se comprobó el funcionamiento de cada uno de estos. A continuación se describe las pruebas que se realizaron a cada uno de los diferentes componentes del sistema. (Fuente Propia N. , 2016)

### 7.4.1 Verificación de Líneas de Circulación y accesorios

Una vez conectado el sistema eléctrico-electrónico se procedió a probar las conexiones de las líneas de succión y descarga con fluido activo, verificando que no exista fugas en accesorios y acoples de la tubería. (Fuente Propia, 2016)



**Figura 90:** Verificación de Fugas en Tuberías y Accesorios

*Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)*

**Tabla 25.**

Funcionamiento de líneas de circulación y accesorios

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
Verificación de fugas en acoples y accesorios en líneas de succión	✓	
Verificación de fugas en acoples y accesorios en líneas de descarga	✓	
Verificación de fugas en líneas de descarga	✓	
Verificación de fugas en líneas de succión	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

**7.4.2 Verificación de Funcionamiento de Torre de enfriamiento**

Después de haber comprobado el correcto funcionamiento de las líneas del sistema de circulación se procedió a comprobar el funcionamiento de la torre de enfriamiento con flujo activo, verificando que no existe atrapamiento de flujo en las unidades de transferencia al igual que en la salida del tanque reservorio. (Fuente Propia, 2016)

**Tabla 26.**

Funcionamiento de torre de enfriamiento

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
Verificación de caudal en unidades de transferencia	✓	
Verificación de atrapamiento de flujo en tanque reservorio	✓	
Verificación de fugas en líneas de flujo en torre de enfriamiento	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)



**Figura 91:** Verificación de Torre de Enfriamiento con Flujo Activo

*Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)*

### **7.4.3 Comprobación de Continuidad de Conexiones**

Lo primero que se debe realizar previo a energizar el tablero de control, es comprobar la continuidad en todas las conexiones, de esta forma se puede comprobar que no exista problema con el cableado como puede ser conexiones flojas y lo más importante que no exista corto circuitos en el tablero de control. (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 27.**

Funcionamiento de continuidad de conexiones

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
Continuidad de conexiones de alimentación de 220V.	✓	
Continuidad de conexiones de alimentación de 24V	✓	
Continuidad de conexiones de tablero de control	✓	
Continuidad de conexión de motor de la bomba	✓	
Continuidad de conexión de electroválvulas	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### **7.4.4 Funcionamiento de Luces Piloto de Tablero de Control**

Se comprobó el funcionamiento de las luces piloto del sistema las cuales indican la puesta en marcha del sistema al igual que las alarmas cuando el sistema supera los 40°C. (Fuente Propia, 2016)



**Figura 92:** Verificación de Luces Piloto

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 28.**

Verificación de Luces Piloto

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Verificación de luces piloto de activación de electroválvulas	✓	
Continuidad de conexiones de luces piloto de tablero de control	✓	
Verificación de luces piloto de la bomba	✓	
Verificación de luces piloto de alarmas	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### 7.4.5 Funcionamiento del Contactor de la bomba

Para verificar el funcionamiento del Contactor de la bomba se alimentó las bobinas (A1 y A2), de esta forma el contactor conmuta. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 93:** Funcionamiento Contactor

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 29.**

Verificación de Contactor de La Bomba

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Continuidad en conexiones de contactor	✓	
Alimentación de bobina de contactor 220V	✓	
Verificación de funcionamiento en reposo	✓	
Verificación de funcionamiento inestable	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### 7.4.6 Funcionamiento de la Bomba

Una vez encendida la bomba se verificó su funcionamiento, es importante verificar la corriente de consumo asegurándose que no sobrepase la corriente nominal de la placa del motor de la bomba. La corriente nominal de la placa del es 6 A. para la conexión a 220 v, la lectura del amperímetro funcionando la bomba es 5.3 A. (Fuente Propia, 2016)



**Figura 94:** Funcionamiento de la bomba

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 30.**

Verificación de funcionamiento de La Bomba

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Continuidad en conexiones de la bomba en tablero de control	✓	
Alimentación de contactor 220V	✓	
Verificación de corriente nominal de motor de la bomba	✓	
Verificación de caudal en línea de descarga	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### 7.4.7 Funcionamiento del PLC

Para probar el funcionamiento del PLC se carga el programa, de esta manera se puede observar la activación y desactivación de las entradas y salidas programadas. En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento del PLC. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 95:** Funcionamiento PLC

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 31.**

Verificación de funcionamiento de PLC

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Alimentación a CPU SIEMENS 1214C de fuente de voltaje 110V-24V	✓	
Alimentación 24V a Módulo de RTD SM1231	✓	
Activación de entradas y salidas de PLC	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### 7.4.8 Funcionamiento de los Relés

Al igual que los contactores para comprobar el correcto funcionamiento de los relés se energizó la bobina comprobando que los contactos del relé conmutan. (Fuente Propia N. , 2016)



**Figura 96:** *Funcionamiento Relé*

*Fuente;* (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 32.**

Verificación de funcionamiento de Relé

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Alimentación de bobina de relé	✓	
Activación de contactos de control desde PLC	✓	
Verificación de señales de salida de relé	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### **7.4.9 Funcionamiento de Electroválvulas**

Después de haber comprobado el correcto funcionamiento de los relés se comprobó el funcionamiento de las electroválvulas verificando su activación la cual permita mantener un flujo activo en el sistema (Fuente Propia, 2016).



**Figura 97:** Funcionamiento Electroválvula

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

**Tabla 33.**

Verificación de funcionamiento de Electroválvulas

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Alimentación de bobina de relé	✓	
Activación de contactos de control desde PLC	✓	
Verificación de activación de bobina de electroválvula	✓	
Verificación de fluido por líneas de carga y descarga del sistema	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

#### 7.4.10 Funcionamiento de Sensores

Se comprobó el funcionamiento de los sensores montados en el sistema, verificándose que exista envío de señal desde los sensores al módulo del PLC.

**Tabla 34.**

Verificación de funcionamiento de Sensores

PARÁMETRO	CUMPLE	NO CUMPLE
Conexión de sensor RTD 4 hilos en Módulo SIEMENS SM1231	✓	
Verificación de envío de señales PLC	✓	
Activación Manual del Proceso	✓	
Activación automática secuencial de sistema de control PLC	✓	

Fuente: (Fuente Propia, 2016)

## 7.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de comprobar el correcto funcionamiento de los las líneas, acoples, accesorios del sistema de circulación y dispositivos eléctricos electrónicos y conexiones del tablero de control se puede comprobar el correcto funcionamiento del proceso verificando la secuencia del programa de control al igual que el control del PLC sobre el sistema. (Fuente Propia N. , 2016)

Se pudo comprobar que cada una de las entradas (pulsadores, selector, paro de emergencia y sensores PT100) y salidas (electroválvulas y bomba) del PLC funcionan adecuadamente con la programación cargada en el PLC.

Además, se pudo determinar que el dimensionamiento y selección del cableado es correcto, se comprobó que el cableado no calienta y tampoco genera una considerable caída de tensión.

Mediante la implementación del sistema se pudo determinar que una vez activadas las electroválvulas del sistema, la activación de la bomba se dará 10 segundos después de que estas se abrieron, con el fin de garantizar que las líneas de succión tengan flujo y la bomba pueda trabajar adecuadamente.

Una vez implementado el sistema se pudo determinar que este se enciende aproximadamente a las 10:50 A.M. tiempo en el cual la temperatura de uno de los tanques está 5°C por encima de la temperatura ambiente, permaneciendo prendido por aproximadamente 50 minutos consiguiendo disminuir 5°C, después de esto se activa el sistema para el siguiente tanque que tiene la mayor temperatura en el agua de enfriamiento. Este es el punto crítico del sistema ya que la temperatura ambiente se eleva considerablemente mientras el sistema está en funcionamiento por lo que, si una hora después de haberse activado el sistema sin lograr disminuir la temperatura de dicho tanque este se apaga y continúa comparando la temperatura de los otros dos tanques, poniendo en funcionamiento el de mayor temperatura.

El sistema se enciende aproximadamente por seis horas y media durante la jornada laboral de 08:00 A.M. a 17:00 P.M. operando las tres máquinas paralelamente obteniendo una notable mejoría en la calidad del producto final, sin necesidad de parar la máquina durante la jornada para cambiar de agua en el tanque de enfriamiento, la limitación que presenta el sistema al trabajar las tres máquinas en paralelo es que aproximadamente después de 25 minutos de finalizar la jornada laboral el sistema dio la alarma por temperatura en una de las máquinas, limitando a que se trabaje solo en dos de las tres máquinas extrusoras. Hay que considerar que el funcionamiento del sistema está relacionado directamente con la variación de la temperatura ambiente y la capacidad de la torre de enfriamiento.

Si trabaja en dos de las tres máquinas extrusoras con el sistema encendido, este puede hacer que las máquinas trabajen continuamente, ya que cada máquina disminuye su temperatura e inmediatamente el sistema entra en funcionamiento con la siguiente. Para conseguir esto el sistema se enciende constantemente durante el trabajo de las máquinas extrusoras.

En las siguientes figuras se puede observar la mejoría en el producto final aplicando el sistema automatizado. (Fuente Propia, 2016)

En la figura 7.40 se muestra la malla de polietileno con falla en el ajuste:



**Figura 98:** Malla de Polietileno con falla en el ajuste (memoria)

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

En la figura 7.41 se muestra la malla de polietileno con memoria (ajuste) requerido como resultado final obtenida con el sistema automatizado:



**Figura 99:** Malla de Polietileno sin falla en el ajuste (memoria)

Fuente: (Fuente Propia N. , 2016)

## CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 CONCLUSIONES

- El diseño e implementación del sistema automatizado para el proceso de producción de malla de polietileno para la empresa MALLATEC S.A. permitió aumentar la producción en un 10%, evitando el desperdicio de un recurso vital como el agua en 3000 litros diarios.
- Al momento de seleccionar una bomba se debe tomar en cuenta ciertos parámetros como las propiedades del fluido, temperatura del mismo y caudal de trabajo, de modo que las características del funcionamiento de la bomba en relación al sistema al cual va a ser empleada sean tales que el funcionamiento esté cerca del punto máximo de rendimiento, optimizando el rendimiento y minimizando el consumo de energía de la bomba.
- A pesar de ser levemente más costoso que un termopar, el PT100 ofrece mayor precisión en su lectura con precisión de hasta una décima, de esta manera se puede tener un control mucho más preciso.
- La simulación permitió tomar decisiones comparando con los resultados obtenidos en base al diseño calculado. Una vez realizada la modelación e implementando el sistema se pudo comparar los resultados verificándose que el sistema de enfriamiento depende directamente de factores variables los cuales limitan directamente el proceso.
- Las unidades de transferencia son quizás la parte más importante de la torre de enfriamiento, y mientras mayor sea su número o área de transferencia el enfriamiento se producirá de mejor manera.

- El sistema implementado permitió mejorar la calidad en el producto final evitando devolución del cliente y desperdicio de material, sin embargo al utilizarse las tres máquinas extrusoras en paralelo la torre de enfriamiento funciona al límite por lo que es necesario incrementar la capacidad de enfriamiento de la torre para de esta manera optimizar el tiempo de trabajo del sistema.
- La implementación del módulo de temperatura SIEMENS SM 1231 RTD permitió establecer un control adecuado a las características de funcionamiento del sistema, permitiendo seleccionar sensores de mayor precisión.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

- Realizar el mantenimiento al sistema implementado mediante el plan de mantenimiento preventivo generado.
- Verificar y limpiar diariamente el filtro adaptado a la salida de cada uno de los tanques, previniendo que no se tape la salida de agua y garantizando el funcionamiento adecuado de las electroválvulas.
- Mediante el manual de usuario y funcionamiento familiarizarse con el tablero de control y la secuencia de programación del sistema automatizado.

## BIBLIOGRAFÍA:

Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. México: Mc. Graw Hill.

Courtinho, F., Mello, I., & Santa María, L. (2003). Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 13(1), 1-13.

Diaclau. (2013). *Diaclau*. Obtenido de <https://diaclau.wordpress.com/2011/03/23/hello-world/>

Evans. (2016).

FIDA. (2012). *Polietileno de Baja Densidad*. Obtenido de [http://www.fida.es/es-ES/medio%20ambiente/112/712\\_Polietileno%20de%20baja%20densidad%20\(PEBD\).aspx](http://www.fida.es/es-ES/medio%20ambiente/112/712_Polietileno%20de%20baja%20densidad%20(PEBD).aspx)

Fuente Propia, N. (2016).

Grinnell. (1995). *Piping Design and Engineering*.

Mallatec. (2016).

Marley. (2001). Coolin Tower Parts.

McCabe, S. H. (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. En S. H. McCabe, *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: Mc Graw Hill.

Metrólogos, M. (2006). *La Guía Metas*. Obtenido de <http://www.metas.com.mx/guiamet/La-Guia-MetAs-06-07-seleccion-termometros.pdf>

Militar, I. G. (2105). Cartografía Topográfica.

Mott, R. L. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. Naucalpan de Juarez, México: Prentice Hall.

Navarro, D. (2001). *Conexionado e Interfaces de Entrada/Salida*. Venezuela: Departamento de Electricidad, Controlador Lógico Programable.

Pallás, R. (1989). *Sensores y Acondicionadores de Señal*. Macrombo.

Pavco. (2015). Tubería sanitaria.

Perdomo, G. (2003). Plásticos y medio ambiente. *EIP*, 1-14.

Plastigama. (2014). Características y especificaciones técnicas de tubería roscable de PVC.

Ramos del Valle, L. F. (1993). *Extrusión de Plásticos*. México: Limuza.

Sawitoski. (1987). *Métodos de cálculo en los procesos de transferencia de materia 1era*. Madrid: Alambra.

Siemens, T. P. (2015).

SolidWorks. (2016). *SolidWorks*. Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/flow-simulation.htm>

Treybal, R. E. (1970). Operaciones de Transferencia de Masa. En R. E. Treybal, *Operaciones de Transferencia de Masa*. Mc Graw Hill.

Wilde. (2010). Controlador Lógico Programable. *Automación Micromecánica s.a.i.c.*