

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL
PROCESO DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA**

OSCAR ENRIQUE GONZÁLEZ MUÑOZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACION EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2011

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL
PROCESO DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA**

OSCAR ENRIQUE GONZÁLEZ MUÑOZ

**Trabajo de Grado para optar al Título de Especialista en Control e
Instrumentación Industrial**

Director:

Juan Carlos Villamizar

Magister Potencia Eléctrica

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACION EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2011

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 19 de febrero de 2011.

***AGRADEZCO A DIOS POR LA OPORTUNIDAD DE ESCALAR
EN MIS METAS PERSONALES Y PROFESIONALES
A MI FAMILIA Y MIS AMIGOS POR SU APOYO INCONDICIONAL***

AGRADECIMIENTOS

Al Director de Proyecto, Juan Carlos Villamizar, por sus valiosos aportes y enseñanzas.

A los docentes de la especialización, a mis compañeros, los directivos y operarios de Extrucol S.A., a mi familia y a todos los que participaron y me apoyaron en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	13
2	JUSTIFICACIÓN	14
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
4	OBJETIVOS	16
4.1	OBJETIVO GENERAL	16
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5	MARCO TEÓRICO.....	17
5.1	ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	17
5.1.1	Descripción del Proceso	17
5.1.2	Conceptualización del sistema	22
5.1.3	Especificaciones Iniciales.....	24
5.2	DESCRIPCIÓN DE VARIABLES A SUPERVISAR Y CONTROLAR.....	29
5.3	DIAGRAMA GEMMA.....	32
5.3.1	Grupo F. Procedimientos de Funcionamiento.....	32
5.3.2	Grupo A. Procedimiento de Paradas y Puestas en Marcha.....	33
5.3.3	Grupo D. Procedimientos de Defecto.....	34
5.4	DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN	34
6	INSTRUMENTACIÓN.....	36
6.0	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS.....	36
6.0.1	Selección Instrumento Transmisor de Presión	37
6.0.2	Selección Instrumento Transmisor de Temperatura	40
6.0.3	Selección Instrumento Conmutador de Flujo	43
6.1	DEFINICIÓN DE VARIABLES Y NORMATIVA	45
6.1.1	Definición de Variables	45
6.1.2	Normativa.....	47

6.2	CRITERIO DE SELECCIÓN DE CONTROL Y AUTOMATISMOS.....	53
6.2.1	Herramientas de Software y Desarrollo	55
6.2.2	Interfaz Hombre – Máquina (HMI).....	68
7	DISEÑO DE SOFTWARE	71
7.0	SOFTWARE PLC	71
7.0.1	Etapas del Software en el Twido Suite.....	73
7.0.2	Software de la Interfaz HMI.....	75
8	RESULTADOS	78
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
9.0	CONCLUSIONES	79
9.1	RECOMENDACIONES.....	80
10	BIBLIOGRAFÍA	81
11	ANEXOS	82

LISTA DE GRÁFICAS

Figura 1. Diagrama Chiller refrigerado por Agua	17
Figura 2. Compresor Semi-hermético Copeland	18
Figura 3. Condensador	18
Figura 4. Evaporador	19
Figura 5. Tablero de fuerza y control	19
Figura 6. Motobomba de Condensación	20
Figura 7. Motobomba de Circulación	21
Figura 8. Torre de Enfriamiento	22
Figura 9. Diagrama Proceso de Refrigeración	23
Figura 10. Ciclo de Condensación de Agua	23
Figura 11. Diagrama Ciclo de Circulación de Agua	24
Figura 12. Sistema de Control implementado con lógica cableada	25
Figura 13. Manómetro en ciclo de condensación	26
Figura 14. Manómetros en ciclo de condensación	27
Figura 15. Termopar ubicado a la salida del proceso.....	27
Figura 16. Dispositivo de visualización temperatura.....	27
Figura 17. Circuito implementado Control Chiller	28
Figura 18. Esquema Eléctrico de Control	28
Figura 19. Conmutador de flujo – línea de circulación.....	31
Figura 20. Diagrama GEMMA.....	32
Figura 21. Diagrama de Instrumentación P&ID	35
Figura 22. Transmisor Danfoss MBS3000	38
Figura 23. Transmisor Danfoss MBT 9110.....	41
Figura 24. Conmutador de flujo W.E. Anderson Modelo FS-2	44
Figura 25. Diagrama Comunicaciones Twido.....	64
Figura 26. Descripción partes módulo de entradas análogas	66
Figura 27. Magelis HMI STU855	69
Figura 28. PLC TWIDO	71
Figura 29. Etapa de Arranque	73
Figura 30. Etapa de Alarmas	73
Figura 31. Temporizado TM0.....	74
Figura 32. Accionamiento de Motores	74
Figura 33. Activación de alarmas	75
Figura 34. Interfaz Sistema de Enfriamiento.....	76
Figura 35. Pantalla de alarmas.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características Técnicas Transmisor Danfoss MBS 3000	38
Tabla 2. Características Eléctricas Transmisor Danfoss MBS 3000	39
Tabla 3. Condiciones de Trabajo Transmisor Danfoss MBS 3000.....	39
Tabla 4. Datos Técnicos Transmisor Danfoss MBT 9110.....	42
Tabla 5. Especificaciones Eléctricas Transmisor Danfoss MBT 9110	42
Tabla 6. Condiciones ambientales de trabajo	43
Tabla 7. Especificaciones Técnicas Conmutador de Flujo W.E. Anderson Modelo FS-2	44
Tabla 8. Rango de Flujo de Trabajo.....	45
Tabla 9. Descripción grado de protección IP	48
Tabla 10. Descripción grado de protección IP de terminales.....	48
Tabla 11. Descripción grado de protección IP de la tapa.....	48
Tabla 12. Descripción grado de protección IP del empaquetamiento	48
Tabla 13. Descripción grado de protección IP	49
Tabla 14. Identificación del Instrumento	50
Tabla 15. Designación Normativa ANSI 5.1.....	51
Tabla 16. Características Generales Controlador Twido	56
Tabla 17. Configuración máxima Hardware.....	60
Tabla 18. Características Principales.....	62
Tabla 19. Descripción Módulo Analógico.....	66
Tabla 20. Características Módulo	66
Tabla 21. Características Magelis HMI STU855	69
Tabla 22. Entradas Digitales al PLC	71
Tabla 23. Entradas Análogas al PLC TM2AMI4LT	72
Tabla 24. Salidas del PLC	72

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Transmisor de Presión Marca: Siemens Modelo: Sitrans PZ..
- Anexo B. Transmisor de Presión Marca: Telemecanique Modelo: Nautilus XML E..
- Anexo C. Transmisor de Presión Marca: Danfoss Modelo: MBS..
- Anexo D. Transmisor de Presión Marca: Kobold Modelo: SEN..
- Anexo E. Transmisor de Temperatura Marca: Siemens Modelo: Sitrans TF2.
- Anexo F. Transmisor de Temperatura Marca: Danfoss Modelo: MBT.
- Anexo G. Transmisor de Temperatura Marca: Kobold Modelo: TMA.
- Anexo I. Conmutador de Flujo Marca: WE Anderson Modelo: FS 2.
- Anexo J. Conmutador de Flujo Marca: Kobold Modelo: FPS.
- Anexo M. PLC Twido.
- Anexo N. Magelis HMISTU855

RESUMEN

1. TITULO

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA.

2. AUTOR

Ingeniero Oscar Enrique González Muñoz.

3. FACULTAD

Escuela de Ingeniería Electrónica

4. DIRECTOR DE PROYECTO

Msc Juan Carlos Villamizar

5. PALABRAS CLAVES.

Automatización, chiller, circuito de condensación, circuito de circulación, PLC, Magelis, HMI, software, Vijeo-Designer, Twido Suite, alarma, interfaz.

6. DESCRIPCION.

En el documento presentado se plantea una solución al problema generado por el sistema de refrigeración en la empresa Extrucol S.A el cual es muy deficiente y genera pérdidas significativas en materia prima y tiempos muertos. La solución es una evolución tecnológica del sistema de control que lleva implícito una mejora significativa en el análisis de causas y ubicación de fallas.

En el capítulo 5 se encuentra un marco teórico, necesario para el análisis del sistema de enfriamiento, los elementos que lo componen, la descripción de las variables a controlar y un análisis de fallas con el diagrama Gemma,

En el capítulo 6 se describe la instrumentación necesaria para el proceso, los criterios de selección y los equipos de automatización como lo son el plc y la magelis.

En el capítulo 7 se muestran los diferentes diseños de software desarrollados por el autor para la aplicación, y en los capítulos restantes los resultados del proyecto y las conclusiones del mismo.

Como resultado de este proyecto se plantea una solución para ubicar cada una de las fallas integrando la instrumentación seleccionada, con el conocimiento que se tiene del proceso y un autómata programable como cerebro de todo el sistema.

ABSTRACT

1. TITTLE

COOLING SYSTEM AUTOMATIZATION FOR EXTRUSION PIPE PROCESS

2. AUTHOR

Engineer Oscar Enrique González Muñoz

3. FACULTY UNIVERSITY:

Electronic Engineering School

4. PROJECT DIRECTOR:

Ms.C. Juan Carlos Villamizar

5. KEY WORDS

Automatization, chiller, condensation circuit, circulation circuit, PLC, Magelis, HMI, Software, Vijeo-Designer, Twido Suite, alarm, interface.

6. DESCRIPTION

This document describes the solution for a problem that has been presented in the cooling system process, one of the most important stages for extrusion pipe process handled by Extrucol S.A. enterprise. This problem generates raw material loss and dead times at the process. The proposed solution at this project raises a technological evolution for control system, in addition to obtain an important advance for finding the reason and location of failure points. At the chapter 5 there're definitions and explanations related with cooling system, to establish the theoretical foundation for system analysis. Describes the variables subject to study, elements involved at the system and presents the Gemma graphic.

Chapter 6 describes instrumentation requires for the process, selection parameters, and automation equipments, p.e. PLC and Magelis.

Chapter 7 shows design software for the application, and final chapters describes the conclusions and recommendations, obtained at the project.

The result for this project provides a solution for locate the failure points, describes the selected instrumentation, based on process knowledge and a programmable automaton like brain for all the process.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los procesos industriales requieren profesionales preparados, capaces de proponer soluciones eficientes en pro de la optimización de los procesos a su cargo. Los fundamentos teóricos adquiridos en la etapa académica, constituyen una herramienta vital para el desarrollo de la industria.

El área de automatización industrial es una de las más influyentes en las empresas de producción, su adecuada implementación permite mejorar la eficiencia de los procesos, lo que conlleva a incrementar la rentabilidad, mejorar la calidad de los productos fabricados, reducir los tiempos de proceso, y optimizar el uso de los recursos materiales y de mano de obra.

La automatización industrial, requiere un conocimiento amplio del proceso, y la aplicación de técnicas de ingeniería basadas en programas y diseños modulares eficientes para aplicar mejoras graduales en cada una de las etapas.

Este proyecto concibe la mejora del proceso de extrusión de tubería, determinando las etapas que lo componen e identificando los puntos críticos que ocasionan fallas y demoras. El estudio permitió determinar que la etapa de refrigeración del proceso de extrusión, genera repetidas fallas de difícil direccionamiento, lo que implica que se realice un mantenimiento general de los equipos que la componen, y representa pérdidas considerables de tiempo y rentabilidad en toda la línea de extrusión.

Por tal motivo, la solución propuesta consiste en el desarrollo de una aplicación automatizada para la etapa de refrigeración del proceso de extrusión de tubería, a través de la determinación del método y equipos óptimos para controlar las variables relacionadas.

La factibilidad de implementación de esta propuesta será evaluada por la empresa de extrusión que ha sido objeto de estudio.

2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente las industrias orientan el manejo de sus procesos, basados en políticas de alta eficiencia y bajo consumo energético, para evitar impactos ambientales y permitir el uso efectivo de los recursos humanos y materiales de los cuales dispone. Extrucol S.A. permite la realización de este proyecto, en búsqueda de ofrecer a sus empleados una herramienta de trabajo adecuada, que posibilite el desarrollo eficaz de la función asignada. Este proyecto plantea automatizar el sistema de refrigeración para el proceso de extrusión de tubo a base de polietileno, ya que el sistema que se encuentra actualmente implementado es poco amigable al usuario, y está basado en lógica de contactos, diseño complejo que dificulta la detección de fallos al igual que su puesta en marcha y mantenimiento.

Adicionalmente, el sistema actual no considera todas las variables que componen e intervienen en el proceso, lo que impide su correcto control y supervisión. Se requiere implementar equipos de instrumentación electrónica que permitan controlar las variables relacionadas en el proceso, y detectar efectivamente los puntos de falla en la etapa de refrigeración.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la continua búsqueda de incrementar la eficiencia y rentabilidad de los procesos industriales, las empresas contemplan la implementación de técnicas de automatización basadas en programas y diseños modulares.

Con este objetivo se realizó un estudio en la Empresa Colombiana de Extrusión Extrucol S.A., se evaluaron las etapas que componen la línea de extrusión, y se determinó que es indispensable automatizar el sistema de refrigeración, considerando que genera repetidas fallas de difícil direccionamiento, lo que implica que se realice un mantenimiento general de los equipos que la componen, y representa pérdidas significativas de tiempo y rentabilidad en toda la línea de extrusión.

La etapa de refrigeración actualmente posee un sistema de control fundamentado en lógica de contactos, el cual incluye la puesta en marcha independiente de los diferentes actuadores que intervienen en el sistema de refrigeración, y cuenta con los sistemas de protección eléctrica adecuada para la tecnología implementada.

La interfaz hombre - máquina instalada actualmente es considerada tecnológicamente obsoleta y complicada, lo que ocasiona fatiga y cansancio en el operario en espacios cortos de tiempo que se ven reflejados en la puesta en marcha del sistema, adicionalmente, carece de una interfaz que identifique y localice automáticamente el punto de falla.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Automatizar el sistema de refrigeración para el proceso de extrusión de tubería de polietileno, diseñando el software y seleccionando los equipos requeridos para realizar señalización e identificación de los puntos de falla del proceso.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y estudiar el sistema de refrigeración para el proceso de extrusión de tubo a base de polietileno.
- Estudiar el comportamiento de cada uno de los elementos, componentes y variables de tipo mecánico y eléctrico del sistema de refrigeración.
- Seleccionar la instrumentación y el sistema de control necesarios para realizar la automatización del sistema de refrigeración
- Programar el dispositivo lógico para que ejecute la rutina de control adecuada para el funcionamiento del sistema.
- Programar una interfaz grafica amigable por medio de una pantalla magelis con el fin de sectorizar las fallas y permitir al usuario una mejor interpretación del proceso.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

5.1.1 Descripción del Proceso

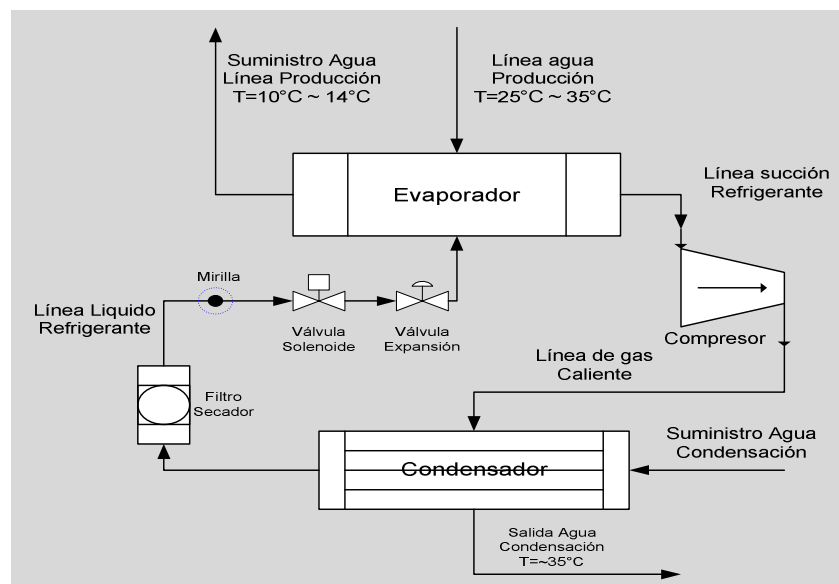
A continuación se describen los elementos que componen el sistema de refrigeración:

Chiller:

Es un sistema de enfriamiento que suministra agua fría para la reducción de la temperatura en los procesos industriales. Su principio de funcionamiento consiste en extraer el calor generado en un proceso empleando agua a una temperatura menor respecto a la que opera el proceso. Los elementos que componen la línea de extrusión ceden calor disminuyendo su temperatura al estar en contacto con el agua fría enviada desde el chiller.

Este sistema de refrigeración está compuesto por dos compresores, un condensador, un evaporador, un tablero eléctrico de fuerza y control, tuberías y accesorios de refrigeración. A continuación se describen brevemente estos elementos: (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Figura 1. Diagrama Chiller refrigerado por Agua



Fuente: El Autor

- **Compresores:**

El chiller CWW-080-S2 está equipado con dos compresores semi-herméticos, de 40 H.P cada uno, marca Copeland. Cada compresor está equipado con todos los elementos necesarios para una operación eficiente y libre de problemas.

Figura 2. Compresor Semi-hermético Copeland



Fuente: El Autor

- **Condensador:**

En el modelo de chiller CWW, el condensador es de tipo carcasa de tubos, con los tubos fabricados en cobre y la carcasa en acero al carbón; estos condensadores son fabricados bajo normas NEMA.

Figura 3. Condensador



Fuente: El Autor

- **Evaporador:**

Al igual que el condensador, este dispositivo es del tipo carcasa y tubos; con los tubos fabricados en cobre y la carcasa en acero al carbón. Los tubos son atornillados a las placas tubulares con el fin de permitir su recambio en caso de presentarse fugas en alguno de ellos.

Figura 4. Evaporador



Fuente: El Autor

- **Tablero eléctrico de fuerza y control:**

El tablero de control está contenido en un gabinete apropiado para uso en intemperie; la conexión de alambrado es realizada originalmente en fábrica. El tablero completo es debidamente probado en fábrica para asegurar que todos los elementos y el cableado operen correctamente.

Figura 5. Tablero de fuerza y control



Fuente: El Autor

- **Tuberías y accesorios de refrigeración:**

Todas las tuberías de refrigerante son de cobre. Los accesorios de refrigeración cumplen las funciones descritas a continuación:

- Mirilla de refrigerante: Permite visualizar el flujo de refrigerante, así como su nivel de humedad, para tomar acciones rápidas en caso de fugas.
- Filtro secador: Mantiene el refrigerante en condiciones óptimas de limpieza y humedad.
- Válvula solenoide: Cierra el paso de gas hacia el evaporador cuando se apaga el equipo, protege el compresor contra ingreso de refrigerante líquido en el momento de reiniciar el arranque.
- Válvula de expansión: Regula el flujo de refrigerante que entra al evaporador, cuando el compresor se encuentra en funcionamiento.

- **Motobombas:**

El movimiento de líquidos usualmente se realiza mediante bombas, las cuales generan un aumento en la presión del fluido en movimiento (agua).

Especificaciones eléctricas Motobomba de Condensación:

Potencia: 15 H.P.

Voltaje de Alimentación: 440 V Trifásica.

Corriente nominal: 20.5 A

Corriente Máxima: 23.2 A

Figura 6. Motobomba de Condensación



Fuente: El Autor

Especificaciones eléctricas Motobombas de Circulación:

Motobomba N°1

Potencia: 20 H.P.

Voltaje de Alimentación: 440 V Trifásica.

Corriente nominal: 22.2 A

Corriente Máxima: 25.2 A

Motobomba N°2

Potencia: 18 H.P.

Voltaje de Alimentación: 440 V Trifásica.

Corriente nominal: 18.6 A

Corriente Máxima: 20.6 A

Figura 7. Motobomba de Circulación



Fuente: El Autor

- **Torre de enfriamiento:**

Es una instalación que extrae calor del agua mediante evaporación o conducción.

El agua es bombeada a través de la instalación en la torre de enfriamiento. Una vez el agua se enfría, retorna al proceso de condensación, ya que el agua que se enfría es la que cambia de temperatura con el refrigerante. Previo al enfriamiento, el agua tiene temperaturas entre 40 y 60°C, el agua se bombea a la parte superior de la torre de enfriamiento y de allí fluye al proceso a través de tubos de plástico, generando la formación de gotas. En este trayecto el agua emite calor que se mezcla con el aire de la torre, provocando un enfriamiento de 10 a 20°C.

Parte del agua se evapora, causando la emisión de calor adicional, por lo cual se puede observar vapor de agua sobre las torres de enfriamiento.

Para crear el flujo hacia arriba, la torre de enfriamiento contiene aspas en la parte superior, similares a un ventilador. Estas aspas generan un flujo de aire ascendente al interior de la torre de enfriamiento; el agua cae en un recipiente y se reenvía desde allí hasta el proceso de condensación.

Especificaciones eléctricas:

Potencia: 4.13 H.P.

Voltaje de Alimentación: 440 V Trifásica.

Corriente nominal: 4.2 A

Corriente Máxima: 7.2 A

Figura 8. Torre de Enfriamiento



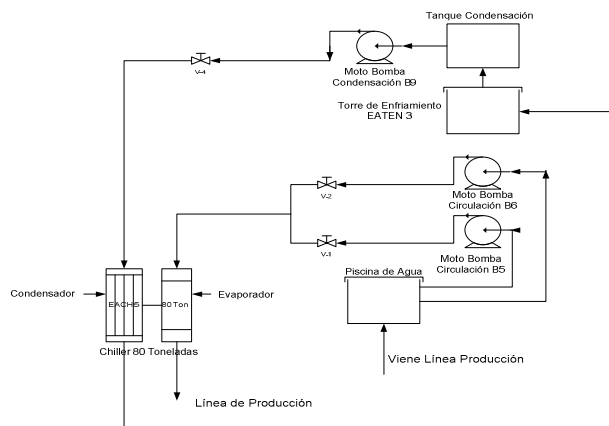
Fuente: El Autor

5.1.2 Conceptualización del sistema

En el proceso de refrigeración de tubo extruido a base de polietileno se tienen dos ciclos complementarios, que cumplen una función independiente en el proceso:

- Ciclo de Condensación de Agua
- Ciclo de Circulación de Agua

Figura 9. Diagrama Proceso de Refrigeración

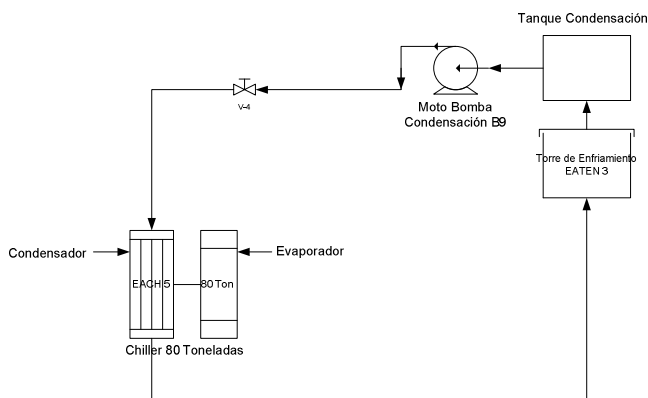


Fuente: El Autor

- Ciclo de Condensación de Agua:** Este ciclo comprende el bombeo de agua desde la motobomba de condensación hacia el Chiller; el fluido se dirige hacia el condensador, y se realiza una transferencia de calor entre la línea de gas caliente del refrigerante que proviene de los compresores y el agua de condensación, permitiendo retornar el refrigerante (del tipo R12 en este caso) a su estado líquido

El refrigerante regresa al evaporador para volver a iniciar el ciclo, mientras que el agua de condensación, una vez realiza la respectiva transferencia de calor, retorna a la torre de enfriamiento con una temperatura aproximada de 35°C; el paso por la torre de enfriamiento permite disminuir la temperatura del agua a 29°C. En este ciclo intervienen la torre de enfriamiento, una motobomba y el chiller de 80 toneladas, descritos anteriormente.

Figura 10. Ciclo de Condensación de Agua

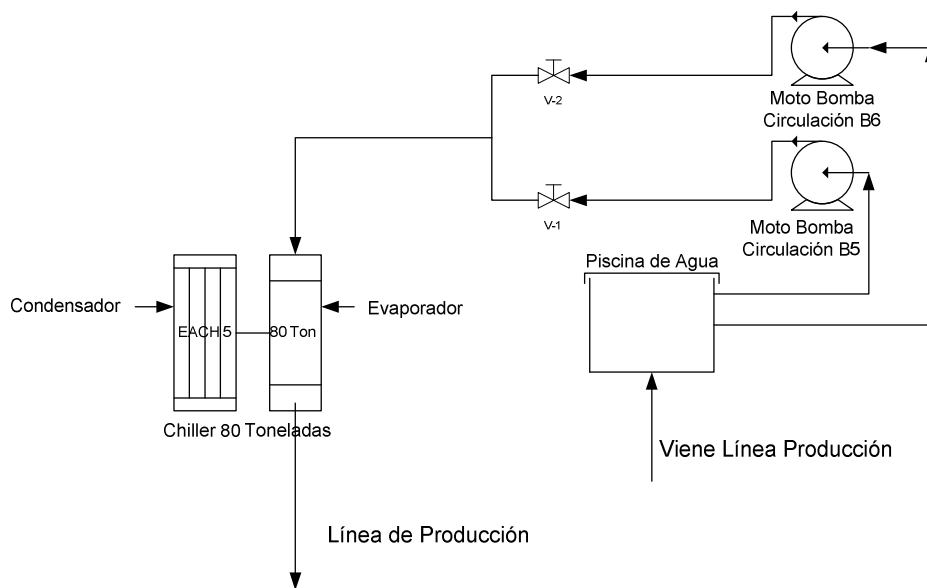


Fuente: El Autor

- Ciclo de Circulación de Agua** El ciclo corresponde a la succión de agua y bombeo de la misma, desde la salida de la línea de producción hasta el evaporador del chiller, donde se realiza el intercambio de calor entre el refrigerante y el agua proveniente de las motobombas. Este proceso produce el agua fría que se dirige a la línea de producción, con una temperatura promedio de $12 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, y convierte el refrigerante en gas, para ser succionado por los compresores y enviado en forma de gas caliente hacia el condensador, donde ocurre el ciclo de condensación de agua (ver [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#)).

En este proceso intervienen la línea de producción, dos motobombas (una en constante funcionamiento y otra en espera) y el chiller de 80 toneladas.

Figura 11. Diagrama Ciclo de Circulación de Agua



Fuente: El Autor

5.1.3 Especificaciones Iniciales

Las especificaciones iniciales contempladas en este apartado son descritas antes de iniciar el proceso del estudio para la automatización del proceso, y se describen a continuación. Estas especificaciones corresponden a la operatividad del sistema, lo que conlleva a la lógica de contactos y a las interfaces hombre máquina (HMI)

para la visualización e identificación concreta y detallada de las fallas o averías presentadas en el proceso.

- **Lógica de Contactos:** Años atrás, cuando los autómatas programables no eran muy comerciales y no se contaba con personal calificado para realizar el desarrollo de aplicaciones con este tipo de automatismos, los sistemas de control se implementaban con base en la lógica de contactos, haciendo uso de un lenguaje simple y definido.

Existen algunas técnicas para normalizar los esquemas, los más comunes son los de tipo americano, y tipo europeo. La diferencia radical consiste en la ubicación del esquema en la hoja; en el primer caso las ramas del esquema se dibujan en posición horizontal, y en el segundo en posición vertical.

En estos tipos de normalización se dispone de una librería de símbolos que identifican los diferentes elementos que pueden conformar las instrucciones en las ramas del sistema. Por lo general todos los dispositivos que conforman las herramientas de control, son variaciones derivadas de los contactores de diferentes extensiones. El control consta de dos partes, una referente al mando o control propiamente dicho, y la otra, correspondiente al control de potencia.

En Extrucol S.A. actualmente se encuentra implementado un sistema de lógica de contactos, para controlar el circuito de 80 toneladas de refrigeración de Agua que alimenta la línea de producción de tubo a base de polietileno. Este sistema presente fallas frecuentes y genera pérdidas representadas en paradas inesperadas del proceso.

Figura 12. Sistema de Control implementado con lógica cableada



Fuente: El Autor

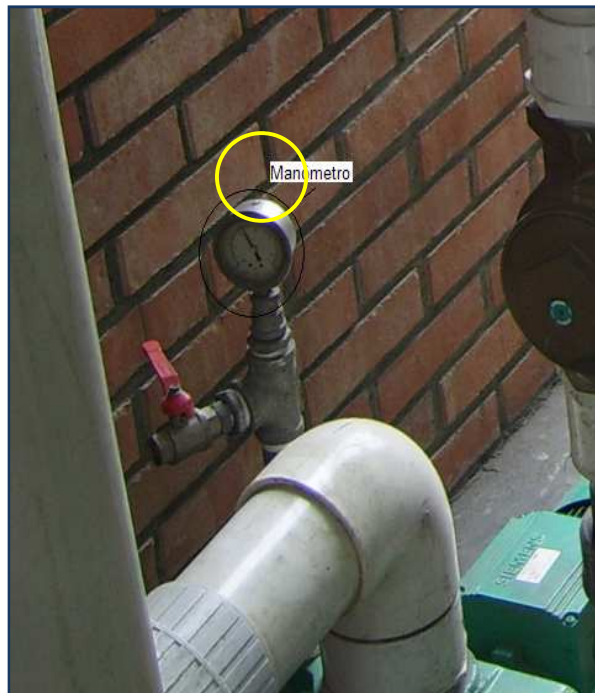
La figura 12 permite visualizar el sistema en funcionamiento, el accionamiento se realiza mediante pulsadores dobles para cada uno de los equipos, no se tienen en

cuenta las variables a controlar, la supervisión y control del sistema se realiza por parte del operador de mantenimiento, lo cual no permite garantizar un rendimiento óptimo del sistema, y una detección acertada y eficaz de fallas.

- **Interface Hombre Máquina (HMI):** La interfaz de usuario es la herramienta que permite conocer el estado de la máquina, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Este tipo de interfaz debe ser amigable, otorgar recursos que permitan entender y operar eficientemente el sistema.

El sistema implementado actualmente en la etapa de refrigeración de Extracol S.A., carece de esta interfaz; el proceso de refrigeración de agua cuenta con manómetros de aguja en cada una de las líneas de los ciclos de condensación de agua y de circulación de agua, lo que permite identificar la presión correspondiente a estos ciclos; adicionalmente se dispone de un termopar en el punto de salida de agua hacia la línea de producción, que permite medir y transmitir a un dispositivo de visualización, la temperatura de salida del proceso, como se muestra en las figuras adjuntas a continuación.

Figura 13. Manómetro en ciclo de condensación



Fuente: El Autor

Figura 14. Manómetros en ciclo de condensación



Fuente: El Autor

Figura 15. Termopar ubicado a la salida del proceso



Fuente: El Autor

Figura 16. Dispositivo de visualización temperatura



Fuente: El Autor

Producto de este análisis, se detectó que se cuenta con un conjunto de señales que actualmente no se están supervisando de manera electrónica, (presión y flujo de agua); y se determinó construir una interfaz hombre máquina que facilite el trabajo operativo, y permita identificar datos y estado de cada una de las señales obtenidas en el proceso.

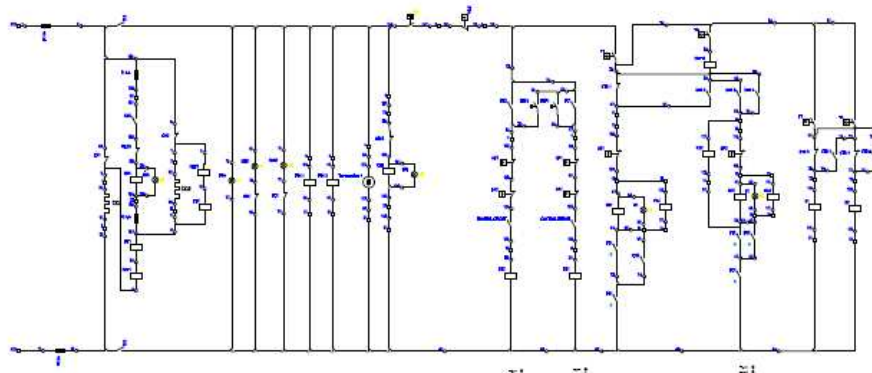
- **Control del Chiller CWW 80:** La intervención automática del equipo se realiza mediante un control de temperatura o termostato multi-etapas, que ajusta la capacidad del equipo a la carga manejada de acuerdo con la temperatura de retorno de agua del enfriador. En cada etapa el termostato apaga un compresor o saca de operación un juego de cilindros del compresor, con el fin de ajustar la capacidad del equipo a la carga real instantánea.

Figura 17. Circuito implementado Control Chiller



Fuente: El Autor

Figura 18. Esquema Eléctrico de Control



Fuente: El Autor (ver Anexo H)

A continuación se realiza una descripción de los controles y seguridades que permiten la operación continua y confiable del chiller, protegiendo y prolongando la vida útil del equipo:

- Control de baja temperatura de Agua: Este control conectado a la salida de agua fría del evaporador, protege el chiller contra la posibilidad de congelamiento.
- Conmutador de presión de aceite: Cada compresor está protegido contra caídas de presión de aceite de lubricación por medio de este control, que interrumpe inmediatamente la operación del compresor al detectar una presión de aceite inferior a la esperada.
- Conmutadores de presión de alta y baja: Cada circuito de refrigeración tiene instalados estas protecciones para interrumpir el ciclo, si la presión de refrigerante se encuentra por fuera del rango normal de operación, protegiendo el o los compresores de situaciones anormales.
- Temporizador: El temporizador evita que el compresor efectúe ciclos de corto tiempo que puedan reducir la vida útil del motor eléctrico. Está graduado para impedir un arranque cada cinco minutos, pero puede calibrarse entre 1 y 5 minutos.
- Calentador del carter de aceite: Evita la disolución de aceite durante las paradas del compresor.

5.2 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES A SUPERVISAR Y CONTROLAR

A continuación se conceptualizan las variables descritas previamente, y que constituyen objeto de medida en el desarrollo del proyecto.

- **Presión:** Corresponde a la fuerza por unidad de área o superficie; en la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directo con otra fuerza conocida, puede ser la de un resorte, un embolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión.

El control de la presión en los procesos industriales otorga condiciones de operación seguras. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad, la cual varía de acuerdo al material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no

también puede generar la destrucción del equipo adyacente, sometiendo al personal a situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitos fluidos inflamables o corrosivos. Para tales aplicaciones, las lecturas absolutas de gran precisión con frecuencia son tan importantes como la seguridad extrema.

La presión se puede clasificar en tres tipos:

Presión Absoluta: Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.

Presión Atmosférica: El hecho de estar dentro de una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una presión (atmosférica), la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg^2 (1,01353Bar), disminuyendo estos valores con la altitud.

Presión Manométrica: Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante.

La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

En este caso, debemos obtener la medida de la presión manométrica, que arroja un valor adecuado de la presión a la que se encuentra el flujo de agua del proceso en la tubería de 4".

Temperatura: La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios; es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema adecuado.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre ellos figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos.
- Variación de resistencia de un conductor.
- Variación de resistencia de un semiconductor.
- La fuerza electro motriz (F.E.M.) creada en la unión de dos metales distintos.
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo.

De este modo se tiene instalado un termopar en la salida de agua del proceso, que está conectado al control por temperatura que posee el chiller (ver plano eléctrico de control del chiller).

- **Flujo:** La medición de flujo es uno de los aspectos más importantes en el control de procesos; y suele ser la variable más comúnmente medida. Existen muchos métodos confiables y precisos para medir flujo. Algunos son aplicables solamente a líquidos, otros solamente a gases y vapores; y otros a los dos estados. El fluido puede ser limpio o “sucio”, seco o húmedo, erosivo o corrosivo; las condiciones del proceso tales como presión, temperatura, densidad, viscosidad, etc., pueden variar. Todos estos factores afectan la medición y deben ser considerados al momento de seleccionar un medidor de flujo. Es necesario por lo tanto, conocer el principio de operación y características de funcionamiento de los diferentes medidores de flujo disponibles, para garantizar la selección adecuada del medidor, en una aplicación determinada.

En la etapa de refrigeración de Extrucol S.A. se tiene instalado actualmente un conmutador de flujo del tipo de paleta para detectar la presencia o ausencia de fluido (agua), en la línea de agua de circulación.

Figura 19. Conmutador de flujo – línea de circulación



Fuente: El Autor

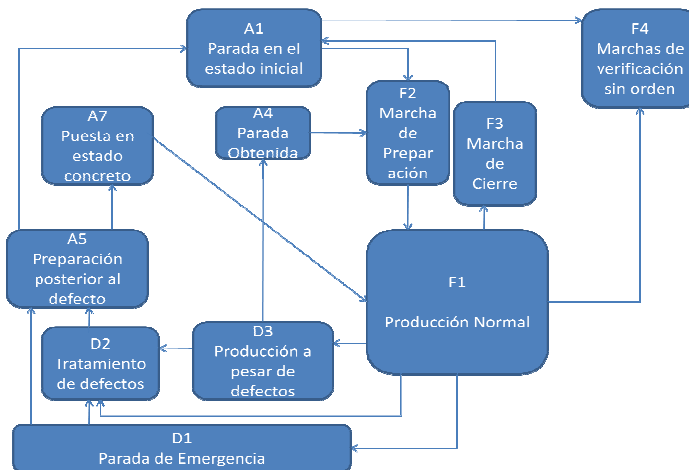
5.3 DIAGRAMA GEMMA

El diagrama GEMMA es un método que permite identificar las posibles fallas que se pueden presentar en la ejecución normal del proceso, y define los pasos para el accionamiento manual, lo que genera la visión principal para la programación del autómatas.

El sistema implementado actualmente en Extrucol S.A. no cuenta con ningún tipo de automatismo, el control y/o supervisión son en lazo abierto, y carece de una estructura de prevención para la detección y corrección de fallos en el sistema. En tales circunstancias, el único dispositivo que posee un sistema de control es el chiller, el cual permite supervisar su funcionamiento y ejecutar corrección de fallas causadas u obtenidas en el transcurso del proceso (Ver Automatización de procesos Autor Emilio García).

A continuación se presenta el diagrama GEMMA que será implementado en la automatización del sistema, incluyendo la descripción de cada una de las etapas y sus respectivos modos de operación (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.):

Figura 20. Diagrama GEMMA



Fuente: El Autor

5.3.1 Grupo F. Procedimientos de Funcionamiento

- F1 - Producción normal. Estado en que la máquina opera normalmente. Es el estado más importante, en el cual se deben realizar las tareas por las cuales la máquina ha sido construida.
- F2 - Marcha de preparación. Son las acciones necesarias para que la máquina comience a operar, y se describen a continuación:
 1. Energizar la Motobomba del circuito de Condensación.
 2. Energizar la Torre de enfriamiento del circuito de Condensación.
 3. Energizar la Motobomba del circuito de Circulación.
 4. Energizar el Chiller.
- F3 - Marcha de cierre. Corresponde a la fase de vaciado en proceso, debe llevarse a cabo antes de la parada o del cambio de algunas de las características del producto.
 1. Desenergizar el Chiller y esperar tres minutos, por requerimientos técnicos del dispositivo.
 2. Desenergizar la Motobomba del circuito de Circulación.
 3. Desenergizar la Torre de enfriamiento del circuito de Condensación.
 4. Desenergizar la Motobomba del circuito de Condensación.
- F4 - Marchas de verificación sin orden. En este caso el proceso, por orden del operario, puede realizar cualquier movimiento o programar algunos movimientos preestablecidos. Es el denominado control manual y se utiliza para funciones de mantenimiento y verificación.

Estos movimientos o maniobras consisten en energizar y desenergizar cada uno de los dispositivos para verificar su correcto funcionamiento.

5.3.2 Grupo A. Procedimiento de Paradas y Puestas en Marcha

- A1 - Paradas en el estado inicial. Corresponde con el estado de reposo de la máquina. La máquina normalmente se representa en este estado en los planos de construcción y en los esquemas eléctricos.
- A4 - Parada obtenida. Es un estado de reposo de la máquina distinto al estado inicial.
- A5 - Preparación para la puesta en marcha después de un defecto. En este estado se procede a realizar todas las operaciones de verificación de cada uno de los instrumentos referentes a la línea que está fallando, los

respectivos modos de maniobra necesarios para la puesta de nuevo en funcionamiento de la máquina después de un defecto.

- A7 - Puesta del sistema en un estado determinado. Se retorna el sistema a una posición distinta de la inicial para su puesta en marcha mediante un mando de control diferente al inicio del programa.

5.3.3 Grupo D. Procedimientos de Defecto

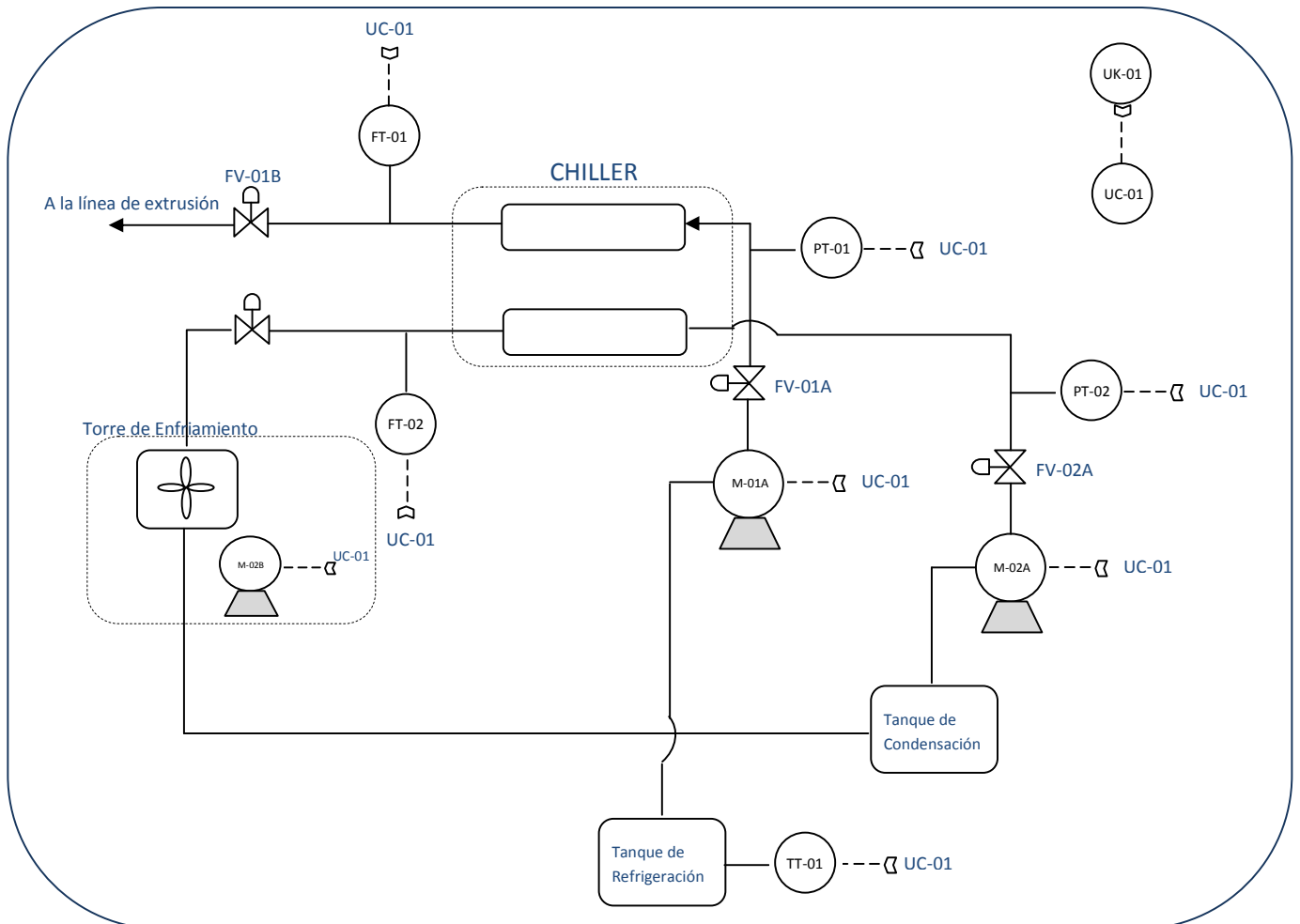
- D1 - Parada de emergencia. Es el estado que se consigue después de una parada de emergencia, deben considerarse tanto las paradas como los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar las consecuencias debidas a defectos, teniendo en cuenta el estado en el cual se encuentra el programa y su respectiva maniobra.
- D2 - Diagnóstico y/o tratamiento de fallos. En este estado la máquina puede ser evaluada después de un defecto, y con o sin ayuda del operador, indicar los motivos del fallo para su reinicio.
- D3 - Producción a pesar de los defectos. Corresponde a aquellos casos en que se debe continuar produciendo a pesar de los defectos. Se incluye en estas condiciones casos en que se pueda sustituir transitoriamente el trabajo del proceso por la reparación de la avería, sin necesidad de parar el proceso.

5.4 DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN

Los diagramas de instrumentación del proceso y tuberías, constituyen una fuente de información importante, incluye todas las variables del proceso, y la información de cada uno de los instrumentos. Cuando se necesita información más específica y detallada, es necesario utilizar otros tipos de diagramas.

El contenido del diagrama está compuesto por la representación de la información del lazo de instrumentación. Contiene toda la información de las conexiones eléctricas y de tuberías asociadas, e incluye información de importante para identificar puntos clave del sistema, tales como características especiales, funciones de apagado de seguridad y circuitos de seguridad, suministros de energía, fuentes de energía, suministro de aire, suministro de fluido hidráulico, tensión, presión o cualquier parámetro aplicable.

Figura 21. Diagrama de Instrumentación P&ID



Fuente: El Autor (Ver tabla de siglas)

Esta figura permite identificar los instrumentos actualmente instalados en el proceso de refrigeración de agua en Extrucol S.A.; los instrumentos mostrados en el diagrama son del tipo indicador, y especifican los valores tomados de las variables medidas en el proceso, presión, temperatura y detección de presencia de flujo. La presión se censa con manómetros del tipo aguja y la temperatura se mide con un termopar, el cual envía la señal medida a un dispositivo de visualización.

6 INSTRUMENTACIÓN

Los procesos industriales son muy diversos abarcan un gran número de productos, y requieren del control y supervisión del proceso, para garantizar la calidad de los productos obtenidos.

En todos los procesos es necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, la temperatura, el pH, la humedad, entre otros. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones previamente establecidas y fijas, obteniendo resultados más precisos respecto a las que puede obtener el operador.

Inicialmente el operario era el encargado de llevar a cabo un control manual de las variables, utilizando instrumentos simples como manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad o necesidad de la empresa con respecto al proceso en cuestión.

Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física y directa en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión del proceso desde puntos de control estratégicos; Así mismo, gracias a los instrumentos ha sido posible fabricar productos con condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serán imposibles de lograr si se sigue realizando un control manual del proceso.

6.0 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

Para la implementación de instrumentos en los procesos industriales se deben tener en cuenta diferentes características asociadas a los mismos, tales como el campo de medida, la precisión, el rango, el error, entre otras.

A continuación se presentan las características necesarias para la selección de cada instrumento que va a ser implementado en el proceso de refrigeración, objeto de automatización:

- Campo de medida
- Alcance
- Error
- Exactitud
- Precisión

- Zona Muerta
- Sensibilidad
- Repetitividad
- Histéresis

Estas características generales pueden ser aplicables para la selección de toda clase de instrumentos; con base en estos principios, a continuación se describen los instrumentos seleccionados, para ser implementados en la automatización del sistema de refrigeración para la extrusión de tubo a base de polietileno.

6.0.1 Selección Instrumento Transmisor de Presión

Para la selección del instrumento transmisor de presión se analizaron las siguientes características físicas y eléctricas:

- Tipo de señal de salida: 4 a 20mA.
- Grado de protección: IP55 mínimo.
- Rango de Medida: 0 a 10 Bar.
- Tipo de alimentación: 0 a 24Vdc.
- Tipo de entorno: Entorno Industrial
- Aplicación: Medición presión manométrica en motobombas.
- Tipo de fluido: Agua.
- Temperatura del fluido: +10°C a 40°C.

Se realizó una rigurosa investigación respecto a las características anteriormente descritas y se contactaron los diferentes representantes a nivel local y nacional de las principales marcas de equipos electrónicos para este tipo de aplicaciones.

El resultado del proceso de selección, conllevó el análisis de los siguientes dispositivos:

- Transmisor de Presión Marca: Siemens Modelo: Sitrans PZ. (Ver Anexo A).
- Transmisor de Presión Marca: Telemecanique Modelo: Nautilus XML E. (Ver Anexo B).
- Transmisor de Presión Marca: Danfoss Modelo: MBS. (Ver Anexo C).
- Transmisor de Presión Marca: Kobold Modelo: SEN. (Ver Anexo D).

Una vez se estudiaron los principios de funcionamiento, características y costo de estos equipos, se seleccionó el Sensor de la marca Danfoss de la serie MBS 3000, el cual posee las características requeridas para el proceso, y su valor en el mercado es inferior con respecto a las demás opciones descritas anteriormente.

Las características técnicas y eléctricas de este equipo, son presentadas a continuación:

Figura 22. Transmisor Danfoss MBS3000



Fuente: Cortesía Danfoss.

El transmisor de presión compacto MBS 3000 está diseñado para uso en aplicaciones industriales, ofreciendo una medida fiable de la presión. El transmisor de presión cubre diferentes señales de salida, presión relativa y absoluta, rangos de medida de 0 a 1 bar hasta 0 a 600 bares, una amplia gama de conexiones eléctricas y al proceso. Estabilidad frente a vibraciones, alto grado de protección EMC/EMI, lo que hace que este transmisor de presión cumpla con los más rigurosos requerimientos industriales.

El transmisor de presión MBS 3000 posee las siguientes características tanto eléctricas como mecánicas:

- Para entornos industriales con grandes cargas de trabajo.
- Cubierta de acero inoxidable y resistente a los ácidos (AISI 316L).
- Rangos de presión relativa y absoluta.
- Todas las señales de salida estándar (4 a 20mA, 0 a 5V, 0 a 10V).
- Amplio rango de presión y conexión eléctrica.
- Compensación de temperatura y calibrado por laser.

Las aplicaciones típicas en las cuales podemos encontrar este tipo de instrumento de medición están referidas al tratamiento de agua, aplicaciones neumáticas, en motobombas y compresores siendo así un elemento bastante idóneo para la aplicación en la automatización del sistema de refrigeración.

Tabla 1. Características Técnicas Transmisor Danfoss MBS 3000

Prestaciones según EN60770	
Precisión (Incluida histéresis y repetividad)	0,5% FS (Típica) 1% FS (Máxima)
Sin linealidad (Se adapta mejor a la línea recta)	< ó igual al 0,5% FS
Histéresis y repetividad	< ó igual al 0,1% FS
Desviación punto cero térmico	< o igual al 0,1% FS/10K (Típica) < o igual al 0,2% FS/10K (Máxima)
Desviación de sensibilidad térmico (span)	< o igual al 0,1% FS/10K (Típica) < o igual al 0,2% FS/10K (Máxima)
Tiempo de respuesta	< 4ms
Presión de sobrecarga	6 x FS (Máximo 1500 bar)
Presión de rotura	> 6 x FS (Máximo 2000 bar)
Durabilidad, P: 10 a 90% FS	>10x10 ⁶ ciclos

Fuente: Hoja de datos Danfoss MBS 3000

Tabla 2. Características Eléctricas Transmisor Danfoss MBS 3000

	Señal de salida nominal (protección contra cortocircuito)		
	4 – 20 mA	0 - 5, 1 - 5, 1 - 6 V	0 - 10 V , 1 - 10 V
Tensión de alimentación [UB], polaridad protegida.	12,5 a 28V	9 a 30 V	15 a 30V
Consumo de corriente – alimentación	-	≤ 5 mA	≤ 8 mA
Dependencia de la tensión de alimentación	≤ ±0.05% FS/10 V		
Limitación de corriente	28 mA (típica)	-	
Impedancia de salida	-	≤ 25Ω	
Carga [RL] (carga conectada a 0V)	RL ≤ (UB-9V)/0.02Ω	RL ≥ 10 kΩ	RL ≥ 15 kΩ

Fuente: Hoja de datos Danfoss MBS 3000

Tabla 3. Condiciones de Trabajo Transmisor Danfoss MBS 3000

Rango de temperatura del fluido	-40 a +85°C
Rango de temperatura	0 a 80°C

compensada			
Rango de temperatura de transporte	-50 a +85°C		
EMC – Emisión	EN 61000-6-3		
EMC Inmunidad	EN 61000-6-2		
Resistencia del aislamiento	> 100 Mohm a 100 V		
Prueba de frecuencia de la red	SEN 361503		
Estabilidad de vibración	Sinusoidal	15.9 mm-pp, 5 Hz-25 Hz	IEC 60068-2-6
		20 g, 25 Hz - 2 kHz	
	Intermitente	7.5 grms, 5 Hz - 1 kHz	IEC 60068-2-34, IEC 60068-2-36
Resistencia al impacto	impacto	500 g / 1 ms	IEC 60068 - 2 - 27
	Caída libre		IEC 60068 - 2 - 32

Fuente: Hoja de datos Danfoss MBS 3000

6.0.2 Selección Instrumento Transmisor de Temperatura

Para la selección del instrumento transmisor de temperatura se analizaron las siguientes características físicas y eléctricas:

- Tipo de señal de salida: 4 a 20mA.
- Grado de protección: IP55 mínimo.
- Rango de Medida: -10 a +40 °C.
- Tipo de alimentación: 0 a 24Vdc.
- Tipo de entorno: Entorno Industrial
- Aplicación: Medición de temperatura en ambientes húmedos.
- Tipo de fluido: Agua.
- Temperatura del fluido: +10°C a 40°C.

Se realizó una rigurosa investigación respecto a las características anteriormente descritas y se contactaron los diferentes representantes a nivel local y nacional de las principales marcas de equipos electrónicos para este tipo de aplicaciones.

El resultado del proceso de selección, conllevó el análisis de los siguientes dispositivos:

- Transmisor de Temperatura Marca: Siemens Modelo: Sitrans TF2. (Ver Anexo E).
- Transmisor de Temperatura Marca: Danfoss Modelo: MBT. (Ver Anexo F).
- Transmisor de Temperatura Marca: Kobold Modelo: TMA. (Ver Anexo G).

Una vez se estudiaron los principios de funcionamiento, características y costo de estos equipos, se seleccionó el sensor marca Danfoss de la serie MBT 9110, el cual posee las características idóneas para ser implementado, y su valor en el mercado es inferior con respecto a las opciones descritas anteriormente.

Las características técnicas y eléctricas de este equipo, son presentadas a continuación:

Figura 23. Transmisor Danfoss MBT 9110



Fuente: Cortesía Danfoss.

El transmisor MBT 9110 está diseñado para uso en aplicaciones industriales, ofreciendo una medida confiable de la temperatura. El transmisor de temperatura cubre diferentes señales de salida, rangos de medida y una amplia gama de conexiones eléctricas. Construcción robusta y grado de protección EMC/EMI, lo que hace que este transmisor de temperatura cumpla con los más rigurosos requerimientos industriales.

El transmisor de temperatura MBT 9110 posee las siguientes características eléctricas y mecánicas:

- Transmisor universal a dos cables para aplicaciones marítimas o industriales.
- Se le puede conectar una Pt100, Pt1000 o una termocupla a la entrada.
- Estándar de salida de 4 a 20mA con o sin unión galvánica.

- Avalado y aprobado por la EEx la IIC T4/T6.
- Montaje en DIN B para la conexión de la cabeza o en encerramiento separado.
- Etiquetado con CE: EMC protegido de acuerdo con EU EMC.
- Detección e indicación de falla del sensor.
- Temperatura linealizada.
- Aprobado por: Lloyds Register of shipping, Germanischer Lloyd, Bureau Veritas, Det Norske Veritas, Nippon Kaiji Kyokai.

Las aplicaciones típicas en las cuales podemos encontrar este tipo de instrumento de medición están referidas al tratamiento de agua, aplicaciones marítimas, lo que reafirma la selección del dispositivo, como idóneo para la aplicación en automatización del sistema de refrigeración.

Tabla 4. Datos Técnicos Transmisor Danfoss MBT 9110

Precisión primaria	Pt100 $<\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ Tipo E,J,K,L,N,T,U $<\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ Tipo B,R,S $<\pm 2.0^{\circ}\text{C}$
Error lineal	$<0.1\%$ FS
Coeficiente de Temperatura	$<\pm 0.01\%$ FS/ $^{\circ}\text{Kamb}$
Tiempo de respuesta	Programable 1 - 60 sec. 1 sec. Por defecto
Compensación de punto de soldadura en frío	$<\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
Tiempo de puesta en marcha	5 minutos.
Tiempo de actualización	440ms.
Efecto de la resistencia del cable	$<0.002\text{W/W}$

Fuente: Hoja de datos Danfoss MBT9110

Tabla 5. Especificaciones Eléctricas Transmisor Danfoss MBT 9110

Voltaje de alimentación	8 – 35 V d.c.	
Efecto de la variación de tensión de alimentación	$<0.005\%$ FS/V d.c.	
Salida	4 – 20 mA	
Indicación falla sensor	Namur NE 43 Fuera de escala a partir de 23mA	
Entrada	Estándar	Pt100 (EN 60751) 2, 3 rango – 200 a 800°C Pt1000 (EN 60751) 2, 3
	Aislamiento galvánico	Pt100 (EN 60751) 2, 3, 4 rango – 200 a 800°C

	Pt1000 (EN 60751) 2, 3 Termocoupla (EN 60584)
Relación señal / ruido	Mínimo 60dB.
Resistencia máxima del cable	50hm/core

Fuente: Hoja de datos Danfoss MBT9110

Tabla 6. Condiciones ambientales de trabajo

Tensión de aislamiento	1500V AC
Datos EMC	Emisión: EN 50081 Inmunidad: EN 50082
Vibración/Golpe	IEC 68-2/IEC 68-2-84
Vibración	4g/2 - 100 Hz
Humedad	0 - 98% RH, de acuerdo con IEC 68-1, IEC 68-2-2
Temperatura ambiente	-40 to +85°C, -40 to +85°C, for EEx ia II C T1 - T4 -40 to +60°C, for EEx ia II C T5 - T6
Datos EEx	U _{max.} = 28V d.c. I _{max.} = 120mA d.c. P _{max.} = 0.84W L _{int.} = 0.01mH C _{int.} = 1 nF
Protección (Terminales/Tapa)	IP 00/IP68
Empaquetado separado	IP 54

Fuente: Hoja de datos Danfoss MBT9110

6.0.3 Selección Instrumento Conmutador de Flujo

En la selección del instrumento conmutador de flujo se tuvieron en cuenta cada una de las siguientes características físicas y eléctricas:

- Tipo de señal de salida: 0 a 24 Vdc.
- Grado de protección: IP55 mínimo.
- Tipo de alimentación: 0 a 24Vdc.
- Tipo de entorno: Entorno Industrial
- Aplicación: Medición de flujo en ambientes húmedos.
- Tipo de fluido: Agua.
- Flujo de agua: 80 GPM

Teniendo en cuenta cada una de las características anteriormente descritas se procedió a indagar en cada uno de los diferentes representantes a nivel local y nacional de cada una de los principales productores de elementos electrónicos para este tipo de aplicaciones.

El resultado de la anterior indagación corresponde a los siguientes instrumentos:

- Conmutador de Flujo Marca: WE Anderson Modelo: FS 2. (Ver Anexo I).
- Conmutador de Flujo Marca: Kobold Modelo: FPS. (Ver Anexo J).

Una vez se analizaron los dispositivos de las diferentes marcas, se decidió implementar el siguiente instrumento de la marca W E Anderson modelo FS-2, el cual cuenta con las siguientes características denotadas por el fabricante:

Figura 24. Conmutador de flujo W.E. Anderson Modelo FS-2



Fuente: Cortesía W.E. Anderson.

El modelo FS-2 Flujo conmutador del tipo paleta ofrece una económica solución para la detección de presencia de flujo. Posee puntos de ajuste personalizado para adaptarse a la aplicación sobre el terreno están habilitadas por la paleta ajustable y un ajuste por tornillo. El FS-2 cuenta con un alojamiento de aluminio impermeable lo cual no permite una instalación al aire libre. La paleta es ajustable para tuberías desde 1" hasta 8". FS-2 es ideal para uso en "la detección de flujo o la ausencia de flujo" en las aplicaciones de sistemas de refrigeración y sistemas de agua caliente.

Este conmutador de flujo cuenta con las características para su implementación:

- Paleta ajustable en Campo.
- Punto de consigna regulable.
- Construcción resistente.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas Conmutador de Flujo W.E. Anderson Modelo FS-2

Servicio	Compatible con líquidos
Material de las partes del conmutador	Abajo: Tin-bronce. Vane: Acero inoxidable. Cuerpo: latón forjado.
Temperatura limite	230°F (110°C)
Limite de presión	145 psig (10 Bar)
Rango de empaquetamiento	IP 64
Tipo de conmutador	SPDT conmutador de broche.
Rangos eléctricos	10A res, 3A ind @ 250 VAC.
Conexión electrica	Con prensaestopa y cable encauchetado.
Conexión al proceso	1" hembra NPT
Orientación para el montaje	El conmutador debe ser instalado en el mismo sentido en la cual van las tuberías.
Ajuste de la consigna	Cuatro combinaciones de veleta y un ajuste por tornillo.
Encerramiento	Fundición con aleación de aluminio.

Fuente: Cortesía W.E. Anderson.

La calibración del conmutador de flujo se realiza con los datos descritos en la siguiente tabla, la cual enuncia cada una de las características que se van a obtener dependiendo de la calibración desarrollada:

Tabla 8. Rango de Flujo de Trabajo

Diámetro tubería (pulg)	Longitud de la paleta en (mm) Dim. X	Aproximada conmutación para los rangos de flujo de agua			
		Mínima configuración GPM (LPM)		Máxima configuración GPM (LPM)	
		Actúa	No actúa	Actúa	No actúa
4	3.46 (88)	59.4 (225)	52.8 (200)	123.3 (466.7)	114.5 (433.3)

Fuente: Cortesía W.E. Anderson.

Como se puede visualizar en la anterior tabla, la calibración que se va a realizar para la implementación de la automatización del proceso de refrigeración de acuerdo con las características solicitadas es la mínima, debido a que el flujo constante de nuestro proceso es de 80 GPM, lo cual nos permite un gran rango de acción respecto a este valor nominal de trabajo.

6.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES Y NORMATIVA

6.1.1 Definición de Variables

Las variables analizadas para la automatización del sistema de refrigeración del circuito de 80 toneladas corresponden a presión, caudal y temperatura. Estas variables son medidas con los instrumentos electrónicos, detallados en el numeral anterior. Las variables presión y temperatura se miden con un instrumento análogo, mientras que el flujo se mide con un instrumento del tipo digital (discreto), para detectar la presencia o ausencia de fluido.

A continuación se enuncian cada una de las variables analizadas para llevar a cabo la automatización del proceso de refrigeración:

- **Presión:** El control de la presión en los procesos industriales genera condiciones de operación seguras. La tubería y el proceso posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando está, de acuerdo con el material de construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción de la tubería, sino también la destrucción del equipo adyacente y pone al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas fluidos.

En nuestro caso vamos a obtener la medida de la presión manométrica la cual es la más adecuada para conocer el valor al cual se encuentra el flujo de agua del proceso en la tubería de 4". La Presión Manométrica es normalmente la presión superior a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que se define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es evidente que el valor absoluto de la presión puede abstenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

- **Temperatura:** La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

La medición de la temperatura es importante, debido a que se necesita conocer el valor al cual se encuentra el flujo de agua del proceso en la tubería de 4". La temperatura que es tomada o traducida actualmente es la de la salida del proceso la cual es parte del control del Chiller del circuito de 80 Toneladas, además de esta temperatura se tomará la temperatura del flujo de agua del ciclo de agua de condensación esto con el motivo de realizar un control energético en el

funcionamiento de la torre de enfriamiento la cual si la temperatura del agua de condensación está en un valor inferior o igual a 10°C está dejara de funcionar.

- **Flujo:** El flujo en nuestro sistema constituye una de las medidas fundamentales para efectuar en nuestro proceso industrial. Debido a que con el flujo conocemos si se está realizando una correcta circulación del fluido en la tubería lo cual nos presenta la presencia de este, esta variable se toma debido a la opción de un posible congelamiento de la tubería del sistema lo cual indicaría una presión alta pero no habría circulación del fluido lo cual, si solamente se tiene medición de presión el sistema de control se engañaría y se podrían presentar fallas y daños físicos en el sistema de refrigeración.

6.1.2 Normativa

El propósito de la normatividad es establecer un medio uniforme de designación los instrumentos y los sistemas de la instrumentación usados para la medición y control. Con este fin, el sistema de designación incluye los símbolos y presenta un código de identificación los cuales nos podrían indicar su grado de protección con respecto a los diferentes tipos de situaciones que se nos pueden llegar a presentar en cada uno de los entornos industriales.

Por lo tanto se va expresar la normativa IP, NEMA y la ANSI 5.1 debido a que estas normativas son implementadas e utilizadas en el desarrollo y selección de cada uno de los instrumentos, la construcción y diseño de diagramas de instrumentación, control, mecánicos además acompañados de la norma ANSI 5.1 para la designación y globalización de cada uno de estas designaciones.

A continuación se va a dar una breve descripción de cada una de las normativas utilizadas en este proyecto:

- **Norma IP:** En el presente documento se muestra en forma resumida el significado del código IP (Norma EN 60529), para la clasificación de receptáculos, cubiertas o componentes, respecto al acceso a partes peligrosas, ingreso de cuerpos sólidos extraños, protección ante el agua y otras características particulares de la cubierta.

Los números IP son frecuentemente indicados en gabinetes, conectores, etc. El tercer dígito, referente a la protección contra impactos mecánicos es generalmente omitido.

El primer dígito indica la protección de las personas respecto al acceso a partes peligrosas, limitando el contacto del cuerpo humano u objetos, así como la

protección del contenido ante objetos sólidos extraños; El segundo dígito indica la protección del equipo en el interior de la cubierta contra la penetración del agua. Para ampliar el conocimiento y la respectiva definición de cada uno de los dígitos correspondientes se recomienda observar el Anexo K.

Así por ejemplo la selección de cada uno de los instrumentos se realizó con esta normativa dando como resultado lo siguiente:

- **Instrumento transmisor de presión:** Protección IP 55 la cual indica los siguientes parámetros

Tabla 9. Descripción grado de protección IP

Dígito	Primer número – Protección contra sólidos	Dígito	Segundo número – Protección contra líquidos
5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida

Fuente: Autor de proyecto.

- **Instrumento transmisor de temperatura:** Posee tres grados de protección para cada una de las siguientes partes de dicho instrumento, protección terminal IP 00, protección tapa IP 68 y protección del empaquetado IP 54 dando así tres protecciones IP a cada una de las partes constituyentes del instrumento transmisor.

Tabla 10. Descripción grado de protección IP de terminales

Dígito	Primer número – Protección contra sólidos	Dígito	Segundo número – Protección contra líquidos
0	Sin Protección	0	Sin Protección

Fuente: Autor de proyecto.

Tabla 11. Descripción grado de protección IP de la tapa

Dígito	Primer número – Protección contra sólidos	Dígito	Segundo número – Protección contra líquidos
6	Totalmente protegido contra polvo	8	Protegido contra largos periodos de inmersión bajo

			presión
--	--	--	---------

Fuente: Autor de proyecto.

Tabla 12. Descripción grado de protección IP del empaquetamiento

Dígito	Primer número – Protección contra sólidos	Dígito	Segundo número – Protección contra líquidos
5	Protegido contra polvo – entrada limitada permitida	4	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones – entrada limitada.

Fuente: Autor de proyecto.

- **Instrumento transmisor de flujo:** Protección IP 64 la cual indica.

Tabla 13. Descripción grado de protección IP

Dígito	Primer número – Protección contra sólidos	Dígito	Segundo número – Protección contra líquidos
6	Totalmente protegido contra polvo	4	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida

Fuente: Autor de proyecto.

- **Norma NEMA:** Este es un conjunto de estándares creado, como su nombre lo indica, por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (E.U.). Los estándares más comúnmente encontrados en las especificaciones de los equipos son los siguientes:

NEMA 4. Sellado contra el agua y polvo. Los gabinetes tipo 4 están diseñados especialmente para su uso en interiores y exteriores, protegiendo el equipo contra salpicaduras de agua, filtraciones de agua, agua que caiga sobre ellos y condensación externa severa. Son resistentes al granizo pero no a prueba de granizo (hielo).

Deben tener ejes para conductos para conexión sellada contra agua a la entrada de los conductos y medios de montaje externos a la cavidad para el equipo.

NEMA 4X. Sellado contra agua y resistente a la corrosión. Los gabinetes tipo 4X tienen las mismas características que los tipo 4, además de ser resistentes a la corrosión.

NEMA 12. Uso industrial. Un gabinete diseñado para usarse en industrias en las que se desea excluir materiales tales como polvo, pelusa, fibras y filtraciones de aceite o líquido enfriador. Para una profundización con respecto a la normativa leer el anexo K.

De esta manera la selección para la elaboración del gabinete de potencia y control se realizó siguiendo esta normativa dando como resultado lo siguiente:

Un gabinete con dimensiones 2.20m x 0.6m x 0.8m el cual está reglamentado bajo norma NEMA 4X la cual nos expresa que este debe quedar totalmente sellado contra cualquier tipo de entrada de agua, resistente a la corrosión, para ambiente interior. Esta selección para la aplicación al gabinete de dicha normativa se realizó contemplando las características del entorno las cuales son de un ambiente con posibilidad de chorro de agua directo hacia el gabinete, una inundación parcial del lugar y polvo.

- **Norma ISA/ANSI 5.1:** El proyecto Automatización del sistema de refrigeración para el proceso de extrusión requiere del auxilio de diagramas del circuito de instrumentos donde se indique claramente los tipos de instrumentos, señales con las que se comunicarán, ubicación relativa de los elementos que conformarán el circuito, etc.

A continuación se presenta un resumen de las normas ISA-S5.1 de ANSI/ISA 1984, anteriormente ANSI Y32.20, sobre instrumentación de medición y control:

Cada instrumento debe identificarse con sistema de letras que lo clasifique funcionalmente. Una identificación representativa es la siguiente:

Tabla 14. Identificación del Instrumento

TRC		2 A	
Primera Letra	Letras Sucesivas	Número del Bucle	Sufijo (No se usa normalmente)
Identificación Funcional		Identificación del bucle	

Fuente: Norma ANSI ISA 5.1

El número de letras funcionales para un instrumento debe ser mínimo, no exceder cuatro, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- Disponer las letras en subgrupos.
- En un instrumento que indica y registra la misma variable medida puede omitirse la letra I (indicación).
- Los bucles de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto deben identificarse con una secuencia única de números.
- Si un bucle dado tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional, es preferible añadir un sufijo. Estos sufijos pueden añadirse obedeciendo a las siguientes reglas:

Deben emplearse letras mayúsculas. A, B, C, etc.

En un instrumento tal como un registrador de temperatura multipunto que imprime números para identificación de los puntos, los elementos primarios pueden numerarse TE-25-1, TE-25-2, TE-25-3, etcétera.

Las subdivisiones interiores de un bucle pueden designarse por sufijos formados por letras y números.

Un instrumento que realiza dos o más funciones puede designarse por todas sus funciones.

Los accesorios para instrumentos tales como rotámetros de purga, filtros manorreductores y potes de sello que no están representados explícitamente en un diagrama de flujo, pero que necesitan una identificación para otros usos deben tenerla de acuerdo con su función y deben emplear el mismo número del bucle que el del instrumento asociado. Alternativamente, los accesorios pueden emplear el mismo número de identificación que el de sus instrumentos asociados, pero con palabras aclaratorias si ello es necesario.

Tabla 15. Designación Normativa ANSI 5.1

Primera Letra		Letras Sucesivas		
Variable Medida (3)	Letra de Modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A Análisis (4)		Alarma		
B Llama (quemador)		Libre(1)	Libre(1)	Libre(1)
C Conductividad			Control	
D Densidad o Peso Específico	Diferencial (3)			

E Tensión (f.e.m)		Elemento primario		
F Caudal	Relación(3)			
G Calibre		Vidrio (8)		
H Manual				Alto (6) (13) (14)
I Corriente eléctrica		Indicación (9) o indicador		
J Potencia	Exploración (6)			
K Tiempo			Estación de control	
L Nivel		Luz piloto (10)		Bajo (6) (13) (14)
M Humedad				Medio o interno (6) (13) (14)
N Libre(1)		Libre	Libre	Libre
O Libre (1)		Orificio		
P Presión o vacío		Punto de prueba		
Q Cantidad	Integración (3)			
R Radiactividad		Registro		
S Velocidad o Frecuencia	Seguridad (7)		Interruptor	
T Temperatura			Transmisión o transmisor	
U Multivariable (5)		Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V Viscosidad			Válvula	
W Peso o Fuerza		Vaina		
X Sin clasificar (2)		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y			Relé o computador (12)	
Z Posición			Elemento final de control sin clasificar	

Fuente: Instrumentación Industrial Autor José Antonio Creuss Ed. 6

Para un estudio avanzado de la normativa, consultar el libro Instrumentación Industrial del autor José Antonio Creuss Segunda edición editorial AlfaOmega.

6.2 CRITERIO DE SELECCIÓN DE CONTROL Y AUTOMATISMOS

El controlador lógico programable o “PLC”, es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los sensores y el programa lógico interno, dando así una orden sobre los actuadores que han sido debidamente instalados en el proceso.

Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc, por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Funciones Básicas de un PLC

Detección: Lectura de la señal de los sensores distribuidos por el sistema de fabricación.

Mando: Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los actuadores y pre actuadores.

Dialogo hombre máquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

Programación: Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la maquina.

Redes de comunicación: Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómetas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

Control de procesos continuos: Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómetas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómeta.

Buses de campo: Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus sensores y actuadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómeta consulta cíclicamente el estado de los sensores y actualiza el estado de los actuadores.

- **El equipamiento debe satisfacer las restricciones externas:** Para asegurar la seguridad de las personas y la de las máquinas además de respetar todos los requerimientos del entorno tales como temperaturas externas, posibilidad de golpes, atmosferas de polvo, etc.
- **Transmisión de señal y de potencia:** Esto incluye las conexiones entre los diferentes elementos del sistema tales como cables, buses, conectores, etc. Hay que tener en cuenta que los valores de corriente van desde miliamperios hasta miles de amperios; en todo caso, la corriente tiene que estar bien dimensionada para cubrir las sobrecargas electrodinámicas, mecánicas y térmicas.
- **Enlaces de control:** Estos son utilizados para dirigir y controlar los dispositivos de automatización. Los sistemas de cableado convencional (cables separados) están siendo reemplazados de forma gradual por conexiones pre cableadas con conectores y buses de comunicación.

- **Ciclo de vida del equipamiento de automatización:** Un equipamiento es diseñado y luego se usa y se mantiene durante su ciclo de vida. Este ciclo depende de los usuarios y sus necesidades, de cada uno de los requerimientos del cliente y de las obligaciones de carácter externo.
- **Costo del equipo:** La reducción de los costos es un asunto omnipresente durante la fase de elección. Está estrechamente relacionado con las necesidades del cliente. A pesar que este es un proyecto de ingeniería también tiene en cuenta la efectividad de la reducción de los costos en todo momento.
- **Las necesidades del usuario y las presiones del mercado:** El mercado de la automatización ha estado sujeto a grandes tensiones. Las principales prioridades del cliente hoy en día son las siguientes:
 - Reducir el tiempo invertido.
 - Reducción de los costos en el proceso.

Pero este tipo de situaciones ha generado una gran variedad de nuevas necesidades, las cuales se describen a continuación:

- Reducción del tiempo de desarrollo.
- Reducción de la complejidad.
- Mayor flexibilidad, en particular cuando se tienen que realizar diferentes cambios entre series completas.
- Recolección de la información para la gestión de la producción y del mantenimiento (reducción de costos, tiempos de parada, etc.).

Para cumplir estos requerimientos la oferta de productos fiables y robustos tiene que incluir diferentes tipos de arquitecturas simples de utilizar y de entender las que permitan la acción de terceros como integradores de los sistemas además de software para diseñar y construir la solución perfecta.

6.2.1 Herramientas de Software y Desarrollo

Las herramientas de programación se han expandido notablemente, desde software que depende de plataformas de hardware hasta programas puramente funcionales descargados de una amplia variedad de configuraciones de hardware.

La comunicación entre componentes es generada automáticamente. La información que el programa produce es accedida a través de una herramienta de

unificación, y comparte una base de datos común que recorta considerablemente el tiempo invertido en la captura de información (parámetros, variables, etc.).

Hasta la fecha, los fundamentos del lenguaje de programación de los dispositivos de automatización industrial no han cambiado, debido a su fundamento en el estándar internacional IEC 61131-3, en ocasiones potenciado con herramientas de control operativo.

El software es un ingrediente obligatorio para una gran cantidad de productos diferentes y es usado no solo para programar, sino que también es usado para configurar, parametrizar y diagnosticar. Estas características separadas pueden ser incluidas en un mismo programa.

6.2.1.1 Dispositivo Seleccionado

La selección del dispositivo lógico programable se realizó entre los siguientes dispositivos:

- Marca Siemens modelo S7-200 CPU 224 .
- Marca Siemens modelo LOGO! 12/24 RC .
- Marca Twido modelos TWDLCAA24DRF (Ver Anexo M).

Se escogió el PLC Twido por su funcionalidad, bajo costo, facilidad de programación y manipulación:

Tabla 16. Características Generales Controlador Twido

Función	Descripción
Exploración	Normal (cíclica) o periódica (constante) (de 2 a 150 ms).
Tiempo de ejecución	0,14 μ s a 0,9 μ s para una instrucción de lista.
Capacidad de memoria	Datos: 1.500 palabras de memoria para todos los autómatas, 128 bits de memoria para los autómatas TWDLCAA10DRF y TWDLCAA16DRF, y 256 bits de memoria para el resto de los autómatas.
	Programa :Autómata compacto de 10 E/S: 700 instrucciones de lista Autómata compacto de 16 E/S: 2.000 instrucciones de lista Autómatas compactos de 24 E/S y modulares de 20 E/S: 3.000 instrucciones de lista Autómatas modulares de 20 E/S relé y de 40 E/S: 6.000 instrucciones de lista (con un cartucho de 64 KB; en cualquier otro caso, 3.000 instrucciones de lista)

Copia de seguridad de RAM	Por medio de la batería de litio secundaria. La duración de la copia de seguridad es aproximadamente de 30 días (normalmente) a 25 °C después de haber cargado la batería por completo. El tiempo de carga es de 15 horas para cargar hasta el 90% de la capacidad total. La autonomía de la batería es de 10 años cuando se carga durante 9 horas y se descarga durante 15 horas. La batería no se puede reemplazar.	
Puerto de programación	EIA RS-485	
Módulos de ampliación de E/S	Autómatas compactos de 10 y 16 E/S: no disponen de módulos de ampliación. Autómatas compactos de 24 E/S y modulares de 20 E/S: hasta cuatro módulos de ampliación de E/S Autómatas modulares de 20 E/S relé y de 40 E/S: hasta siete módulos de ampliación de E/S	
Módulos de interface del bus AS- Interface V2	Autómatas compactos de 10 y 16 E/S: no disponen de módulos de interface del bus AS-Interface Autómatas compactos de 24 E/S, modulares de 20 E/S y de 40 E/S: hasta dos módulos de interface del bus AS-Interface	
Comunicación de conexiones remotas	Máximo siete esclavos por E/S remota o autómata de ampliación Longitud máxima de toda la red: 200 m	
Comunicación Modbus	Tipo RS-485 no aislado; longitud máxima: 200 m. Modo ASCII o RTU.	
Comunicación ASCII	Protocolo Half-duplex hacia un dispositivo	
Bloques de función especializados	PWM/PLS	Todos los autómatas modulares: 2

	Contadores rápidos Contadores muy rápidos	Todos los autómatas compactos: 3 Todos los autómatas modulares: 2 Todos los autómatas compactos: 1 Todos los autómatas modulares: 2
Potenciómetro s analógicos	Autómata compacto de 24 E/S: 2 Todos los demás autómatas: 1	
Canal analógico integrado	Autómatas compactos: ninguno Autómatas modulares: una entrada	
Filtro de entradas programable	El tiempo del filtro de entradas se puede modificar durante la configuración Sin filtrado, o filtrado a 3 ms o 12 ms Los puntos de E/S se configuran en grupos	
E/S especiales	Entradas	RUN/STOP: cualquiera de las entradas de la base
		Retención de estado: hasta cuatro entradas (de %I0.2a %I0.5)
		Entrada analógica integrada conectada a %I0.0 según el valor del frecuencímetro

		Contadores rápidos: 5 kHz como máximo Contadores muy rápidos: 20 kHz como máximo Frecuencímetro: de 1 kHz a 20 kHz como máximo
	Salidas	Salida de estado del autómata: una de tres salidas (de %Q0.1 a %Q0.3)
		PLS: 7 kHz como máximo
		PWM: 7 kHz como máximo

Fuente: Telemecanique.

Debido a que los controladores TWIDO están destinados a instalaciones sencillas y a pequeñas máquinas compactas, el controlador programable Twido, el módulo de visualización Magelis XBTN ya gozan de buena reputación debido a su capacidad de ahorro de espacio, su simplicidad y su competitividad.

Hoy en día, su asociación constituye una auténtica solución que permite la facilidad y la rapidez de la instalación, así como el funcionamiento perfecto del conjunto gracias a una oferta completa de cableado y a una integración de software lograda (bloques de función integrados en TwidoSuite).

Las versiones modulares y compactas Twido comparten ambas las mismas opciones, ampliaciones de E/S y software de programación, lo que proporciona sencillez y flexibilidad para el desarrollo de las aplicaciones.

Dentro de sus aplicaciones industriales encontramos:

- Instalaciones independientes: gestión de la iluminación, calefacción y aire acondicionado, control de acceso y control/supervisión, etc.

- Máquinas compactas repetitivas: transportadores, ascensores, máquinas distribuidoras, etc.

Los beneficios que se poseen con este tipo de dispositivo son los siguientes:

- 2 tipos de base: compacta con 10,16,24 o 40 E/S y modular con 20 o 40 E/S.
- Módulos de ampliación de E/S: 15 módulos discretos y 10 módulos analógicos.
- Diversidad de modos de conexión: borneros con tornillos extraíbles, solución pre cableada Telefast (conector HE10, Fast Twido) y terminal de resorte.
- Comunicaciones: remotas para E/S o entre varios Twidos, Modbus, AS-Interface, CANOpen y Ethernet.
- Adaptabilidad ofrecida por opciones: más capacidad de memoria (32Kb o 64Kb), reloj de tiempo real, 2º puerto de comunicaciones serie (RS232 o RS485), más ajuste (unidad de visualización HMI)
- Tamaño compacto: 40 E/S para 95x90x70 mm
- Funciones: contadores rápidos, salidas de impulso, 1 puerto RS 485 multiprotocolo: Modbus maestro/esclavo, ASCII, procesamiento de eventos rápido, numerosos tipos de datos (palabras, palabras compuestas, aritmética de coma flotante), hasta 14 bucles PID, etc.
- Posibilidad de conectividad Bluetooth(Conexión a Twido con una Poket PC).
- Posibilidad de conexión a un módem GSM o RTC.

6.2.1.2 Configuración máxima de hardware

Esta sección proporciona las configuraciones máximas de hardware para el controlador.

Tabla 17. Configuración máxima Hardware

Elemento del Controlador	Autómata Compacto
	TWDLCAA24DRF
Entradas digitales base	14

Salidas digitales base	10
Módulos de ampliación de E/S máx. (digitales o analógicas)	4
Entradas digitales máx. (E/S del controlador + E/S de ampl.)	$14 + (4 \times 32)$ = 142
Salida digital máx. (E/S del controlador)	$10 + (4 \times 32)$ = 138
E/S digitales máx. (E/S del controlador + E/S de ampl.)	$24 + (4 \times 32)$ = 152
Módulos de interface del bus AS-Interface máx	2
E/S máx. con módulos ASInterface (7 E/S por esclavo)	$24 + (2 \times 62 \times 7)$ = 892
Puntos de relé máx.	10, base +32, ampliación
Potenciómetros	2
Entradas analógicas integradas	0
E/S analógicas máx. (E/S del controlador + E/S de ampl.)	8 de entrada/ 4 de salida
Controladores remotos	7
Puertos serie	2
Slots para cartuchos	1
Tamaño máximo de aplicación/copia de seguridad (KB)	32
Cartucho de memoria opcional (KB)	32 ¹
Cartucho RTC opcional	sí ¹
Monitor de operación opcional	Si
2º puerto opcional	Si

Fuente: Telemecanique

Nota aclaratoria:

1. Un controlador compacto puede tener un cartucho de memoria o un cartucho RTC.
2. Un controlador modular puede tener un módulo de ampliación de monitor de operación (con un adaptador de comunicaciones opcional) o un módulo de ampliación de comunicaciones.

6.2.1.3 Funciones principales de los autómatas

De forma predeterminada, todas las E/S de los autómatas se configuran como E/S binarias. Sin embargo, algunas E/S se pueden asignar a tareas específicas durante la configuración, como:

- Entrada RUN/STOP.
- Entradas con retención.
- Contadores rápidos.
- Contadores progresivos/regresivos individuales: 5 kHz (de una fase)
- Contadores muy rápidos: conteo progresivo/regresivo: 20 kHz (de dos fases)
- Salida de estado del autómata
- PWM (Modulación de ancho de pulso)
- Salida del generador de pulsos (PLS)
-

Los autómatas Twido están programados con TwidoSoft, que permite utilizar las funciones siguientes:

- PWM
- PLS
- Contadores rápidos y muy rápidos

También se definen unas características principales del autómata:

Tabla 18. Características Principales

Función	Descripción
Exploración	Normal (cíclica) o periódica (constante) (de 2 a 150 ms).
Tiempo de ejecución	0,14 μ s a 0,9 μ s para una instrucción de lista.
Capacidad de memoria	Datos: 1.500 palabras de memoria para todos los autómatas y 256 bits de memoria. Programa: Autómata compacto de 16 E/S: 2.000 instrucciones de lista
Copia de seguridad RAM	Por medio de la batería de litio secundaria. La duración de la copia de seguridad es aproximadamente de 30 días (normalmente) a 25 °C después de haber cargado la batería por completo. El tiempo de carga es de 15 horas para cargar hasta el 90% de la capacidad total. La autonomía de la batería es de 10 años cuando se carga durante 9 horas y se descarga durante 15 horas. La batería no se puede reemplazar.

Puerto de programación	EIA RS 485	
Módulos de ampliación de E/S	Autómatas compactos de 24 E/S y modulares de 20 E/S: hasta cuatro módulos de ampliación de E/S	
Módulos de interface del bus ASInterface V2	Autómatas compactos de 24 E/S, modulares de 20 E/S y de 40 E/S: hasta dos módulos de interface del bus AS-Interface	
Comunicación de conexiones remotas	Máximo siete esclavos por E/S remota o autómata de ampliación. Longitud máxima de toda la red: 200 m	
Comunicación ModBus	Tipo RS-485 no aislado; longitud máxima: 200 m. Modo ASCII o RTU.	
Comunicación ASCII	Protocolo Half-duplex hacia un dispositivo.	
Bloques de función especializados	Contadores rápidos = 3	
	Contadores muy rápidos = 1	
Potenciómetros analógicos	1	
Filtro de entradas programable	El tiempo del filtro de entradas se puede modificar durante la configuración. Sin filtrado, o filtrado a 3 ms o 12 ms. Los puntos de E/S se configuran en grupos.	
E/S especiales	Entradas	RUN/STOP: cualquiera de las entradas de la base
		Retención de estado: hasta cuatro entradas (de %I0.2 a %I0.5)
		Entrada analógica integrada conectada a %I0.0 según el valor del frecuencímetro
		Contadores rápidos: 5 kHz como máximo Contadores muy rápidos: 20 kHz como máximo Frecuencímetro: de 1 kHz a 20 kHz como máximo
	Salidas	Salida de estado del autómata: una de tres salidas (de %Q0.1 a %Q0.3)

		PLS: 7 kHz como máximo
		PWM: 7 kHz como máximo

Fuente: Telemecanique

6.2.1.4 Vista general de las Comunicaciones

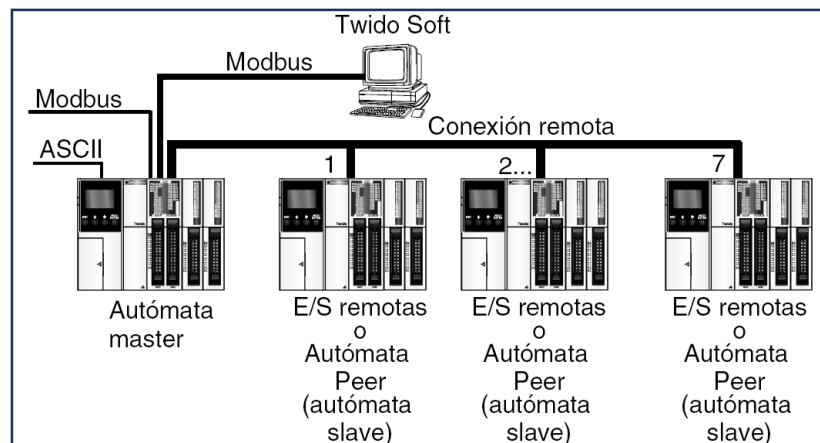
Los autómatas Twido disponen de un puerto serie, o de un segundo puerto opcional, que se utiliza para servicios de tiempo real o de administración de sistemas. Los servicios de tiempo real proporcionan funciones de distribución de datos para intercambiar datos con dispositivos de E/S, así como funciones de administración para comunicarse con dispositivos externos. Los servicios de administración de sistemas controlan y configuran el autómata por medio de TwidoSoft. Cada puerto serie se utiliza para cualquiera de estos servicios, pero sólo el puerto serie 1 es válido para comunicarse con TwidoSoft.

Para poder utilizar estos servicios, hay tres protocolos disponibles en cada autómata:

- Conexión remota
- Modbus
- ASCII

En el siguiente esquema se muestra una arquitectura de comunicaciones con los tres protocolos:

Figura 25. Diagrama Comunicaciones Twido



Fuente: Schneider Electric

- **Protocolo de conexión remota:** El protocolo de conexión remota es un bus maestro/esclavo de alta velocidad diseñado para transferir una pequeña cantidad de datos entre el autómata maestro y hasta siete autómatas esclavo remotos. Se transfieren datos de E/S o de aplicación dependiendo de la configuración del autómata remoto. Es posible realizar una combinación de tipos de autómatas remotos, con varios autómatas de E/S remotas y otros autómatas de ampliación. (Ver Figura 24).
- **Protocolo Modbus:** El protocolo Modbus es un protocolo maestro/esclavo que permite a un maestro solicitar respuestas a los esclavos o realizar acciones dependiendo de las solicitudes. El maestro puede dirigirse a esclavos particulares o iniciar una difusión de mensajes para todos los esclavos. Los esclavos devuelven un mensaje (respuesta) a las solicitudes que se les envían individualmente. No se devuelven respuestas a las solicitudes de difusión desde el maestro.

Modo maestro de Modbus: el modo maestro de Modbus permite al autómata iniciar una transmisión de solicitudes Modbus, esperando una respuesta desde un esclavo Modbus.

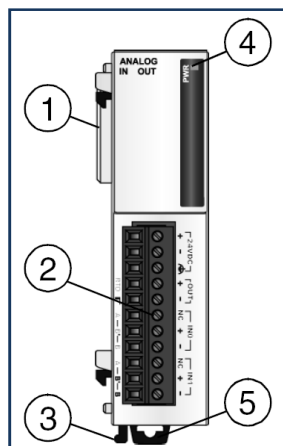
Modo esclavo Modbus: el modo esclavo Modbus permite al autómata responder a las solicitudes de Modbus desde un maestro Modbus. Es el modo de comunicaciones predeterminado si no hay ninguna comunicación configurada. (Ver Figura 24).

- **Protocolo ASCII:** El protocolo ASCII permite establecer comunicaciones entre el autómata y un dispositivo simple, como por ejemplo una impresora.

Modulo de Entradas Análogas TWDAMI8HT: La selección del modulo analógico se tuvo en cuenta la cantidad de entradas analógicas necesarias para la realización además de la correcta correspondencia en hardware para una idónea conexión entre el autómata programable y este mismo, a continuación se denotan cada una de las características de este las cuales fueron fundamentales para su selección.

Descripción de las partes de módulos de Entradas analógicas: En la siguiente sección se describen las partes de un módulo de Entradas analógicas.

Figura 26. Descripción partes módulo de entradas análogas



Fuente: Schneider Electric

La siguiente tabla enuncia y describe con su respectivo nombre cada una de las partes que se muestran en la figura 26.

Tabla 19. Descripción Módulo Analógico

Leyenda	Descripción
1	Conector de ampliación; uno a cada lado, el del lado derecho no se muestra.
2	Bloque de terminales extraíble
3	Botón de retención
4	LED
5	Abrazadera

Fuente: Schneider Electric

Características del módulo TWDAMI8HT: En la tabla adjunta a continuación se expresan cada una de las características que tiene el módulo TWDAMI8HT.

Tabla 20. Características Módulo

Característica de la entrada analógica	Entrada de tensión	Entrada de Corriente	Termopar	Termo resistencia
Rango de entrada	0 a 10 Vdc	4 a 20 mA	Tipo K (De 0 a 1300°C) Tipo J (De 0 a	Pt100 de tres conductores (De -100 a

			1200°C) Tipo T (De 0 a 400°C)	1500 °C)
Impedancia de Entrada	Mínimo de 1MΩ	10 Ω	Mínimo de 1MΩ	Mínimo de 1MΩ
Duración del muestreo	16 ms como máximo.		50 ms como máximo.	
Tiempo de repetición del muestreo	16 ms como máximo.		50 ms como máximo.	
Tiempo total de transferencia del sistema de entradas	32 ms + 1 tiempo de ciclo ¹		100 ms + 1 tiempo de ciclo ¹	
Tipo de entrada	Entrada finalizada simple.	Entrada diferencial.		
Modo de funcionamiento	Exploración Automática			
Error de entrada - error máximo a 25 °C	±0,2 % de la escala completa.		±0,2 % de la Escala completa más la precisión de compensación de juntura fría de ±4 °C como máximo.	±0,2 % de la Escala completa.
Error de entrada - coeficiente de temperatura	±0,006 % de la escala completa/°C.			
Error de entrada - se repite tras el tiempo de estabilización	±0,5 % de la escala completa.			
Error de entrada - no linear	±0,2 % de la escala completa.			
Error de entrada - error máximo	±1% de la escala completa.			
Valor de entrada del LSB	2,5 mV.	4 μA.	K: 0,325 °C J: 0,300 °C.	0,15°C

			T: 0,100 °C	
Monotonicidad	Si			
Datos de entrada fuera de rango	Detectable			
Resistencia a ruidos - desviación temporal máxima durante las pruebas de ruido eléctrico	±Máximo del 3% cuando se aplica una tensión de bloqueo de 500 V al cableado de alimentación y de E/S.		La precisión no está asegurada cuando se aplica ruido.	
Resistencia a ruidos - características de modo común	Razón de rechazo en modo común (CMRR): -50 dB.			
Resistencia a ruidos - tensión de modo común	16Vdc			
Resistencia a ruidos - filtro de entrada	No			

Fuente: Schneider Electric

6.2.2 Interfaz Hombre – Máquina (HMI)

Una amplia gama de estaciones de mando, terminales de diálogo y visualizadores electrónicos para todos los automatismos que responde a todas las exigencias de los interfaces de diálogo hombre-máquina sea cual sea el tipo de visualización, LCD o fluorescente, pantalla semigráfica o gráfica, monocroma o en color.

Para escoger la Magelis a utilizar se utilizaron los siguientes criterios de selección básicos (Ver Anexo N):

- Tamaño.
- Tipos de comunicación que maneja.
- Compatibilidad de marca con el PLC.
- Voltaje de alimentación.
- Software de diseño.

- Tuviera acceso al PLC en tiempo real.

Como primer referencia se tomo la familia del plc asi que se remitió a la familia de Magelis de Schneider ya que el el autómata a utilizar es un Twido de esta misma casa matriz.

La gama Magelis ofrece versatilidad en el idioma, posibilidad de conexionado con los autómatas de los principales fabricantes del mercado y cumplimiento con todas las normas internacionales, lo que le hace exportable a todo el mundo.

Permite actualizar a distancia las aplicaciones gracias a la utilización de tarjetas de memoria PCMCIA, en las que queda grabada la aplicación.

El tipo de aplicación que se maneja y la poca interacción que va a tener con el operario que la usara sesga el campo de acción a una pantalla de máximo 7 pulgadas, solo maneja 2 botones y 2 paneles independientes de programación.

Figura 27. Magelis HMI STU855



Fuente: Schneider Electric

Las características del terminal Magelis HMISTU855 se denotan a continuación:

Tabla 21. Características Magelis HMI STU855

Visualización	Tipo	QVGA TFT colour touchscreen
	Colores pantalla	65536
Introducción de datos	Touchscreen	

Capacidad de memoria	16 MB Back up of data, 64 kB	
Funciones	Número de páginas	Según la programación deseada.
	Resolucion Pixeles	De 320 X 240
	Representación de variables	Alfanumérica
	Reloj de tiempo real	Acceso al reloj de tiempo real del autómata.
Comunicación	Tipo de conexión integrado	1 USB (V2.0) port mini B USB 1 USB (V2.0) port USB type A COM1 serial link female RJ45, transmission rate <= 115.2 kbits/s (RS232C/RS485) Power supply removable screw terminal block
	Protocolos Comunicacion	Modbus Modbus TCP/IP Third party protocols Uni-TE

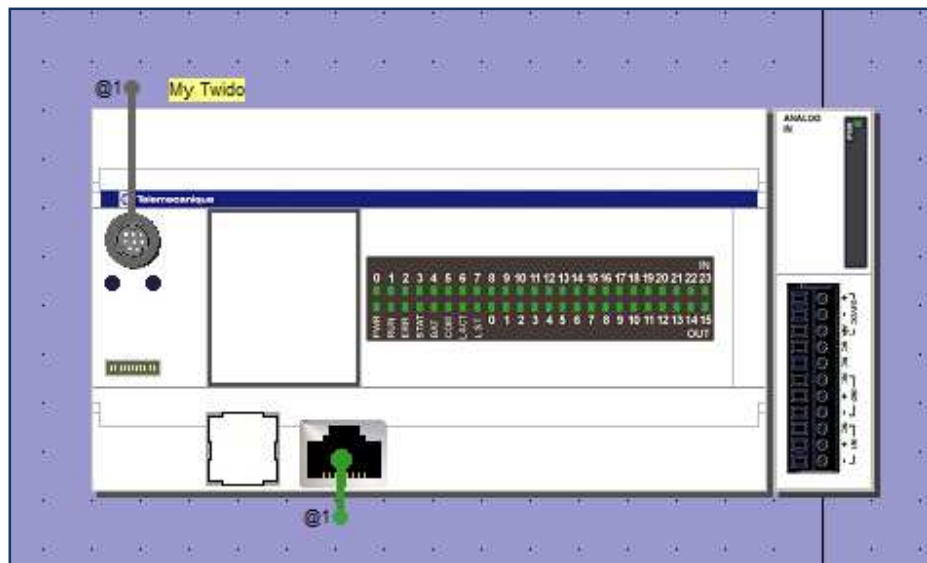
Fuente: Schneider Electric.

7 DISEÑO DE SOFTWARE

7.0 SOFTWARE PLC

El software de control de acciones para utilizar el PLC como herramienta de control de proceso es el Twido Suite, es una plataforma bastante dinámica y amigable para el diseño de software para el PLC de la gama del Twido.

Figura 28. PLC TWIDO



Fuente: El Autor

El lenguaje de programación utilizado es Ladder el cual se programa en forma secuencial utilizando contadores, contactos, temporizados, etc.

Se utilizaron las siguientes entradas y salidas digitales, asignándoles las variables mencionadas a continuación:

Distribución Entradas y Salidas PLC Twido TWDLCAE40DRF

Tabla 22. Entradas Digitales al PLC

Referencia Entrada	Nombre
%I0.0	Selector Automático / Manual
%I0.1	Selector Inicio / Parada
%I0.2	Pulsador Parada de Emergencia
%I0.3	Switch Flujo Salida Proceso

%I0.4	Switch Flujo Chiler
%I0.5	Contacto BTA Chiler
%I0.6	Contacto AP2 Chiler
%I0.7	Contacto AP1 Chiler
%I0.8	Contacto PA1 Chiler
%I0.9	Contacto PA2 Chiler
%I0.10	Contacto BP1 Chiler
%I0.11	Contacto BP2 Chiler
%I0.12	Entrada de Reserva
%I0.13	Entrada de Reserva

Fuente: El Autor

Tabla 23. Entradas Análogas al PLC TM2AMI4LT

Referencia Entrada	Nombre
%IW0.0	Presión Condensación
%IW0.1	Presión Circulación
%IW0.2	Termopar Tanque Circulación.
%IW0.3	Entrada de Reserva
%IW0.4	Entrada de Reserva
%IW0.5	Entrada de Reserva
%IW0.6	Entrada de Reserva
%IW0.7	Entrada de Reserva

Fuente: El Autor

Tabla 24. Salidas del PLC

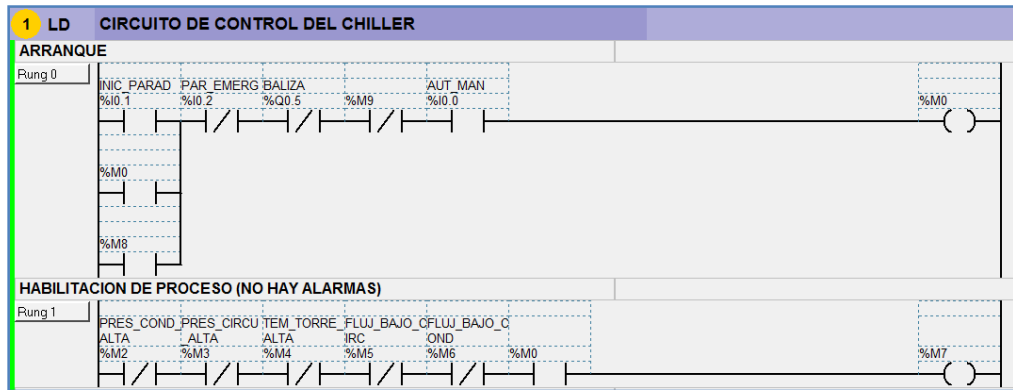
Referencia Salida	Nombre
%O0.0	Motobomba Circulación N°5
%O0.1	Motobomba Circulación N°6
%O0.2	Chiller
%O0.3	Motobomba Condensación N°1
%O0.4	Torre de Enfriamiento
%O0.5	Baliza
%O0.6	Motobomba Condensación N°2
%O0.7	Piloto Verde Automático
%O0.8	Salida de Reserva
%O0.9	Salida de Reserva
%O0.10	Salida de Reserva

Fuente: El Autor

7.0.1 Etapas del Software en el Twido Suite

- Etapa de arranque

Figura 29. Etapa de Arranque

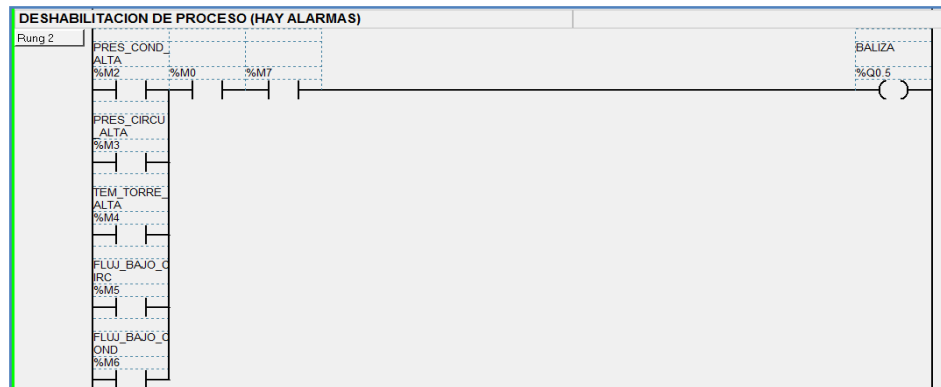


Fuente: El Autor

Esta etapa es el inicio de la secuencia de programación y se habilita al pulsar el botón de inicio en la pantalla de la HMI (M8) aunque también tiene la posibilidad de ser apagada o encendida en el tablero de control con la entrada I0.1 e I0.2 respectivamente. En caso de algún daño en el tablero de control se puede utilizar la entrada I0.0 para deshabilitar la rutina del PLC y realizar el encendido de forma manual para cada uno de los motores del sistema.

- Etapa de alarmas

Figura 30. Etapa de Alarmas

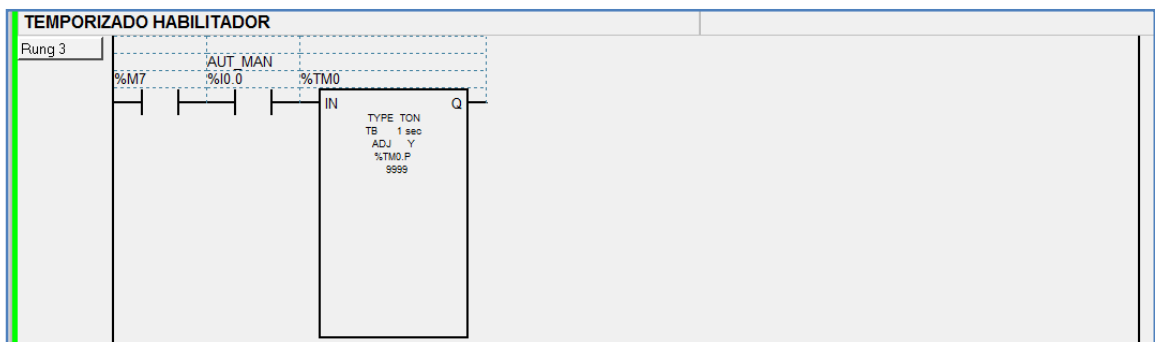


Fuente: El Autor

En esta zona de programación se autoriza una baliza que se activa con la salida Q0.5 e indica que ocurrió alguna anomalía en el sistema y por tal motivo se ha apagado. Están ligadas a esta baliza las alarmas que significan una falla grave en el chiller y pueden ocasionar un daño importante en la estructura por esto mismo apaga el sistema inmediatamente.

- **Etapa de control de secuencia**

Figura 31. Temporizado TMO

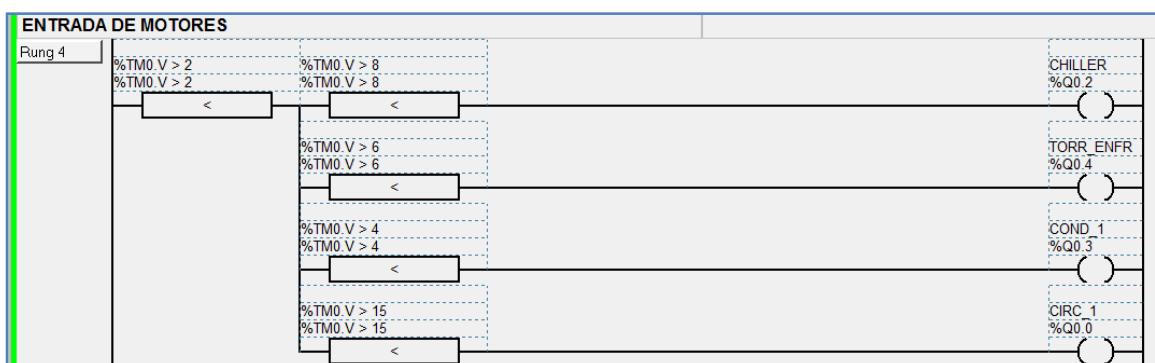


Fuente: El Autor

Esta etapa consta de un temporizado el cual indicara por tiempo la secuencia de encendido de cada una de las partes del sistema, chiller, bombas y torre.

- **Accionamiento de motores**

Figura 32. Accionamiento de Motores



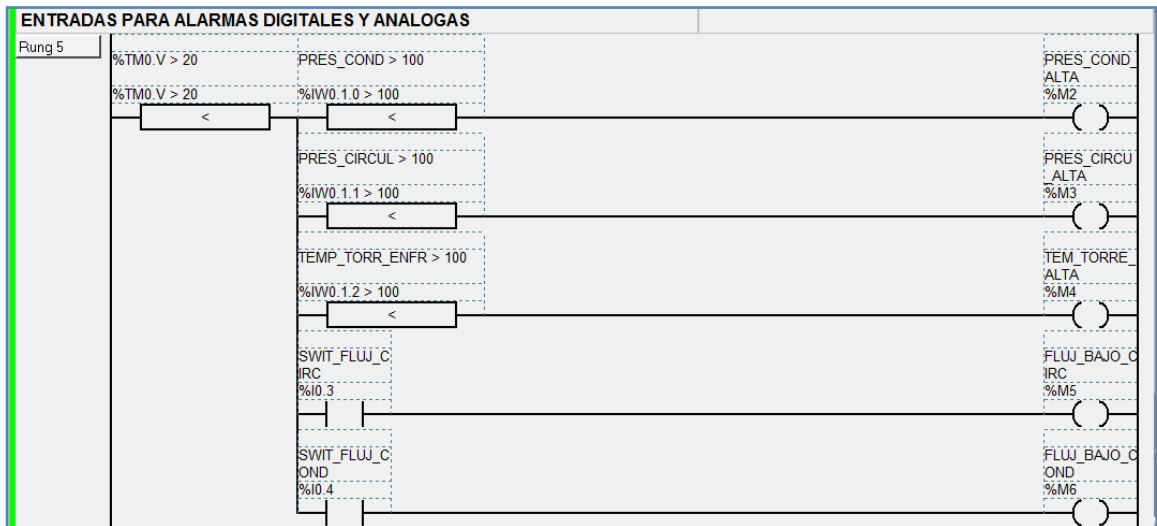
Fuente: El Autor

En esta etapa se controla la secuencia de encendido de motores con el temporizado de la etapa anterior primero se enciende la bomba de condensación,

inmediatamente se enciende la torre de enfriamiento seguida del chiller y por ultimo la bomba de circulación.

- **Etapas de alarmas digitales y análogas**

Figura 33. Activación de alarmas



Fuente: El Autor

En esta etapa se relacionan las alarmas a cada una de las condiciones necesarias para que se activen y son las siguientes:

1. Si la presión del circuito de condensación aumenta se activa el bit M2.
2. Si la presión del circuito de circulación aumenta se activa el bit M3.
3. Si la temperatura aumenta de cierto valor se activa el bit M4.
4. No hay flujo de agua en el circuito de circulación bit M5.
5. No hay flujo de agua en el circuito de condensación bit M6.

7.0.2 Software de la Interfaz HMI

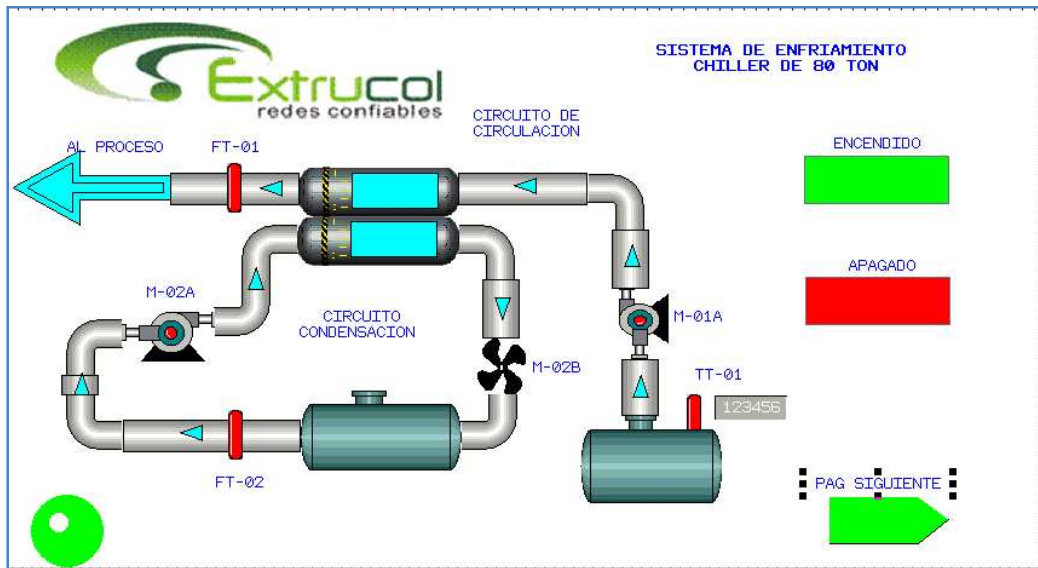
El software utilizado para la HMI es el Vijeo Designer de Schneider Electric y es el utilizado como interfaz para los computadores industriales de esta marca de referencia Magelis, aunque se puede utilizar con un computador normal.

En el Vijeo Designer se pueden enlazar las variables del Twido Suite por bits si son digitales o por palabras si son variables análogas con el fin de visualizar lo que ocurre internamente en el PLC y manejar cada uno de los accionamientos desde la pantalla de la aplicación permitiendo controlar el proceso de forma local y adicional a esto visualizar las alarmas más importantes seccionando de forma

inmediata la ubicación de la falla gracias a la instrumentación seleccionada para la aplicación.

La interfaz según la necesidad del proceso es la siguiente:

Figura 34. Interfaz Sistema de Enfriamiento



La primera pantalla tiene las siguientes funciones:

1. Encender y apagar el sistema por medio de dos pulsadores que aparecen en la grafica.
2. Visualizar la forma del proceso y asegurar forma local que cada una de las variables queden cubiertas por medio de indicadores luminosos y letreros.
3. Llevar el estado del proceso y mostrar el flujo de los circuitos.
4. Interpretación del sistema sin necesidad de ver físicamente el recorrido de la tubería para que cualquier persona que vea la pantalla identifique los elementos que componen el proceso y se ubique dentro del sistema de refrigeración.

La segunda pantalla corresponde al panel de alarmas donde se direccionan cada uno de los eventos del proceso.

Figura 35. Pantalla de alarmas.



Fecha	Hora	Estado
aa/mm/dd XXXXXXXXXX	24:00:00	XXXXXXXXXX
aa/mm/dd XXXXXXXXXX	24:00:00	XXXXXXXXXX
aa/mm/dd XXXXXXXXXX	24:00:00	XXXXXXXXXX
aa/mm/dd XXXXXXXXXX	24:00:00	XXXXXXXXXX

PAG ANTERIOR



Las alarmas a visualizar son las siguientes:

Alarma 1. Presión del circuito de condensación alta. Revisar filtros.

Alarma 2. Presión del circuito de circulación alta. Revisar filtros.

Alarma 3. La temperatura del tanque de enfriamiento es mayor de cierto valor.

Alarma 4. No hay flujo de agua por el circuito de circulación. Revisar purga bomba de circulación.

Alarma 5. No hay flujo de agua por el circuito de condensación. Revisar purga bomba de condensación.

Estas son las alarmas mas representativas del proceso cuando estas se activan se enciende una baliza que informa a la planta en general de la alarma y la pantalla informa la variable como tal que se debe intervenir para reajustar el sistema.

8 RESULTADOS

De acuerdo a los objetivos fijados al iniciar este proyecto, se consiguieron los siguientes resultados:

1. Se estudio completamente el sistema de refrigeración utilizado en el proceso de extrusión y después de un análisis completo se identificaron las variables y alarmas más importantes para su respectiva manipulación en el software.
2. Se selecciono la instrumentación utilizando como criterio de selección sus características físicas y eléctricas tomando su costo como una variable sorteable por el cliente, según el P&ID levantado para el autor se definió el numero de elementos y ubicación de ellos.
3. Se diseño el software para el automatismo del plc con la plataforma Twido suite asignando bits como elementos de control y supervisión para direccionar cada una de las alarmas. El software también arranca los motores del sistema en secuencia de importancia y funciona de forma automática sin deshabilitar la posibilidad de una operación manual.
4. Se diseño la interfaz con el software Vijeo-Designer para ser programada cargada en una Magelis o dejando abierta la posibilidad de utilizar un pc normal con un sistema operativo adecuado a los equipos. Adicional a esto la HMI es amigable, didáctica, clara y con un listado de alarmas que muestra la ubicación de la falla facilitando el mantenimiento del sistema.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.0 CONCLUSIONES

- Conocer y entender el proceso de refrigeración implementado en Extrucol SA fue una parte fundamental para identificar cada uno de los dispositivos necesarios para la ejecución de dicho proceso, adquiriendo el conocimiento suficiente para determinar cada una de las variables que intervienen en el mismo.
- Se seleccionaron los instrumentos que cumplieran con los parámetros de operación del sistema tales como: Tipo de señal de salida, Grado de protección, Rango de Medida, Tipo de alimentación, Tipo de entorno, Tipo de fluido de trabajo y Temperatura del fluido de trabajo, para que el funcionamiento de estos fuese efectivo, permitiendo así, que la ejecución del sistema fuera óptima.
- Se seleccionó el sistema de control adecuado como parte fundamental para la realización del proceso de mejoramiento en la automatización del proceso de refrigeración de Extrucol SA. Teniendo en cuenta que tanto las rutinas de supervisión, control como las de accionamiento de los dispositivos, debían optimizar el desarrollo del proceso a un bajo costo y flexibilidad en cuanto a futuras ampliaciones del sistema se refiere. En base a estos argumentos se seleccionó un controlador lógico programable marca TWIDO el cual está destinado para instalaciones sencillas y pequeñas máquinas compactas, y también el módulo gráfico Magelis HMISTU855 ya que facilita la visualización de los eventos, teniendo en cuenta también sus características de ahorro de espacio, de simplicidad y de competitividad, por tal motivo se realizó el enlace de los dos dispositivos anteriormente mencionados para un funcionamiento conjunto con el fin de ofrecer una solución que facilitara tanto la instalación de los equipos como la interfaz hombre máquina, obteniendo un producto con los requerimientos exigidos por Extrucol SA.
- La principal razón para impulsar este proyecto fue la ubicación de fallos gracias a la instrumentación propuesta ya que sectorizar la falla facilita el mantenimiento y disminuye los tiempos muertos en fabricación por motivo de averías en el proceso de enfriamiento.

9.1 RECOMENDACIONES

- La única recomendación citada en este proyecto es la implementación por parte de la empresa Extrucol S.A del sistema diseñado por el autor para la protección y optimización del sistema de enfriamiento de su proceso de extrusión de tubería con el fin de evitar pérdidas en tiempo y materia prima.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. Creuss, Sole, José Antonio. Instrumentación Industrial. Editorial AlfaOmega. Año 1999.
2. García, Emilio. Automatización de procesos industriales. Editorial AlfaOmega. Año 1998.
3. Colclima. Manual de mantenimiento chiller CWW-080-S2.
4. Torres de enfriamiento. Disponible en: www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/torres-enfriamiento.htm.
5. Presión Manométrica. Disponible en: www.monografias.com.
6. Dispositivos electrónicos SIEMENS. Disponible en: www.siemens.com.
7. Dispositivos electrónicos Schneider Electric. Disponible en: www.schneider-electric.com.
8. Catalogo instrumentos electrónicos Danfoss. Disponible en: www.danfoss.com.
9. Catalogo instrumentos electrónicos Kobold. Disponible en: www.kobold.com.

11 ANEXOS