

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTO
PARA UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
INDUSTRIAL

RAÚL FERNANDO BERMÚDEZ GIRALDO
CÉSAR AUGUSTO MOSQUERA ARCO
JOSÉ DAVID PÉREZ VALENCIA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2013

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTO
PARA UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
INDUSTRIAL

RAÚL FERNANDO BERMÚDEZ GIRALDO
CÉSAR AUGUSTO MOSQUERA ARCO
JOSÉ DAVID PÉREZ VALENCIA

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico.

Director
José Agustín Muriel Escobar
Ingeniero Mecánico, M.Sc.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, octubre de 2013

Dedicatoria

Los autores Raúl Fernando Bermúdez Giraldo, César Augusto Mosquera Arco y José David Pérez Valencia dedican este proyecto:

Primeramente a Dios por darnos la fuerza para seguir adelante con nuestros estudios, a nuestros padres por su apoyo incondicional y a todos aquellos que han contribuido para que este trabajo fuese toda una realidad.

Agradecimientos

Los autores de este proyecto Raúl Fernando Bermúdez Giraldo, César Augusto Mosquera Arco y José David Pérez Valencia, expresan sus más sinceros y profundos agradecimientos a:

A Dios todo poderoso, gracias a Él hemos logrado llevar a feliz término este proyecto, y de esta forma alcanzar esta meta tan importante en nuestras vidas.

A nuestro director, ingeniero William Prado Martínez por su valiosa colaboración y acompañamiento en el proyecto.

Al apreciado ingeniero Edward Leandro Ríos, por su colaboración y compromiso durante el proceso.

A nuestro asesor, ingeniero Jose Agustín Muriel Escobar, sin su apoyo, participación, sabiduría y colaboración no hubiera sido posible.

Al ingeniero Ricardo Silva, asesor externo, quien nos ayudó con toda la parte de eléctrica y electrónica.

A Luis Gañan y Saúl Erazo, asesores, por su disponibilidad de tiempo y suministro de información.

Al Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial SENA de Dosquebradas, por apoyar nuestra idea y permitir la realización de este proyecto.

Al laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira y al inmenso apoyo brindado por el señor Leodilber Daza en la ejecución de este proyecto.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional y económico.

CONTENIDO

	Pág.
0. INTRODUCCIÓN	13
1. TÍTULO	14
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.2 FORMULACIÓN	15
2.3 SISTEMATIZACIÓN	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. MARCO DE REFERENCIA	19
5.1 ESTADO ACTUAL	19
5.2 MARCO HISTÓRICO	26
5.3 MARCO CONTEXTUAL	27
5.4 MARCO CONCEPTUAL	28
6. DISEÑO METODOLÓGICO	30
6.1 CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	30
7. PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROYECTO	33
8. RESULTADOS	34
8.1 ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DEL SISTEMA MECÁNICO	34
8.1.1 SISTEMA ELÉCTRICO	34
8.1.2 SISTEMA MECÁNICO	38
8.2 CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES OPERATIVAS DEL SISTEMA TÉRMICO	40
8.3 SELECCIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	47
8.4 DISEÑO DE PROGRAMACIÓN DEL PLC Y HMI	48
8.4.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC	50
8.4.2 PROGRAMACIÓN DEL HMI	55
8.5 VISUALIZACIÓN SCADA	62
8.5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN SCADA	62
8.5.2 PANTALLA PRINCIPAL VISUALIZACIÓN DEL SCADA	67

8.6 LISTA DE MATERIALES Y COSTOS	71
9. CONCLUSIONES	72
10. BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Estado actual del cuarto frio	20
Tabla 2 Cronograma de actividades	32
Tabla 3 Tabla Psicométrica de humedad	43
Tabla 4 Configuración interruptores <i>minidip</i>	46
Tabla 5 Datos técnicos pantalla <i>TP 177 MICRO</i>	55
Tabla 6 Materiales utilizados en el proyecto	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Cuarto frio	19
Figura 2 Unidad condensadora	21
Figura 3 Evaporador	21
Figura 4 Motor ventilador condensadora	22
Figura 5 Tablero eléctrico	22
Figura 6 Presostatos de presión	23
Figura 7 Recibidor de líquido	24
Figura 8 Separador de aceite	24
Figura 9 Válvula de expansión	25
Figura 10 Válvula reguladora de presión	25
Figura 11 Controlador EKC 100 <i>Danfoss</i>	35
Figura 12 Planos eléctricos de potencia	36
Figura 13 Planos eléctricos de control	37
Figura 14 Cofre eléctrico de control	38
Figura 15 Sistema de refrigeración industrial	39
Figura 16 Medidor de voltaje	44
Figura 17 Medidor de corriente	44
Figura 18 Módulo análogo <i>EM231 PLC S7-200</i>	45
Figura 19 Esquema de conexión módulo EM231	46
Figura 20 Modulo Ethernet	47
Figura 21 Protocolo PPI	48
Figura 22 <i>PLC Siemens S7-200</i>	49
Figura 23 Entorno de trabajo <i>STEP7 MicroWin</i>	50
Figura 24 Asignación de variables en la tabla de símbolos	51
Figura 25 Líneas de trabajo <i>STEP7 MicroWin</i>	51
Figura 26 Uso de temporizadores en <i>STEP7 MicroWin</i>	52
Figura 27 Captura de señal análoga en <i>STEP7 MicroWin</i>	52
Figura 28 Simulación del cuarto frio	53
Figura 29 Pantalla <i>TP177 MICRO</i>	54
Figura 30 Asistente de proyectos de <i>WinCC Flexible</i>	57
Figura 31 Selección de pantalla en <i>WinCC Flexible</i>	57
Figura 32 Nuevo proyecto creado en <i>WinCC Flexible</i>	58
Figura 33 Configuración parámetros de comunicación	59
Figura 34 Habilidad de pantalla para transferencia	60
Figura 35 Transferencia de proyecto desde <i>WinCC Flexible</i>	60
Figura 36 Selección paneles de operador de transferencia	61
Figura 37 Estado de transferencia	61
Figura 38 Pantalla de inicio	63

Figura 39 Pantalla de acceso a pantalla principal e integrantes	64
Figura 40 Pantalla integrantes del proyecto	64
Figura 41 Pantalla principal	65
Figura 42 Pantalla de proceso	66
Figura 43 Pantalla de alarmas	66
Figura 44 Entorno de Trabajo de <i>indusoft</i>	68
Figura 45 Pantalla de Monitoreo	69
Figura 46 Pantalla de Programación de Variables	69
Figura 47 Pantalla Inicio y Control	70
Figura 48 Pantalla Alarmas	70

GLOSARIO

CADENA DE FRÍO: La cadena de frío es un conjunto de sistemas y elementos unidos para permitir mantener una temperatura óptima de los productos alimenticios después de su producción hasta ser consumidos; de esta manera consecutiva se maneja la cadena de frío:

Refrigeración (o congelación) a nivel de la producción.

Refrigeración (o almacenamiento de productos congelados) a nivel de almacenamiento.

Transporte bajo temperatura dirigida en función de la temperatura del producto transportado (refrigerado o congelado).

El frío a escala de la distribución.

El frío en casa del consumidor.

Este funcionamiento es reglamento de constante evolución, el buen desempeño de la “cadena de frío” tiene una influencia primordial sobre la calidad de los alimentos distribuidos y la protección del consumidor. La magnitud física fundamental para su medición es la TEMPERATURA, ésta debe mantenerse a un valor lo más constante posible en el transcurso de las operaciones que constituyen esta cadena de frío. [1]

HMI: *Human Machine Interface*, interfaz humano-máquina, los sistemas *HMI* pueden ser pensados como una ventana de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas *HMI* en computadoras se les conoce también como *MMI* o de monitoreo y control de supervisión. [2]

PLC: Los Controladores Lógicos Programables o *PLC (Programmable Logic Controller)* son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial y en control de procesos industriales. Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. [3]

REFRIGERACIÓN: La refrigeración de un producto es el proceso de bajar o mantener el calor de un cuerpo o un espacio. La refrigeración frena los fenómenos vitales de los tejidos vivos, como lo son las frutas y las verduras; y de los tejidos muertos retardando el metabolismo bioquímico. La refrigeración retrasa

notablemente la evolución microbiana y las consecuencias de la misma como la putrefacción, toxinas entre otras. [4]

SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO: Los sistemas de control eléctrico, para los equipos de refrigeración están definidos como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados; ayudando así a mantener a un equipo de refrigeración/calefacción dentro de los rangos de temperatura establecidos, logrando conservar los productos dentro de los rangos establecidos para garantizar su buen desempeño. [5]

SISTEMA SCADA: Los sistemas *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)* son *software* que facilitan la toma de datos de un proceso para poder realizar supervisiones en el control del mismo; la conexión es realizada desde la parte física (proceso) hacia un ordenador (servidor de información) el cual se encarga de recibir la información que es requerida por el *software* para garantizar el monitoreo constante, éste recibe información de los comandos que se encuentran en contacto con el proceso, esta conexión es por medio de redes de telecomunicaciones entre el servidor (ordenador central) a los dispositivos de campo (controles). Es decir que es necesario que estos dispositivos de campo tengan conectividad. Los dispositivos de campo que tienen conectividad generalmente "hablan" en un protocolo *Standard* determinado por el fabricante del *Software*. [3]

0. INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una estrecha relación entre los sistemas de control y la informática. Dentro de las interfaces hombre máquina desarrolladas en la actualidad se pasó de un simple tablero de luces indicadores a un computador de trabajo el cual lleva consigo instalada una herramienta de control y supervisión *SCADA* que, en asocio con un *PLC*, permiten tener en tiempo real la ejecución de cualquier actividad en distintos procesos y con la ventaja adicional de poder realizar una supervisión desde un punto remoto a los dispositivos involucrados en dicho proceso e integrándolos a redes de comunicación.

Este proyecto se basa en la implementación de un sistema de supervisión, adquisición y control de datos de un cuarto frío, que se encuentra ubicado en las instalaciones del SENA de Dosquebradas. Para este propósito se usó tecnología de punta en *hardware* que permite la implementación de *software* optimizando el rendimiento del proceso de refrigeración.

1. TÍTULO

Implementación de un sistema de supervisión y control remoto para un sistema de refrigeración industrial.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se identificó que para empresas que contemplen la conservación de productos alimenticios, medicinales, entre otros, que necesiten condiciones de temperatura y humedad relativa controladas, se requiere de sistemas de refrigeración y aire acondicionado de muy altas características, además, de un sistema que supervise y controle permanentemente estas variables.

En empresas que no cuentan con sistemas aptos para la medición de estos parámetros provenientes de los equipos, no existe la posibilidad de determinar la correcta operación de éstos ni el estado de los productos que están conservando.

El problema radica en que gran parte de estas compañías no cuentan con equipos, ni sistemas que realicen estas mediciones, motivo por el cual no puede realizarse la supervisión del proceso de refrigeración ni del producto que se encuentra dentro de las cámaras, cuartos o túneles que hacen parte de éste. La dificultad, radica entonces, en la ausencia de un sistema que permita ejercer la supervisión y control sobre los equipos estando fuera de su área o fuera de la planta, en caso de que se presente un problema de urgencia.

2.2 FORMULACIÓN

¿Es importante contar con un sistema de supervisión y control en tiempo real que permita a las empresas supervisar y controlar procesos industriales, teniendo la posibilidad de programar un módulo de alarmas que anuncie constantemente en qué condiciones se encuentra el sistema; todo esto fuera de la planta de proceso?

2.3 SISTEMATIZACIÓN

En el transcurso de la ejecución del proyecto se dará respuesta a algunas preguntas que permitirán obtener la mejor alternativa para la solución del problema. A continuación, algunas de estas preguntas:

- ¿Cuáles son las variables que caracterizan el problema?
- ¿Quiénes han trabajado sobre el problema y qué resultados han obtenido?
- ¿Quiénes se ven afectados por el problema y desde cuándo?

3. JUSTIFICACIÓN

La aplicación implementada (*SCADA*) facilita la forma de evaluar, configurar y almacenar continuamente datos de temperatura, humedad, corriente y voltaje de todo un sistema industrial; permitiendo modificar remotamente los parámetros de las unidades controladoras (*PLC*), por medio de una aplicación vía web, a través de un computador o un teléfono celular.

Con el desarrollo de este proyecto se busca mejorar las condiciones de ejecución del proceso, optimizando la disposición al instante de la recopilación de los datos y la atención oportuna a las fallas presentadas en el proceso por medio del módulo de alarma que tendrá disponible.

El sistema propuesto opera bajo tres módulos que garantizan el buen desarrollo del mismo: supervisión constante de los datos, control permanente de las variables a registrar, acceso directo de control sobre los equipos y alarmas que determinan en qué momento se están presentado dificultades en los sistemas.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de supervisión y control automatizado de variables termodinámicas en sistemas de refrigeración industrial.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adecuar el sistema eléctrico y mecánico de un cuarto frío industrial.
- Caracterizar las variables operativas del sistema térmico y del sistema de refrigeración industrial.
- Seleccionar el protocolo de comunicación a implementar.
- Diseñar la programación del *PLC* y *HMI*.
- Implementar la visualización del funcionamiento del cuarto con la implementación del *HMI*, a través de un sistema *SCADA*.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 ESTADO ACTUAL

El cuarto frío de la figura 1, utilizado para poner en funcionamiento la aplicación *scada*, se encuentra ubicado en el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial Sena de Dosquebradas, el equipo en mención se encontró desconectado eléctricamente y parte de sus elementos mecánicos se encontraron desconectados.

Figura 1 Cuarto frío



Fuente: Autores

El siguiente es el diagnóstico que se realizó al cuarto en las instalaciones del Sena. La tabla 1 muestra un informe muy generalizado sobre el estado en el que se encontró el cuarto frío.

Tabla 1 Estado actual del cuarto frío

Cantidad	Tipo de Equipo	Estado			Marca	Modelo	Voltaje	Refrigerante que utiliza	Observaciones
		Bueno	Regular	Malo					
1	Unidad Condensadora	X			---	---	---	R-22	---
1	Evaporador		X		Luve	---	---	---	---
1	Motor ventilador condensadora	X			Elco	No tiene	220	---	Aspa de 14" en buen estado
3	Motores ventiladores evaporador		X		Elco	34W	220	---	Aspa de 10" en buen estado
0	Resistencia de carter (motor)	---	---	---	No tiene	---	---	---	---
0	Resistencia evaporador	---	---	---	No tiene	---	---	---	---
1	Contactador de potencia U. Condensadora		X		Allen Bradley (AB)	---	Bobina 110	---	Se perciben en estado reguar (20A)
1	Contactador de potencia U. Evaporadora		X		Allen Bradley (AB)	---	Bobina 110	---	Se perciben en estado reguar (20A)
1	Contactador resistencias		X		Allen Bradley (AB)	---	Bobina 110	---	Se perciben en estado reguar (20A)
1	Cableado eléctrico			X	No tiene	---	---	---	Alambrar nuevamente
1	Sensor de temperatura		X		Danfoss	EKF 201	220	---	Se encuentra presentado pero desconectado
0	Sensor de humedad	---	---	---	No tiene	---	---	---	---
0	Plc	---	---	---	No tiene	---	---	---	---
2	Interruptores	X					220	---	Un interruptor de selección (manual, automatico); un interruptor general
5	Alarmas	---	---	---	Tipo piloto	---	---	---	Desconectadas
0	Valvulas de paso	---	---	---					
1	Compresor	X			Copeland	KAJB-D100-CAV 200	220	R-22	Revisión del sistema eléctrico-chequeo de funcionamiento mecánico
1	Condensador serpentín	X			---	---	---	---	En buen estado, aspas sin arrugaciones, conexiones de entrada y salida en buen
1	Presostato de alta		X		Danfoss	Kp 15	---	R-22	Realizar revisión detallada con el equipo presurizado
1	Presostato de baja		X		Danfoss	Kp 12	---	R-22	Realizar revisión detallada con el equipo presurizado
1	Recibidor de líquido	X			---	---	---	R-22	Conexiones 3/4 de pulgada
1	Separador de aceite	X			---	---	---	R-22	Conexiones de entrada y salida de 1/2" y retorno al compresor en 1/4"
1	Serpentín evaporador		X		Luve	SHS 18N AEROEVAP	---	---	Se encontro el serpentín un poco deteriorado, aspas arrugadas
1	Valvula de expansión	X			Danfoss	Para R-22	---	R-22	Revisar el tipo de orificio que se esta manejando para determinar si es correspondiente a la capacidad del equipo
0	Deshumidificador	---	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Autores

- **Unidad condensadora:** La unidad condensadora de la figura 2 está conformada por un compresor semihermético, marca Copeland de la serie Copelametic, se toman las presiones del sistema y este se encontró descargado al parecer por una fuga en la tubería.

Figura 2 Unidad condensadora



Fuente: Autores

- **Evaporador:** Evaporador de alta silueta (figura 3), calculado para conservación de alimentos, el evaporador tiene dos motores ventiladores de 34W con aspas de 12", conexiones (entrada y salida).

Figura 3 Evaporador



Fuente: Autores

- **Motor ventilador condensadora:** Verificar el estado de funcionamiento de este equipo (figura 4), y que esté cumpliendo con la función específica (disipación de temperatura del condensador).

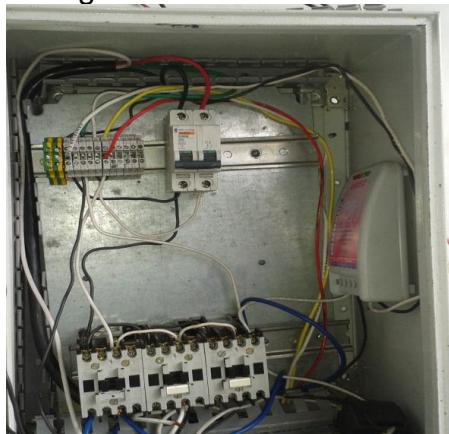
Figura 4 Motor ventilador condensadora



Fuente: Autores

- **Resistencia de Carter:** En la revisión que se realizó en el levantamiento del diagnóstico no se encontró en el equipo (compresor) este elemento que es el encargado de mantener una temperatura ideal entre el aceite y el refrigerante al momento en el que el sistema está parado por más de 4 horas.
- **Tablero eléctrico de conexiones:** En la revisión que se realizó se encontraron las conexiones eléctricas del equipo desconectadas (figura 5), algunos de los elementos necesarios para garantizar un tablero eléctrico en óptimas condiciones están allí.

Figura 5 Tablero eléctrico



Fuente: Autores

- **Control de temperatura:** El control de temperatura que se encontró instalado esta desconectado, por tal motivo no se determinó si se encontraba en buen estado o le hace falta algo para ponerlo en marcha; para la restructuración de este nuevo sistema no se necesita este tipo de controlador ya que todo se maneja por medio del *PLC* y sensores.
- **Interruptores:** existen 2 interruptores. Un interruptor de selección manual o automático y un interruptor configurado como interruptor general todos dos se encontraron desconectados.
- **Alarmas:** existen 5 alarmas visuales. Piloto solenoide, piloto descongela, alarmas de presión, alarmas de temperatura y alarmas de corriente. Todas se encuentran desconectadas.
- **Presostatos de presión (alta y baja):** El sistema de refrigeración tiene conectados los presostatos de presión tanto el de alta presión (descarga) como el de baja presión (succión), no se logró determinar el estado de los mismos ya que el equipo no se encuentra presionado con carga de refrigerante (figura 6).

Figura 6 Presostatos de presión



Fuente: Autores

- **Recibidor de líquido:** En el sistema se encontró conectado (figura 7); al momento de presurizar el sistema se realizó la revisión de posibles fugas a la entrada y la salida de este equipo.

Figura 7 Recibidor de líquido



Fuente: Autores

- **Separador de Aceite:** En el sistema se encontró conectado; al momento de presurizar el sistema se realizó la revisión de posibles fugas a la entrada y la salida de este equipo.

Figura 8 Separador de aceite



Fuente: Autores

- **Válvula de expansión:** El equipo en este momento tiene válvula de expansión instalada, figura 9, es una válvula para refrigerante R-22 de igualación interna especial para equipos de conservación, el sensor o bulbo está conectado en la disposición ideal lo cual dará por entendido que se encuentra en buen estado.

Figura 9 Válvula de expansión



Fuente: Autores

- **Válvula reguladora de presión por línea de alta:** La válvula reguladora de presión por la línea de alta se encontró conectada, figura 10.

Figura 10 Válvula reguladora de presión



Fuente: Autores

5.2 MARCO HISTÓRICO

Los sistemas *SCADA* (*Supervisory Control And Data Acquisition*) fueron originalmente desarrollados en una época en la que las tecnologías de la información estaban centradas en grandes *mainframes*. Las redes de computadoras eran algo anecdótico.

Los primeros *SCADA* eran sistemas de telemetría, que proporcionaban reportes periódicos de las condiciones de campo vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas. Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador en el proceso estaba basada en los contadores y las lámparas detrás de tableros llenos de indicadores. Mientras la tecnología se desarrollaba, las computadoras asumieron el papel de manejar la recolección de datos, disponiendo comandos de control, y de una presentación de la información sobre una pantalla de video. Las computadoras agregaron la capacidad de programar el sistema para realizar funciones de control más complejas. [6]

En este escenario los primeros *SCADA* se concibieron como aplicaciones autónomas, sin prácticamente conectividad externa. Se crearon redes *WAN* (*Wide Area Network*) específicas para conectar con los *RTU'S*. Estos protocolos eran desarrollados por los propios vendedores de *RTU'S* y estaban totalmente limitados al catálogo y a las restricciones del fabricante.

La conexión con el centro de control solía realizarse a su vez mediante buses propietarios. Si se requería redundancia en el sistema la solución típica era duplicar cada componente, dejando el sistema secundario en segundo plano, monitorizando al principal para tomar el control en caso de error.

La siguiente generación de *SCADA* se benefició de los avances en redes locales para distribuir el proceso a través de múltiples sistemas. Varias estaciones, cada una de ellas con funcionalidades específicas, se conectaban entre sí mediante una red *LAN* y compartían información en tiempo real. Algunas de estas estaciones operaban como procesadores de comunicaciones, generalmente interactuando con los *RTU'S* o *PLC'S*, otras lo hacían a modo de interfaz, proporcionando lecturas a los operarios, y había un tercer grupo que hacía las veces de gestor de bases de datos. La distribución de funcionalidades proporcionaba un mayor poder de procesado al sistema. Sin embargo muchos de los protocolos de red seguían siendo propietarios, y eran diseñados para conectar a los diferentes componentes

del sistema, lo que limitaba mucho las posibilidades de interacción con el exterior. Así mismo, la mayoría de estructuras *WAN* desplegadas para comunicar dispositivos de campo en la anterior generación de sistemas *scada* permanecían inalteradas.

La generación actual de *SCADA* está muy relacionada con la anterior, siendo la principal diferencia la tendencia a migrar a arquitecturas abiertas más que a entornos propietarios sujetos a vendedores específicos. Aún hay multitud de tipos de red, y aún hay varios *RTU'S* con protocolos propietarios; pero esta tercera generación muestra una marcada tendencia a la estandarización, lo que está haciendo posible distribuir funcionalidad a través de redes de área global, y no sólo en redes de área local. Esto supone la ventaja añadida de que en caso de desastre grave no se pierde la totalidad del sistema.

Esta “apertura” del mercado ha motivado que la mayoría de vendedores de soluciones *scada* utilicen ahora soluciones de *hardware* de fabricantes dedicados (como HP, Sun, entre otros.) y se dediquen a profundizar en el *software* que gobierna dichos equipos. [7]

La mayoría de los sistemas *SCADA* que son instalados hoy se está convirtiendo en una parte integral de la estructura de gerenciamiento de la información corporativa. Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia simplemente como herramientas operacionales, sino como un recurso importante de información. En este papel continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, pero también proporcionan datos a los sistemas y usuarios fuera del ambiente del centro de control que dependen de la información oportuna en la cual basan sus decisiones económicas cotidianas. La mayoría de los vendedores principales de *SCADA* han reconocido esta tendencia, y están desarrollando rápidamente métodos eficientes para hacer disponibles los datos, mientras protegen la seguridad y funcionamiento del sistema *SCADA*. La arquitectura de los sistemas de hoy integra a menudo muchos ambientes de control diferentes, tales como tuberías de gas y aceite, en un solo centro de control.

5.3 MARCO CONTEXTUAL

El proyecto se realizó en las instalaciones del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial Sena en la ciudad de Dosquebradas, Risaralda.

5.4 MARCO CONCEPTUAL

Existe un tipo especial de programas que sirven para efectuar funciones de adquisición de datos control y supervisión sobre los *PLC'S* y su nombre en el mercado es *SCADA*. Se le da el nombre de *SCADA*, a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. Los sistemas de supervisión de control y adquisición de datos permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema. [8]

Los sistemas *SCADA* utilizan el computador y las tecnologías de comunicación para realizar el monitoreo y control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o geográficamente dispersos, ya que pueden registrar información a alta velocidad de múltiples fuentes, y la presentan a un operador en una forma amigable. Los sistemas *SCADA* mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. [3]

Los objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada son los siguientes:

- Funcionalidad completa de manejo y visualización en sistema *Windows* sobre cualquier PC estándar.
- Arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario, que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas.
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar y con interfaces amigables con el usuario.
- Permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción.
- Ser independiente del sector y la tecnología.
- Fácilmente configurable y escalable, debe ser capaz de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Funciones de mando y supervisión integradas.
- Comunicaciones flexibles para poder comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).

Los sistemas SCADA se conciben principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Entre sus objetivos principales podemos destacar:

- **Economía:** Es más fácil ver que ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones son innecesarias.
- **Gestión:** Todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras mediante herramientas estadísticas, graficas, valores tabulados, etc. Que permitan explotar el sistema con el mejor rendimiento posible.
- **Flexibilidad:** Cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización no significa un gasto en tiempo y medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran la instalación de un cableado.
- **Conectividad:** Se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores.
- **Ergonomía:** Es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible. Los modernos ordenadores, con sus prestaciones gráficas, intentan sustituir a los grandes paneles, llenos de cables, pilotos y demás aperallaje informativo. [9]

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Para el buen desarrollo del proyecto en general se van a usar las herramientas proporcionadas por el método de investigación descriptiva, que pretende ubicarse en el presente o en la actualidad del tema a tratar y de manera aplicada para lograr realizar un diseño adecuado y conforme a las necesidades reales del contexto, basado en los conocimientos teóricos obtenidos.

Se realizará recolección de información con base en experiencias de diferentes empresas que conserven alimentos, estando estas involucradas directamente en el tema, experiencias obtenidas por parte de la industria e información que suministren los técnicos en este campo.

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán las teorías y tecnologías aplicadas en:

Sistemas de Refrigeración.

- Descripción del ciclo térmico de los equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Especificaciones técnicas equipos de refrigeración.
- Variables importantes a controlar.
- Principios básicos de aplicación al control de la Humedad Relativa.

Controles eléctricos

- Controladores lógicos programables.
- Conexión de sistemas de control a potencia.
- Programación de *PLC*.
- Exportación de datos del *PLC*.

Redes y comunicaciones.

- Tipos de redes usualmente empleadas.
- Protocolos de comunicación.

Programación.

- Manejo de *software* empleado en este tipo de sistemas.

Fuentes de Información.

Para el desarrollo adecuado del proyecto, inicialmente se realizará una recolección de datos mediante fuentes secundarias tales como, documentos impresos ya analizados e información tomada de Internet; posteriormente se realizará una recolección de datos mediante fuentes primarias, tales como, contactos y entrevistas con personas, objetos e instalaciones realizadas, involucradas directamente en el tema de investigación.

Etapas del proyecto y medición de resultados.

Las etapas del proyecto se establecen de la siguiente manera:

- Inicialmente se realizará una investigación detallada acorde al objetivo general del proyecto.
- Conforme se realice la investigación, se establecerán las normatividades a seguir, satisfaciendo los objetivos del proyecto; mediante listas de chequeo se verificarán que se cumpla cada ítem establecido previamente.
- En el cronograma de la Tabla 2, se explica de manera específica los pasos o etapas que contiene el proyecto en general.

Tabla 2 Cronograma de actividades

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	2 al 30 Diciembre	8 al 16 Enero	17 al 26 Enero	02 al 28 Febrero	02 al 30 Marzo	02 al 30 Abril
<ul style="list-style-type: none"> Adecuación del sistema eléctrico y mecánico del sistema de refrigeración industrial. Caracterización de las variables operativas del sistema de refrigeración industrial. 	Revisión detallada del sistema de automatización presente del cuarto.						
	Selección de variables a supervisar y controlar de que tipo análogas o digitales.						
	Selección del tipo de sensores y PLC a implementar.						
Selección del sistema de adquisición y supervisión de variables más adecuado para el proyecto.	Selección del software utilizado para extraer los datos del PLC.						
	Elaboración de interface en donde se opera el equipo.						
	Sincronización de la aplicación con el PLC y estos con el equipo.						
Conexión y programación del sistema de adquisición de datos, con el cuarto, y la aplicación SCADA.	Programación de los parámetros a controlar de acuerdo a un proceso específico.						
	Adecuación de la aplicación para subir a la nube, servidor local.						
	Ejecución de pruebas.						
	Funcionamiento del proyecto.						

Fuente: Autores

7. PERSONAS QUE PARTICIPAN EN EL PROYECTO

La responsabilidad principal del proyecto recae sobre sus autores Raúl Fernando Bermúdez Giraldo, César Augusto Mosquera Arco y José David Pérez Valencia, como parte del requisito para optar al título de ingeniero mecatrónico.

Director del proyecto

Ingeniero William Prado Martínez.

Asesores principales del proyecto

Ingeniero Mecánico M.Sc. José Agustín Muriel Escobar

Ingeniero Electricista Ricardo Silva Cárdenas

8. RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron con la implementación de este proyecto cumplieron con todas las expectativas que se tenían pautadas. Se realizó un informe detallado donde se explican específicamente las etapas del proyecto.

8.1 ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DEL SISTEMA MECÁNICO

Debido a que el cuarto frío se encontró desconectado (eléctrica y mecánicamente), se tuvo que realizar la adecuación del cuarto frío para la implementación del proyecto.

8.1.1 SISTEMA ELÉCTRICO

Se realizó la revisión del sistema eléctrico de los equipos con el fin de verificar bajo qué normas o parámetros se encontraba definido el nivel de automatización, se encontró gran parte de la red eléctrica del sistema desconectada, además de esto no cuenta con ningún tipo de diseño eléctrico efectuado y avalado por un profesional en el área.

La revisión se realizó con base a criterios técnicos que son regidos por entidades que avalan el buen desempeño por medio de las normas vigentes para este tipo de instalaciones, para lo cual se determinó lo siguiente:

- No cuenta con sistema de seguridad industrial (riesgos eléctricos).
- No se tiene claridad sobre las normas o criterios con que fue desarrollado el sistema eléctrico.
- Las condiciones operativas del sistema eléctrico actual no son las mejores y no cumplen técnicamente con lo requerido.
- No se cuenta con esquemas ni físicos ni digitales del cómo se encuentra dispuesto el sistema de control y de potencia dentro del tablero eléctrico, ya que no poseen demarcación de colores entre potencia y control.

Se encontraron grandes dificultades en los puntos antes mencionados, pero también se evidencia que las instalaciones no cuentan con señalización adecuada para las áreas en donde se genera alta tensión.

En relación a lo técnico se encontró que el sistema de control instalado (contactores, relés eléctricos y relés térmicos) no se encuentran marcados, y la distribución de las redes eléctricas (acometidas de alimentación en general) no llegan al tablero con los requerimientos necesarios, debe de llegar con clavija de seguridad industrial para prevenir accidentes.

Se encontraron bien calculadas las acometidas eléctricas en relación a los consumos generados por cada uno de los equipos que conforman el equipo de refrigeración; el sistema de conexión hacia los equipos es descentralizado (equipos uno a uno, independientes), esto con el fin de poder generar control individual sin dependencias, ganando así la oportunidad de operar de manera diferente en cada uno de los equipos involucrados en la cadena de frío.

El sistema estaba siendo comandado por un controlador EKC 101 Marca *Danfoss* (figura 11), con el cual configuraban tiempo de trabajo, tiempo de descanso, la descongelación y la temperatura a la cual se quiera que se prenda el equipo o se apague, este elemento también se encontró desconectado.

Figura 11 Controlador *EKC 100 Danfoss*

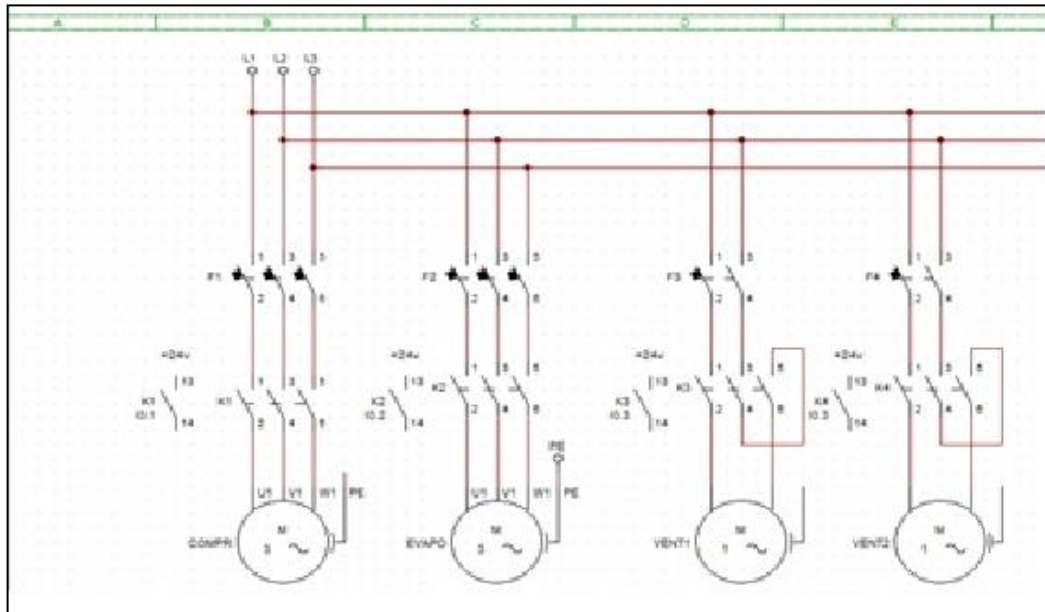


Fuente: Autores

Se realizó la adecuación del sistema eléctrico partiendo por desconectar todo lo que se encontraba cableado en ese momento y diagramar nuevamente el tablero, esto se hizo para la parte de potencia y control.

Haciendo uso del *software CADE SIMU*, un simulador de planos eléctricos, se realizaron los planos de la parte de potencia y respecto a este se inicia con la cableada del cuarto. En la figura 12 se muestra el plano eléctrico del cuarto frío.

Figura 12 Planos eléctricos de potencia



Fuente: Autores haciendo uso del *software CADE-SIMU*

Los componentes principales de esta sección se describen a continuación.

El sistema tiene 4 *breakers* o interruptores de corriente:

- F1: *breaker* tripolar que corta el paso de corriente que va hacia el contactor K1.
- F2: *breaker* tripolar que corta el paso de corriente que va hacia el contactor K2.
- F3 y F4: *breakers* monopolares que cortan el paso de corriente que va hacia los contactores K3 y K4.

El sistema cuenta con 4 contactores, que se distribuyeron de la siguiente manera:

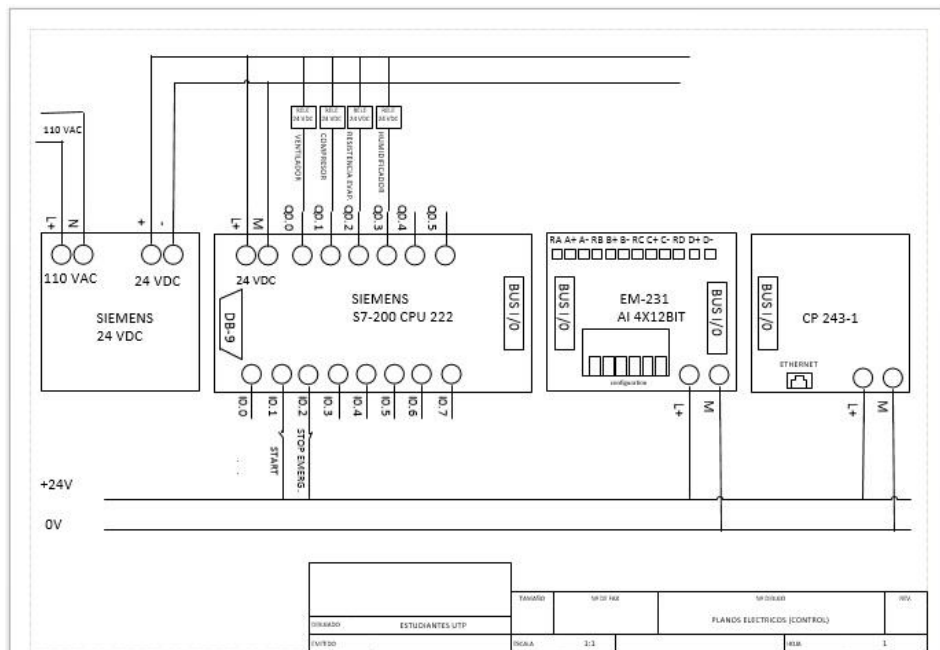
- K1: compresor.
- K2: unidad evaporadora.
- K3 y k4: motores ventiladores evaporador.

El sistema eléctrico de potencia es alimentado a 220 V AC.

Respecto a la parte eléctrica de control, se realizó la adecuación de un cofre independiente al cuarto, ya que el existente no contaba con espacio suficiente y no era posible perforarlo para la adecuación de la pantalla *HMI*.

Los planos eléctricos de la parte de control se diseñaron haciendo uso del *software Microsoft visio 2013*, el cual permite simular entradas y salidas análogas y digitales del *plc*, fuentes de corriente continua *DC*, entre otras. En la figura 13 se puede observar el diseño del plano eléctrico de la parte de control.

Figura 13 Planos eléctricos de control



Fuente: Autores haciendo uso del *software Microsoft visio 2013*

En la figura 14 se puede observar el diseño final del cofre eléctrico de control, basándose en los planos eléctricos que se realizaron anteriormente.

Figura 14 Cofre eléctrico de control



Fuente: Autores

Los componentes principales de esta sección se describen a continuación.

El sistema cuenta con:

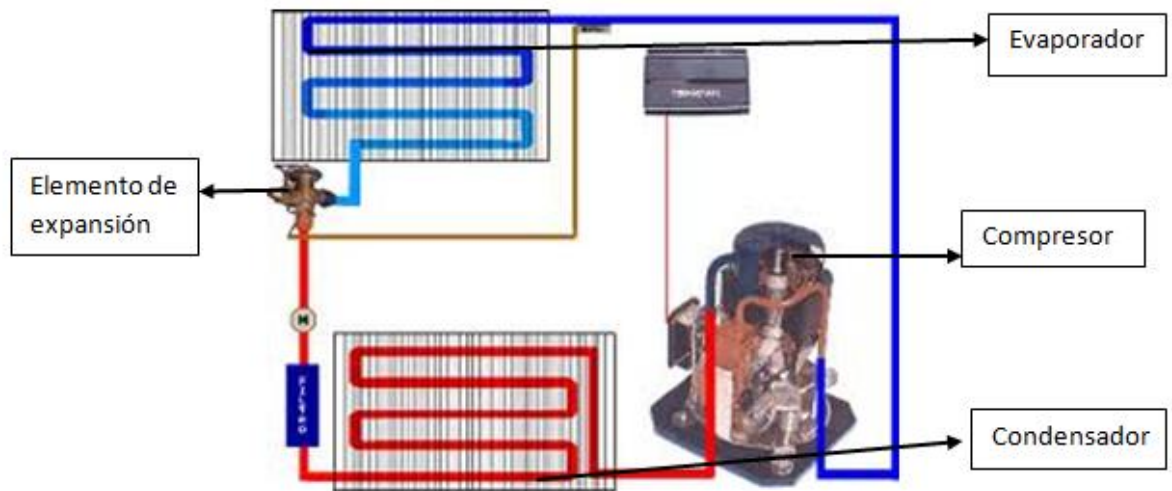
- Fuente de voltaje, 110 V AC a 24 V DC.
- Un *breaker* o interruptor de corriente, que corta el paso de corriente que va hacia la fuente de 110 V AC a 24 V DC.
- *PLC Siemens S7-200*.
- Módulo de expansión análogo del *PLC Siemens S7-200*.
- Módulo de expansión *Ethernet* del *PLC Siemens S7-200*.
- Pantalla *HMI Siemens TP 177 Micro*.
- Control de corriente referencia MT4W-AA-4N para fase.
- Control de voltaje referencia MT4W-AV-4N para fase.
- Borneras.

El sistema eléctrico de control el alimentado a 110 V AC.

8.1.2 SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico del presente proyecto reside en un equipo de refrigeración para conservar productos, es un cuarto frío de 1,5 *HP* (*Horse Power* - caballos de fuerza), que opera con gas refrigerante R-22 y el sistema está compuesto por los elementos básicos de un sistema de frigorífico. Ver figura 15.

Figura 15 Sistema de refrigeración industrial



Fuente: Tecnología de Refrigeración y Aire Acondicionado

Debido a que el equipo de refrigeración no se encontraba funcionando, se realiza el levantamiento del diagnóstico general en donde se evaluó el estado del sistema, y luego de determinar que todos los elementos se encontraban en buen estado se ejecutaron los siguientes pasos en el mismo orden:

- Desconexión del sistema eléctrico existente, para poder identificar elementos de control y elementos de potencia.
- Revisión de los contactores que comandan la potencia de cada uno de los elementos finales del sistema (compresor, motores ventiladores, válvulas).
- Desconexión del sistema de refrigeración para chequear el estado de la tubería.
- Se realizó la revisión detallada de cada elemento mecánico por separado, siguiendo el mismo orden del diagnóstico generado al iniciar la intervención del sistema.
- Se realizó barrido a la tubería tanto de alta como de baja presión del sistema de refrigeración para sacar cualquier partícula de suciedad en la misma previniendo que se vaya al compresor.
- Se presurizo el sistema con nitrógeno para verificar fugas en los elementos de fijación (racores y acoples de válvulas).
- Se descartaron fugas en todo el sistema y se inició el proceso de vacío para poder retirar de las tuberías y del compresor cualquier partícula de humedad que se pueda presentar.

- Se realizó el proceso de ajuste de carga de refrigerante y puesta a punto del sistema de refrigeración, esto es luego de que se descartaran fugas en la tubería (para arrancar el equipo eléctricamente, se ejecuta el arranque directo sin *PLC*, ni arrancadores).
- Se realizaron pruebas sobre el equipo sin que este tuviera control eléctrico, y se verificó que si generara buen frío y que todos los elementos estuvieran acoplados y cumpliendo su función.

Luego de realizar las aplicaciones necesarias para poner el equipo de refrigeración en funcionamiento se procede a realizar el ensamble de todo el sistema eléctrico y de control que se diseñó para que el equipo funcione en óptimas condiciones por medio de un sistema *SCADA*.

8.2 CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES OPERATIVAS DEL SISTEMA

Luego de definir los lineamientos del *SCADA* a implementar se evaluó de manera detallada que variables del medio físico se requerían para poder garantizar la toma de datos por medio del *PLC* para luego ser llevados y puestos en evaluación por la aplicación.

Se seleccionaron las variables necesarias para tener bajo supervisión y control un sistema frigorífico, entregándole al usuario los reportes y alertas cuando el sistema este presentando fallas antes de que esto afecte directamente el producto. Las variables se caracterizaron de dos maneras las cuales se hacen mención a continuación:

- Variables operativas: son aquellas variables que no están inmersas en el proceso con el producto, están ligadas al equipo y la alteración de alguna de estas puede acarrear problemas en el sistema y por último en el producto, estas variables son: presión de refrigerante (medida en *PSI*), corriente del compresor (medida en Amperios) y voltaje del sistema (medida en Voltios).
- Variables de proceso: Son las variables que están implicadas en el proceso de conservación de alimentos y que tienen que ver directamente con el estado del producto, estas variables son: Temperatura (medida en °C) y humedad relativa (medida en %, va de 10% al 100%).

La variación de estas variables en el tiempo está atada de alguna manera a todas aquellas modificaciones o intervenciones que se le realice o le suceda al sistema de refrigeración, por lo cual se debe tener la supervisión y el control de las mismas logrando actuar a tiempo antes de que se generen los fallos.

Al seleccionar el tipo de variables que se tomaran del medio físico se realizó la selección de los sensores que tomaran los datos y los convertirán en valores conocidos por el *PLC* en donde se analizaran y se procesaran, para cumplir con una programación especificada por el usuario.

Selección del tipo de sensores a utilizar

Sensor de temperatura: Para la medición y adquisición de datos de temperatura se usó un sensor muy conocido en el campo de la electrónica, el sensor LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55°C a + 150°C.

El sensor se presenta en diferentes encapsulados, el más usado es el transistor con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo.

La salida es lineal y equivale a 10mv/°C por lo tanto:

- +1500mV = 150°C
- + 250mV = 25°C
- -550mV = -55°C.

Sensor de humedad relativa: Para la medición de la humedad relativa no se consiguió el control integrado que genera esta función debido a su alto costo, por este motivo se realizó la investigación de que otra forma se puede medir húmeda relativa dentro de un recinto y lo que se utilizo fue el principio de Bulbo Seco y Bulbo Húmedo.

El psicrómetro está formado por dos termómetros, que determinan la humedad relativa midiendo la temperatura del ambiente y la temperatura de una fuente de agua en evaporación. El bulbo húmedo está envuelto en un tejido siempre humedecido.

Principio de funcionamiento bulbo seco bulbo húmedo

La evaporación desde la superficie del bulbo húmedo dentro de la corriente de aire enfría el bulbo húmedo hasta una temperatura estacionaria, tal que haya un equilibrio entre el calor perdido por la evaporación y el ganado por la convección y radiación. Esta temperatura depende de la presión, temperatura y humedad de la atmósfera. Así pues cuando se dispone de un valor aproximado de presión, la humedad puede obtenerse a partir de las temperaturas observadas de los bulbos húmedo y seco.

La humedad relativa del aire se calcula a partir de la diferencia de temperatura entre ambos aparatos. El húmedo es sensible a la evaporación de agua, y debido al enfriamiento que produce la evaporación, medirá una temperatura inferior. Si hay poca diferencia entre una y otra temperatura, hay poca evaporación, lo cual indica que la humedad relativa es alta. Si hay mucha diferencia, hay mucha evaporación, lo cual indica que la humedad relativa es baja. En la tabla 3 se muestran los datos exactos de humedad relativa, expresada como un porcentaje con respecto a la saturación.

Los termómetros que se utilizaron en el proyecto fueron dos LM35, la tabla psicométrica fue programada en el *PLC* y por programación matemática en el mismo este hace la diferencia y con el resultado busca el valor correspondiente a la humedad entregando al final el valor de esta en porcentaje %.

Tabla 3. Tabla psicométrica de humedad

Tabla psicométrica										
Temperatura de un termómetro seco	Diferencia de temperatura entre los termómetros seco y húmedo (en °C) (El valor de la lectura medida especifica la humedad relativa en %)									
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	83	64	47	31	14				
1	100	83	66	50	34	18				
2	100	84	68	52	37	22				
3	100	84	69	54	40	25	12			
4	100	85	70	56	42	28	16			
5	100	86	72	58	45	32	19	7		
6	100	86	75	60	47	35	23	11		
7	100	87	75	61	49	37	26	14		
8	100	87	75	62	50	40	29	18	7	
9	100	88	76	64	53	43	31	21	11	
10	100	88	77	65	55	46	34	24	14	5
11	100	88	77	66	56	48	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	49	37	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17
15	100	90	80	71	61	53	44	35	27	20
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	23
17	100	90	81	72	63	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	57	50	43	36	29
20	100	91	83	74	66	58	51	44	37	31
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	75	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36
24	100	92	84	77	70	62	56	49	43	37
25	100	92	85	77	70	63	57	51	44	39
26	100	92	85	78	71	64	58	51	45	40
27	100	93	85	78	71	65	59	53	47	41
28	100	93	86	79	72	65	59	53	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Fuente: *ARIAN* Control & instrumentación

Medidor de voltaje

Para realizar la toma de la variable operativa se utilizó un control electrónico que permite tomar los valores de voltaje del sistema de alimentación principal del sistema a supervisar, logrando con esto estar en constante revisión de los valores de voltaje y poder detectar problemas que se generen en el sistema a razón de esta variable.

El control MT4W-AV-4N medidor de voltaje, figura 16, es un medidor digital de 4 dígitos que presenta variedad de opciones de salida, 4 a 20 MA, RS-485, salida BCD, entre otras; para este caso de estudio se empleó el que entrega información de salida por RS-485, conexión half dúplex, velocidad de transferencia de 9600 b/s.

El rango de medida de este dispositivo esta entre 1 V y 500 V de acuerdo a la selección y conexión de sus pines ubicados en la parte de atrás del controlador (verificar hoja de datos con que viene el control), la alimentación del dispositivo es a 110 VAC o 220 VAC.

Los valores entregados por este controlador son llevados a la aplicación *SCADA* utilizando el protocolo de comunicación mencionado anteriormente, ya en esta aplicación se inicia la supervisión y la programación de las fallas a informar (alarmas).

Figura 16. Medidor de Voltaje



Fuente: *Autonics*

Medidor de corriente

El control MT4W-AA-4N medidor de corriente, figura 17, cuenta con las mismas características del control antes mencionado, son de la misma referencia, manejan la misma comunicación y el mismo protocolo lo único que varía allí es la variable a detectar, para este caso es la corriente.

El rango de medida de este dispositivo esta entre los 50 mA y 5 A, corriente alterna, la alimentación del dispositivo es a 110 VAC o 220 VAC.

Figura 17. Medidor de Corriente



La información de los controladores (voltaje y corriente) fue enviada a la aplicación *SCADA* por medio del protocolo de comunicación RS-485. Para el caso de los LM35 con los cuales se hicieron las mediciones de temperatura y humedad relativa, se trabajó con un módulo de expansión análogo EM231, figura 18, de *siemens* el cual permite tomar la señal entregada en valores análogos (0 V a 10 V o 4 mA a 20 mA) por los sensores y comunicarlos con la aplicación *SCADA* por medio de un servidor *OPC* el cual es compatible con el programa del *PLC* y con la aplicación *SCADA*.

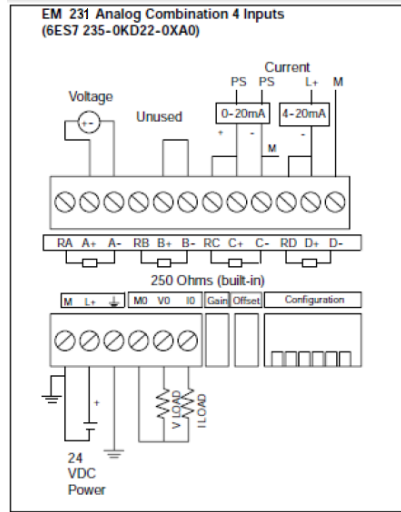
Figura 18. Módulo análogo EM231 *PLC* S7-200



Fuente: *Siemens*

El módulo de expansión análogo EM231 cuenta con 4 entradas analógicas. La figura 19 ilustra el esquema de conexión.

Figura 19 Esquema de conexión módulo EM231



Fuente: Manuales técnicos de Siemens

El módulo análogo maneja una programación dependiendo del rango y del tipo de señal análoga (voltaje o corriente) que será entregada por los sensores. Para realizar esta programación y garantizar una buena toma de datos el módulo maneja un panel con 6 interruptores *minidip* los cuales obedeciendo a diversas nomenclaturas leen la información del medio físico.

La configuración de los interruptores *minidip* para este caso que es entrada de tipo voltaje y un rango de 0 a 10 V, se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Configuración interruptores *minidip*

Unipolar						Rango máx.
Int. 1	Int. 2	Int. 3	Int. 4	Int. 5	Int. 6	
ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	0 a 20 mA

Fuente: Manuales técnicos de Siemens

Servidor OPC

Un servidor OPC es una aplicación de software que cumple con una o más especificaciones definidas por la OPC *Fundation*. El Servidor OPC hace de

interface, comunicando por un lado con una o más fuentes de datos utilizando sus protocolo nativos (típicamente *PLC*'s, *DCS*'s, básculas, módulos I/O, controladores, entre otras) y por el otro lado con Clientes *OPC* (típicamente *SCADA*'s, *HMI*'s, generadores de informes, generadores de gráficos, aplicaciones de cálculos, entre otras). En una arquitectura Cliente *OPC*/ Servidor *OPC*, el Servidor *OPC* es el esclavo mientras que el Cliente *OPC* es el maestro. Las comunicaciones entre el Cliente *OPC* y el Servidor *OPC* son bidireccionales, lo que significa que los Clientes pueden leer y escribir en los dispositivos a través del Servidor *OPC*.

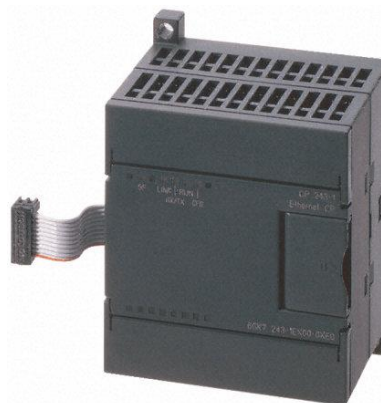
8.3 SELECCIÓN DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

El protocolo de comunicación que se escogió para la implementación del proyecto fue el *Ethernet*, ya que es un protocolo de comunicación popular porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado. La norma de *Ethernet* fue definida por el Instituto para los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*IEEE*) como *IEEE Standard 802.3*. Adhiriéndose a la norma de *IEEE*, los equipos y protocolos de red pueden interoperar eficazmente. [10]

Otra de las razones por la cual se escogió este protocolo de comunicación y no otro, es porque desde el inicio del proyecto se plantea que todo el proceso sea controlado desde una aplicación vía web, a través de un computador o un teléfono celular, dentro y fuera de las instalaciones donde se encuentre la planta.

Para este caso de estudio se utilizó un módulo de expansión del *PLC S7-200*. El módulo Ethernet de la figura 20, es el CP243-1 de *siemens*.

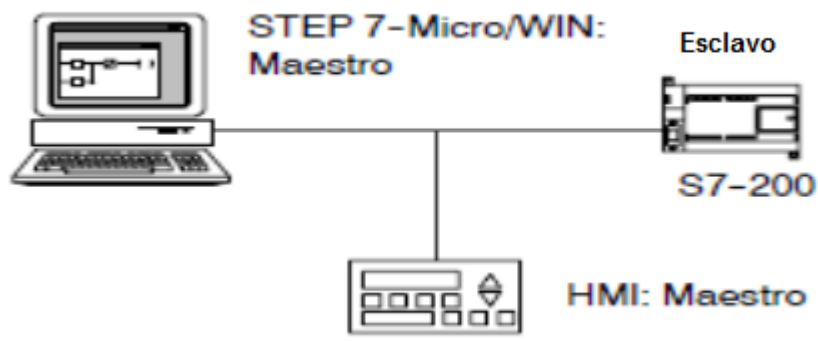
Figura 20. Modulo Ethernet CP243-1



Fuente: *Siemens*

La comunicación entre el *PLC* y la pantalla, se hizo mediante el protocolo PPI, el cual es un protocolo maestro esclavo, donde la pantalla hace de maestro y el *PLC* hace las veces de esclavo. Los maestros envían peticiones a los esclavos y estos responden, los esclavos no inician mensajes, sino que esperan a que un maestro les envíe una petición o solicite una respuesta. Ver figura 21.

Figura 21. Protocolo PPI



Fuente: manuales técnicos de *siemens*

8.4 DISEÑO DE PROGRAMACIÓN DEL *PLC* Y *HMI*

Los programas del *PLC* y la pantalla se realizaron haciendo uso de *software* licenciados por *Siemens*, y las siguientes son las descripciones de cómo se realizaron ambos programas.

PLC SIEMENS S7-200

El *PLC* seleccionado fue el *S7-200* de la marca *Siemens*, y el modelo utilizado fue la *CPU-222* por las ventajas en cuanto a desempeño. Por principio todos los *PLC simatic* trabajan de forma cíclica. Durante el funcionamiento cíclico, primero se leen las entradas del *PLC*, en la siguiente etapa el *PLC* procesa el programa para la obtención de las señales de control y en la última etapa del ciclo los estados memorizados se transfieren a las salidas físicas. Seguidamente comienza de nuevo el ciclo.

Un autómata programable *PLC*, está formado por módulos de entradas, una *CPU* y módulos de salidas. Las señales de entrada se pueden dividir en entradas analógicas o digitales, estas señales van a los diferentes módulos los cuales procesan la información de voltaje o corriente recibida, convierten la señal a un lenguaje que la *CPU* pueda interpretar, esta toma las decisiones y ejecuta las instrucciones de control basadas en las instrucciones del programa. Los módulos de salida convierten las instrucciones de control de la *CPU* en una señal digital o analógica que se puede usar para controlar dispositivos de campo.

Las ventajas que tiene un *PLC* frente a la lógica cableada son muchas, a continuación se mencionan unas de estas ventajas:

- Las aplicaciones pueden ser inmediatamente documentadas.
- Menor tamaño físico que las soluciones de cableado.
- Realización de cambios más rápido y más fácil.
- Los *PLC* llevan integradas funciones de diagnóstico.
- Los diagnósticos están disponibles en la *PC*.
- Se pueden duplicar las aplicaciones más rápidamente y con un costo menor.

El *PLC Siemens S7-200* incorpora en una carcasa compacta un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida que conforman un potente *Micro-PLC*. Tras haber cargado el programa en el *PLC S7-200*, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación. El *PLC Siemens S7-200* (figura 22) tiene 8 entradas y 6 salidas, digitales.

Figura 22. *PLC Siemens S7-200*



Fuente: Manual de programación en *SIMATIC S7*

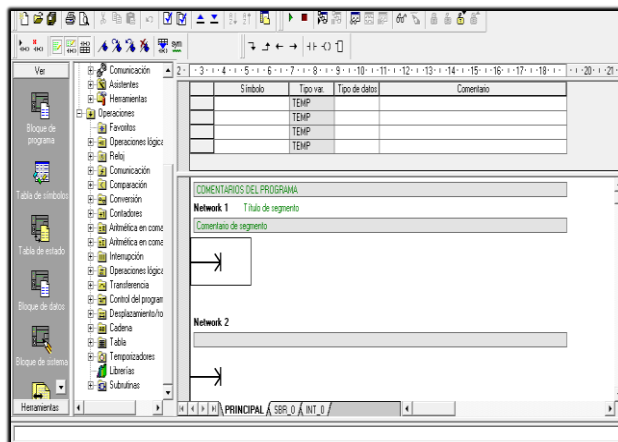
8.4.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC

El paquete de programación *STEP 7 MicroWin* (figura 23) constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación. *STEP 7 MicroWin* se puede ejecutar en un ordenador y debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Sistema operativo: *Windows 2000, Windows XP, Vista.*
- *350 Mbytes* libres en el disco duro (como mínimo).
- Mouse (recomendado).

STEP 7 MicroWin, es una herramienta necesaria e indispensable para el funcionamiento y programación del *PLC Siemens S7-200*, mediante el cual se realizó el programa del cuarto frío. Este *software* es una herramienta muy completa ya que en este se puede simular y visualizar los estados lógicos de las entradas y salidas, valores de los sensores, todo en tiempo real.

Figura 23. Entorno de trabajo *STEP 7 MicroWin*

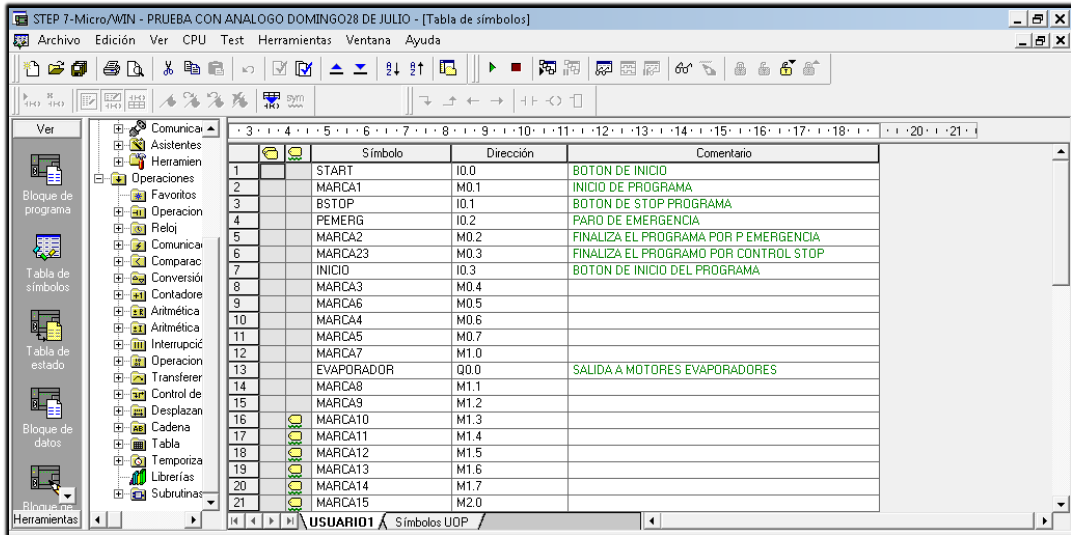


Fuente: *STEP 7 MicroWin*

En este entorno se inicia el nuevo proyecto, se nombra y se procede a iniciar con la programación, lo cual debe seguir un orden determinado. Se debe crear inicialmente la tabla de símbolos (figura 24), donde se nombran entradas, salidas y memorias que serán utilizadas durante la programación y allí se otorgan las

direcciones con las cuales el PLC las identificara. El lenguaje utilizado para este programa es el *Ladder* o mundialmente conocido como sistema escalera.

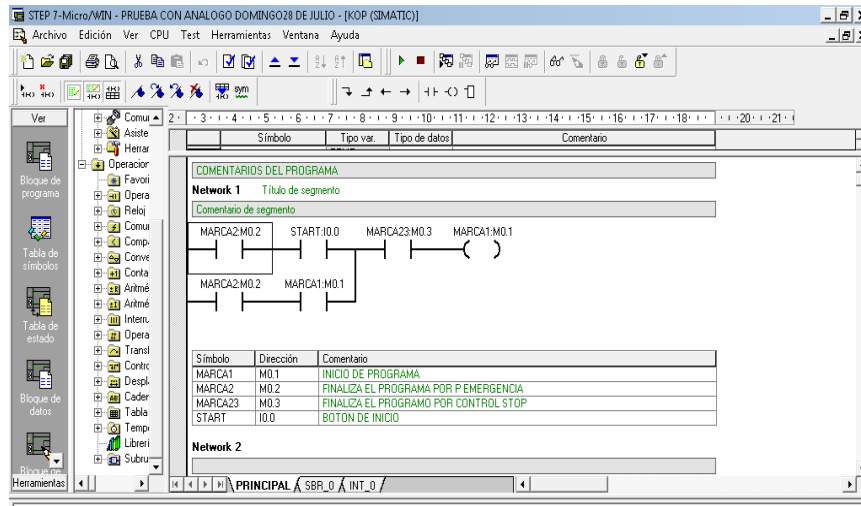
Figura 24. Asignación de variables en la tabla de símbolos



Fuente: Autores haciendo uso de *STEP 7 MicroWin*

Luego de nombrar las variables y de otorgarles las direcciones se inicia la programación en el bloque del programa (figura 25), esta ventana esta diagramada por líneas de trabajo llamadas *NETWORK*.

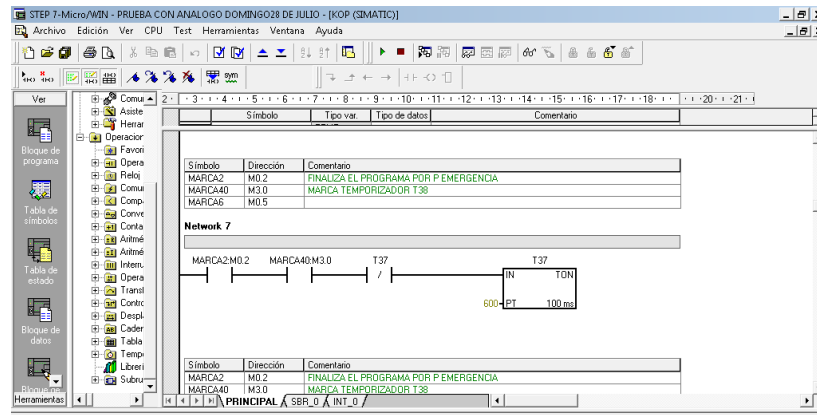
Figura 25. Líneas de trabajo *STEP 7 MicroWin*



Fuente: Autores haciendo uso de *STEP 7 MicroWin*

En el programa se utilizaron temporizadores en segundos de la referencia T- 32, 33, 37, que son bases de tiempo (1 ms, 10 ms y 100 ms respectivamente), utilizados para controlar el arranque de compresor y la entrada de la resistencia en el momento de descongelación. Ver figura 26.

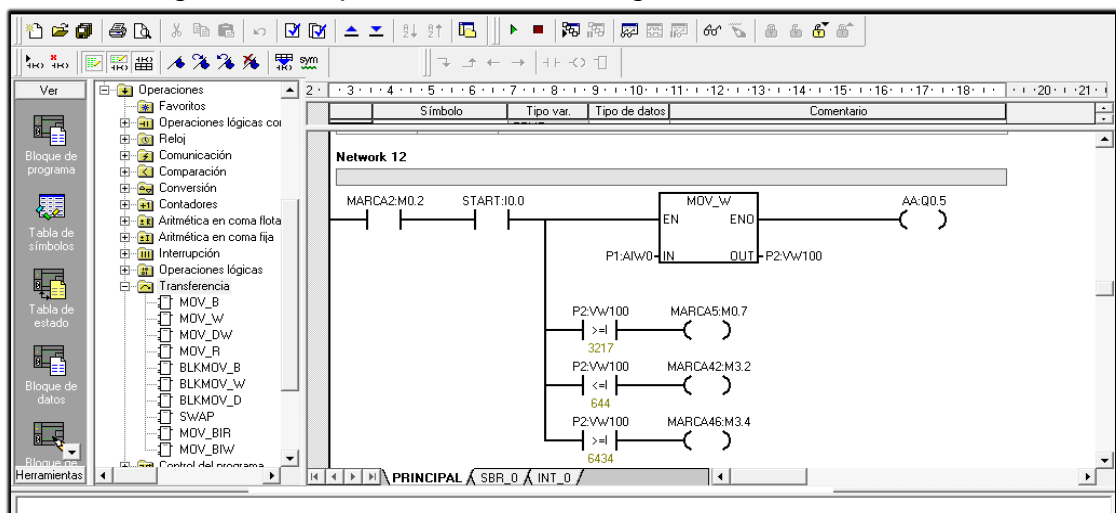
Figura 26. Uso de temporizadores en *STEP 7 MicroWin*



Fuente: Autores haciendo uso de *STEP 7 MicroWin*

Para poder captar las señales analógicas del medio físico se debe utilizar uno de los comandos del *STEP 7 MicroWin*, llamado *MOV_W* (figura 27), este comando permite tomar este tipo de señales y representarla en números, información que luego debe de ser leída y modificada por el programa. Este comando se encuentra en la carpeta de comandos transferencia.

Figura 27. Captura de señal análoga en *STEP 7 MicroWin*

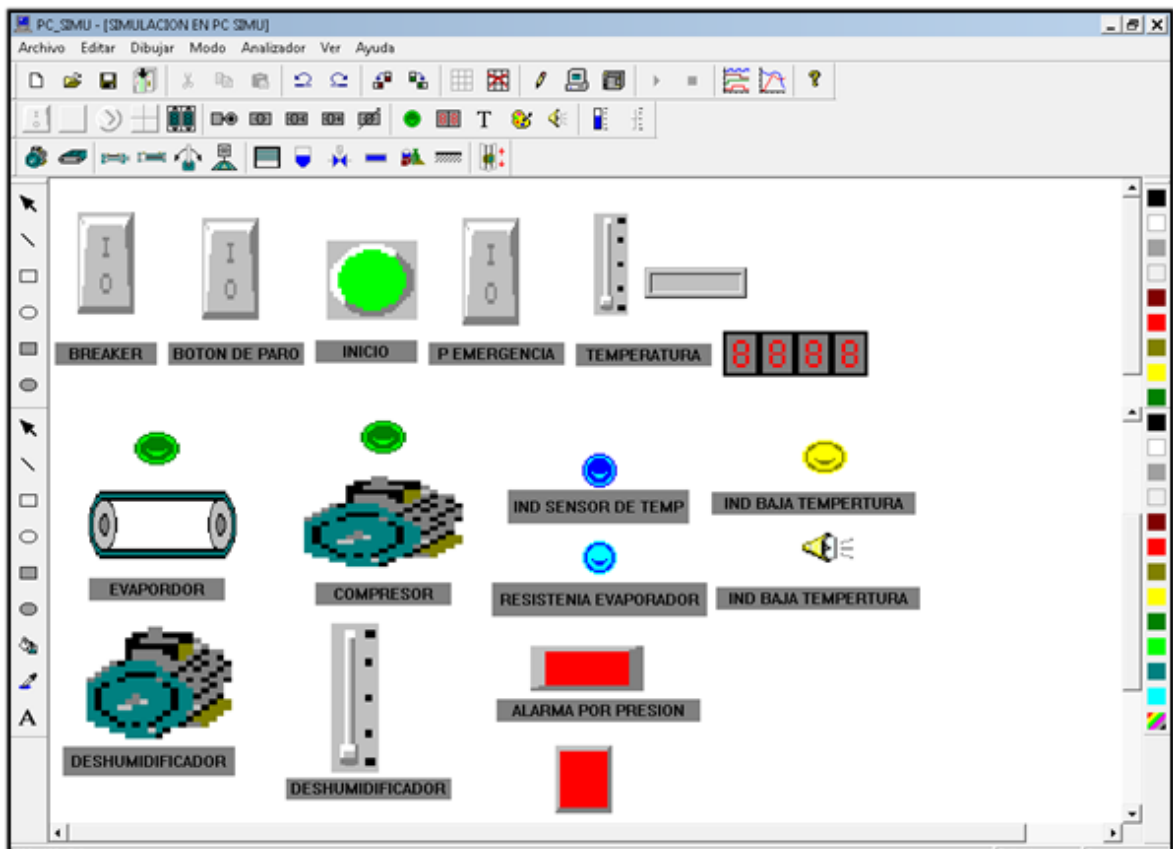


Fuente: Autores haciendo uso de *STEP 7 MicroWin*

En el programa se utilizaron 25 líneas de programación en las cuales se planteó el funcionamiento del cuarto frío con la aplicación *SCADA*. Luego de verificar que el programa funciona correctamente, se procedió a realizar pruebas de simulación en otro *software* compatible con *STEP 7 MicroWin* conocido como *PC_SIMU*.

En *PC_SIMU* se planteó todo el sistema de refrigeración, vinculando todos los elementos con los cuales trabajo el programa. La figura 28 muestra el estado final de la simulación del cuarto frío.

Figura 28. Simulación del cuarto frío



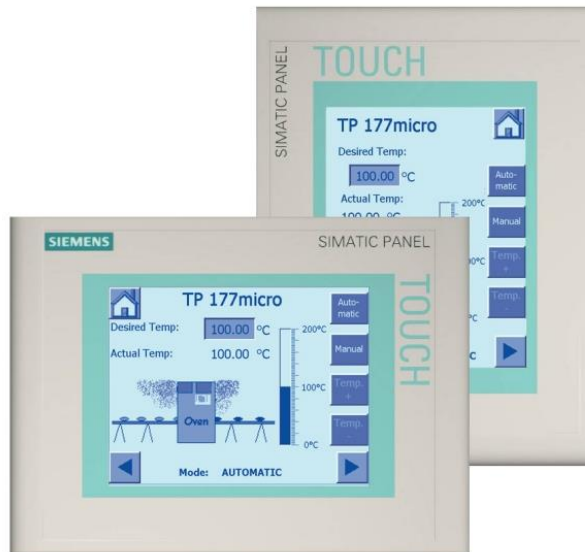
Fuente: Autores haciendo uso del *software PC_SIMU*

Se realizaron todas las pruebas de control (encendido, apagado, paro de emergencia) y se comprobó que el programa quedo funcionando tal cual se había planteado.

PANTALLA SIEMENS TP-177 MICRO

La pantalla *TP-177 MICRO* es la versión optimizada de la pantalla *TP177A* y es un panel diseñado para las aplicaciones menos complejas con conexión al *PLC S7-200*, pero gracias a su *display 5.7"* y su pantalla táctil con 4 tonos de azul, ofrece unas funciones de operación y supervisión más fáciles. Los breves tiempos de configuración y puesta en marcha, así como su configuración en *WinCC Flexible* son importantes ventajas de este panel. Además, soportan hasta 32 idiomas de configuración y cinco idiomas en línea. La opción de instalar el panel en posición vertical (orientación vertical) crea una mayor flexibilidad en el diseño de la máquina. El panel *TP177 MICRO*, figura 29, puede ser conectado a través de su interfaz de soporte integrado para red *PPi* y red *MPI*. [11]

Figura 29. Pantalla *TP177 MICRO*



Fuente: *Siemens*

Los datos técnicos de la pantalla *TP 177 MICRO* se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Datos técnicos pantalla *TP 177 MICRO*

Display	5.7" de pantalla STN, 4 niveles de azul
Resolución (píxeles)	320 x 240 o 240 x 320 píxeles
Elementos de control	Pantalla táctil analógica resistiva
Memoria del usuario	256 KB
Interfaz	1 x RS485
Grado de protección	IP 65, NEMA 4x frontal si está montado IP 20 trasera
Recorte de montaje	198 x 142 mm (W x H)
Panel frontal	212 x 156 mm (W x H)
Profundidad	44 mm
Peso	Aprox. 0,7 kg
Software de comunicación	WinCC flexible Micro

Fuente: *Siemens*

8.4.2 PROGRAMACIÓN DEL *HMI*

El aumento de las capas de los procesos y las mayores exigencias de funcionalidad a las máquinas y a las instalaciones, hacen imprescindible una máxima transparencia. La interfaz hombre-máquina (*HMI*) ofrece esta transparencia.

Un sistema *HMI* representa la interfaz entre el hombre (operador) y el proceso (máquina/instalación). El autómata posee el verdadero control sobre el proceso. Por lo tanto existe una interfaz entre el operador y *WinCC Flexible* (en el panel de operador) y una interfaz entre *WinCC Flexible* y el autómata. Un sistema *HMI* se encarga de:

- Representar procesos.
- Controlar procesos.
- Emitir avisos.
- Archivar valores de proceso y avisos.
- Documentar valores de proceso y avisos.
- Administrar parámetros de proceso y parámetros de máquina.

SIMATIC HMI ofrece una amplia gama de posibilidades para realizar las más variadas tareas de manejo y visualización, permite controlar el proceso en todo momento y mantener en funcionamiento las máquinas e instalaciones.

WinCC Flexible es el *software HMI* para conceptos de automatización del ámbito industrial con proyección de futuro y una ingeniería sencilla y eficaz. *WinCC Flexible* reúne las siguientes ventajas:

- Sencillez.
- Claridad.
- Flexibilidad.

WinCC Flexible es el *software* que permite realizar todas las tareas de configuración necesarias. La edición de *WinCC Flexible* determina qué paneles de operador de la gama *SIMATIC HMI* se pueden configurar. Pero además, *WinCC Flexible* tiene su propio *RunTime* para hacer proyectos que corran en el mismo equipo donde tienes *WinCC Flexible*, para eso hay que seleccionar como “tipo de panel de operador” la opción *PC-RunTime WinCC Flexible*.

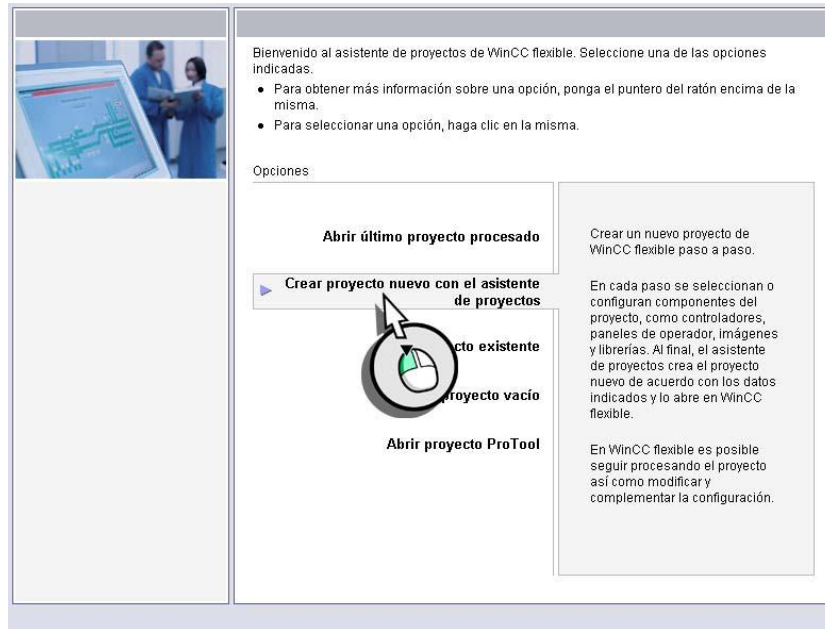
El proyecto en *WinCC Flexible* es la base para configurar la interfaz de usuario. En el proyecto se crean y se configuran todos los objetos necesarios para manejar y vigilar la planta de producción, tales como:

- Imágenes para representar y manejar el cuarto frío industrial.
- Variables para intercambiar datos entre el panel de operador y el cuarto frío industrial.
- Avisos para visualizar en el panel de operador los estados operativos del cuarto industrial.
- Vigilar los estados de la válvula de expansión y la válvula reguladora de presión.

A continuación se mostrara una serie de pasos para crear un nuevo proyecto en *WinCC Flexible* y establecer la comunicación entre el *software* y el *hardware*.

- Inicie *WinCC Flexible*. Se abrirá el asistente de proyectos de *WinCC Flexible*. Este asistente le ayuda a crear el proyecto, guiándole paso a paso por el proceso de configuración. El asistente de proyectos, figura 30, ofrece distintas opciones para las configuraciones más frecuentes. Efectúe los ajustes de configuración conforme a la opción seleccionada.

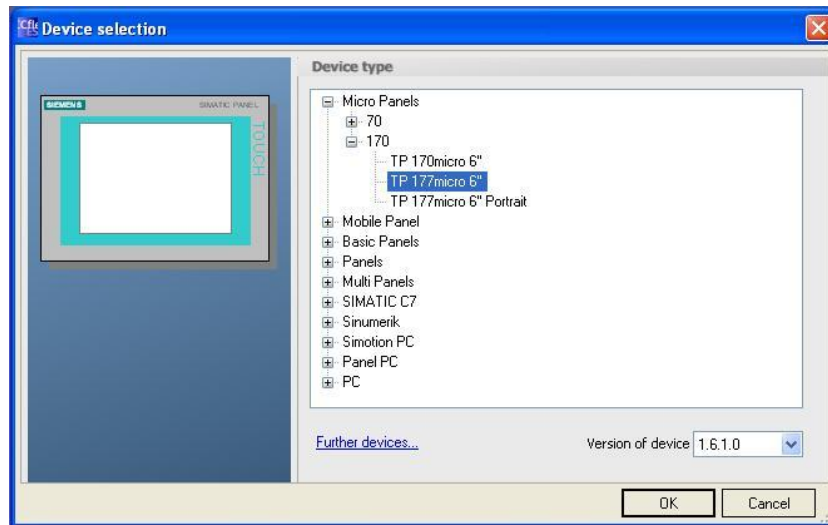
Figura 30. Asistente de proyectos de *WinCC Flexible*



Fuente: Manual de programación *HMI* con *WinCC Flexible*

- En la siguiente ventana, figura 31, después de crear un proyecto vacío en el asistente de proyectos de *WinCC Flexible*, se escoge la pantalla con la cual se trabajará, en este caso la pantalla *TP177 MICRO*.

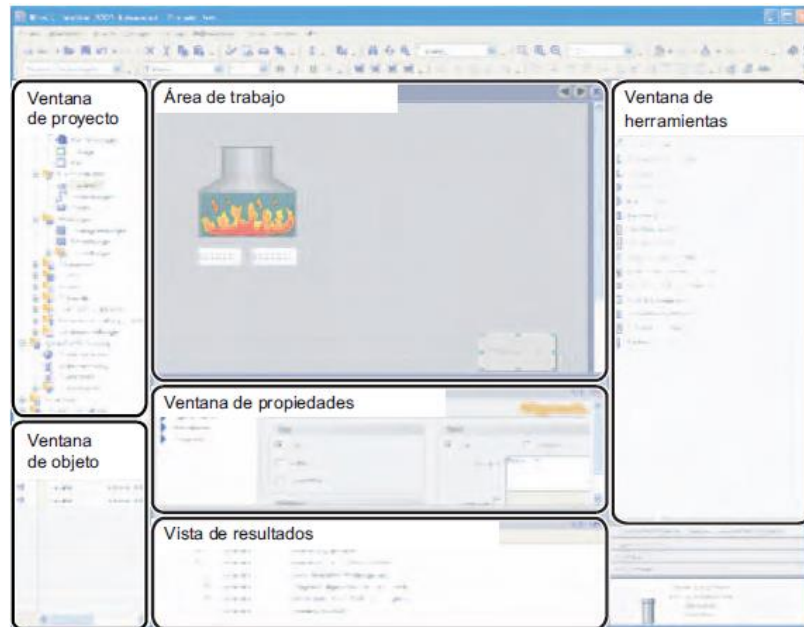
Figura 31. Selección de pantalla en *WinCC Flexible*



Fuente: *WinCC Flexible*

- El asistente de proyectos ha creado el nuevo proyecto conforme a sus datos y lo ha abierto en *WinCC Flexible*. En el lado izquierdo se visualiza un árbol que contiene todos los elementos configurables, figura 32:

Figura 32. Nuevo proyecto creado en *WinCC Flexible*



Fuente: Manual de programación *HMI* con *WinCC Flexible*

En el **área de trabajo** se editan los objetos del proyecto. Todos los elementos de *WinCC Flexible* se agrupan entorno al área de trabajo. A excepción del área de trabajo, todos los elementos se pueden disponer y configurar en función de las necesidades del usuario (por ejemplo, desplazar u ocultar).

En la **ventana del proyecto** se visualizan en una estructura de árbol todos los componentes y editores disponibles de un proyecto, pudiéndose abrir desde allí. Además, a partir de dicha ventana es posible acceder a las propiedades del proyecto, así como a la configuración del panel de operador.

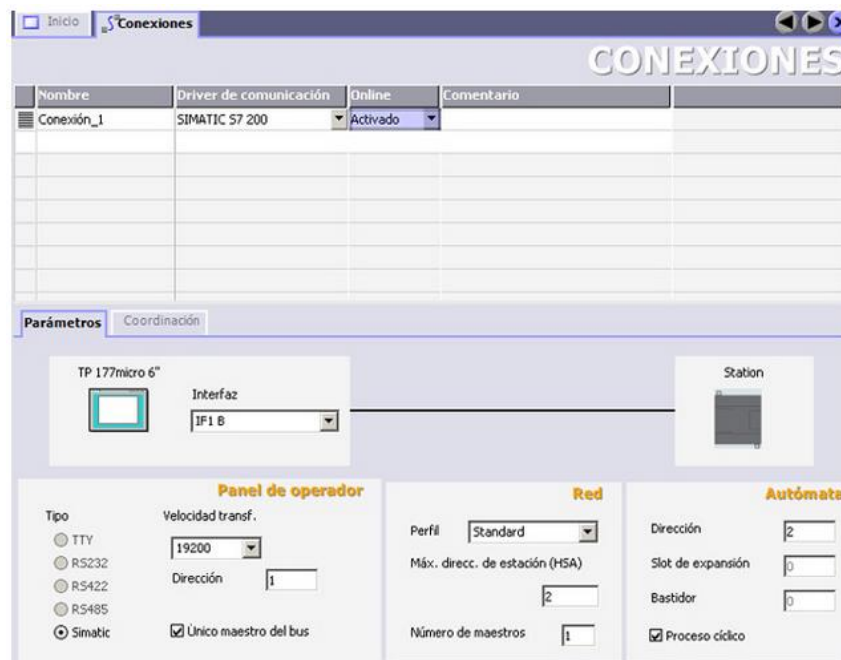
En la **ventana de propiedades** se editan las propiedades de los objetos, por ejemplo el color de los objetos de imagen. La ventana de propiedades sólo está disponible en algunos editores.

La **ventana de herramientas** contiene una selección de objetos que se pueden insertar en las imágenes, tales como los objetos gráficos o los elementos de manejo. Así mismo, la ventana de herramientas dispone de librerías con objetos ya preparados, así como de colecciones de bloques de imagen. [12]

Los parámetros de conexión se han pre ajustado al crear el proyecto con el asistente de proyectos. Para el panel de operador y el autómatas se han ajustado las direcciones 1 y 2, respectivamente. El autómatas y el panel de operador se comunican entre sí vía una red PPI.

Los parámetros de comunicación se pueden configurar abriendo el editor conexiones, figura 33, en la ventana del proyecto. En el editor conexiones se pueden configurar parámetros como el tipo de *PLC* usado para la comunicación con el panel operador, la velocidad de comunicación entre el *PLC* y el panel operador (es importante que tanto la pantalla como el autómatas estén configurados a la misma velocidad) y las direcciones de la pantalla y el autómatas.

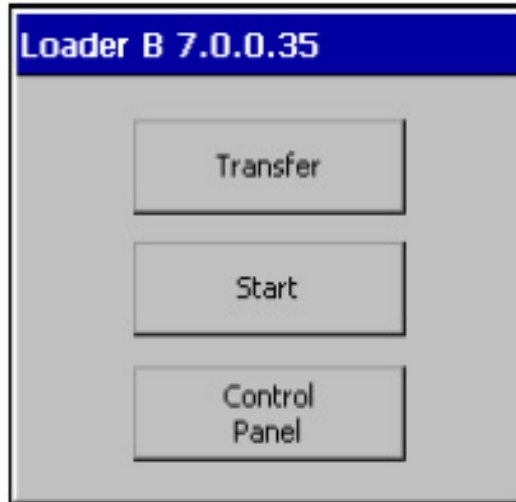
Figura 33. Configuración parámetros de comunicación



Fuente: *WinCC Flexible*

A la hora de descargar el programa de la pantalla hay que habilitar la pantalla para poder descargar el programa. Esto se realiza desde el menú que aparece al dar tensión a la pantalla seleccionando "Transfer". Ver figura 34.

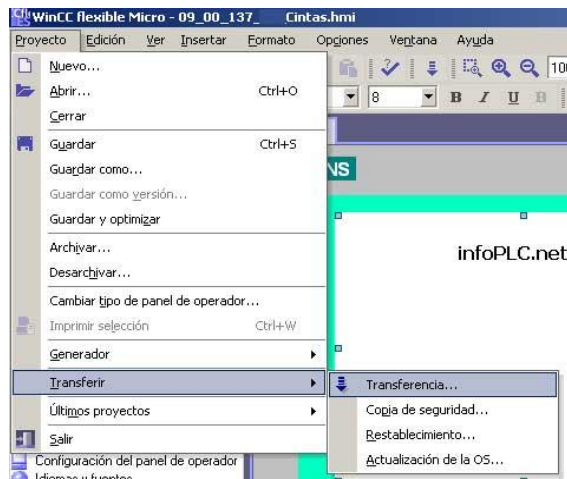
Figura 34. Habilitación de pantalla para transferencia



Fuente: Pantalla *TP 177 MICRO*

Para descargar el programa a la pantalla *TP177 MICRO* desde *WinCC Flexible* hay que seleccionar desde el menú: Proyecto - Transferir – Transferencia, como se muestra en la figura 35.

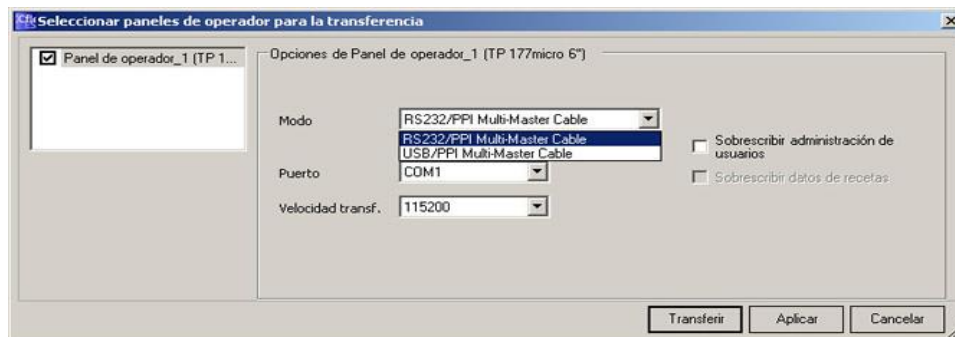
Figura 35. Transferencia de proyecto desde *WinCC Flexible*



Fuente: *WinCC Flexible*

Aparece una ventana donde se configura el modo de transferir el programa a la pantalla. Se Selecciona el modo físico de transferencia, en este caso el cable USB/PPI, el puerto del *PC* y la velocidad de transferencia. Ver figura 36.

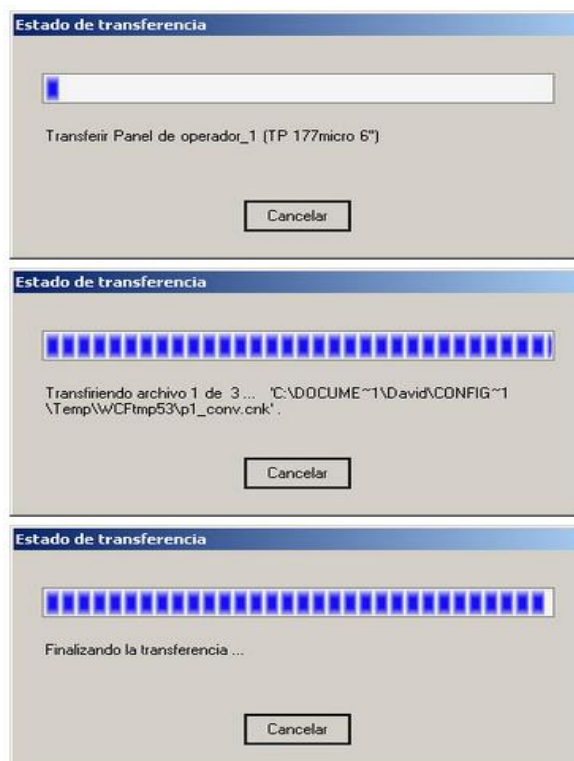
Figura 36. Selección paneles de operador de transferencia



Fuente: *WinCC Flexible*

Se inicia la descarga del programa a la pantalla mostrándose las siguientes ventanas e indicando que la descarga se ha completado. Ver figura 37.

Figura 37. Estado de transferencia



Fuente: *WinCC Flexible*

8.5 VISUALIZACIÓN SCADA

8.5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN SCADA

El principio de funcionamiento de la aplicación implementada *SCADA*, sobre el cuarto frío, es el de un proceso totalmente automático e independiente que debe cumplir con unos requisitos pautados inmersos en la programación del *PLC*, para que este se pueda poner en marcha sin ningún tipo de inconveniente.

Al pulsar el botón de inicio o *start* se debe iniciar el proceso automático de toda la máquina. El proceso está dividido en etapas, y estas son:

- Tan pronto se energice el cuarto y se accione el botón de *start* deben prender los ventiladores del evaporador.
- Encendidos los ventiladores del evaporador, inmediatamente se inicia un temporizador interno del *PLC* (1 o 2 minutos), esto para no sobrecargar el sistema y las líneas de potencia.
- Transcurrido el tiempo del temporizador se enciende el compresor y posterior a esto el *PLC* procede a evaluar valores reales de temperatura y humedad del cuarto.
- Si los valores reales analizados por el *PLC*, se encuentran dentro del rango de operabilidad del sistema, este le dará continuidad al proceso automático y el compresor y los ventiladores seguirán encendidos hasta alcanzar los parámetros deseados de las variables de proceso.
- Si la temperatura del cuarto es menor al límite inferior deseado de temperatura, se apagará el compresor y se encenderán los difusores, que son los encargados de hacer la recirculación de aire, hasta que la temperatura alcance el valor del límite superior deseado de temperatura. Alcanzada la temperatura del límite superior deseada, se apagan los difusores y se enciende el compresor hasta que la temperatura sea menor o igual al límite inferior deseado. Y así se mantiene en un proceso cíclico.
- Si la humedad relativa del cuarto frío es mayor al límite superior deseado de humedad, el deshumidificador se encenderá y se mantendrá encendido hasta que el valor de humedad real sea menor o igual al valor del límite inferior deseado. Este proceso también será de forma cíclica.
- Si en la revisión que hace el *PLC* al inicio del programa, se detecta cualquier anomalía que tenga que ver con los rangos de las variables operativas del sistema, el *PLC* de forma inmediata apagará el sistema y alertará al operario indicando el tipo de falla ocurrida.

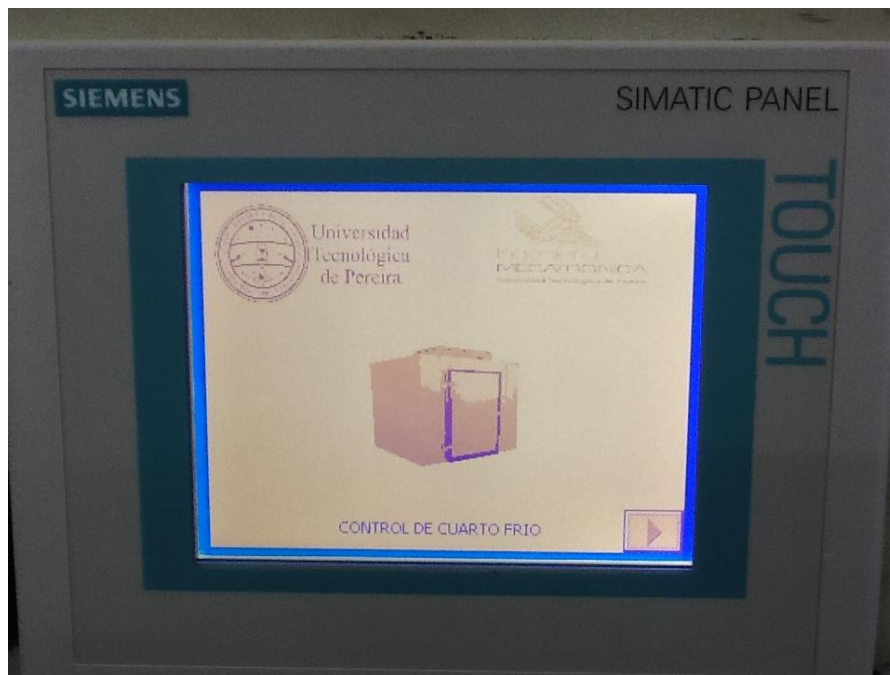
Los rangos o límites de operabilidad de las variables de proceso varían dependiendo del tipo de producto que se tenga dentro del cuarto.

Los límites de operabilidad de las variables operativas del sistema, son definidos y se calculan dependiendo del tipo de alimentación eléctrica. Aproximadamente el 10% por arriba y por debajo, definen los límites inferiores y superiores de operabilidad. En este caso que es un sistema alimentado a 220 V AC los límites inferiores y superiores de operabilidad serían aproximadamente 200 V AC y 240 V AC respectivamente.

Pantalla HMI

En la pantalla de inicio, figura 38, se muestra el nombre del proyecto y pulsando el botón de la flecha a la derecha permite ingresar a la pantalla siguiente.

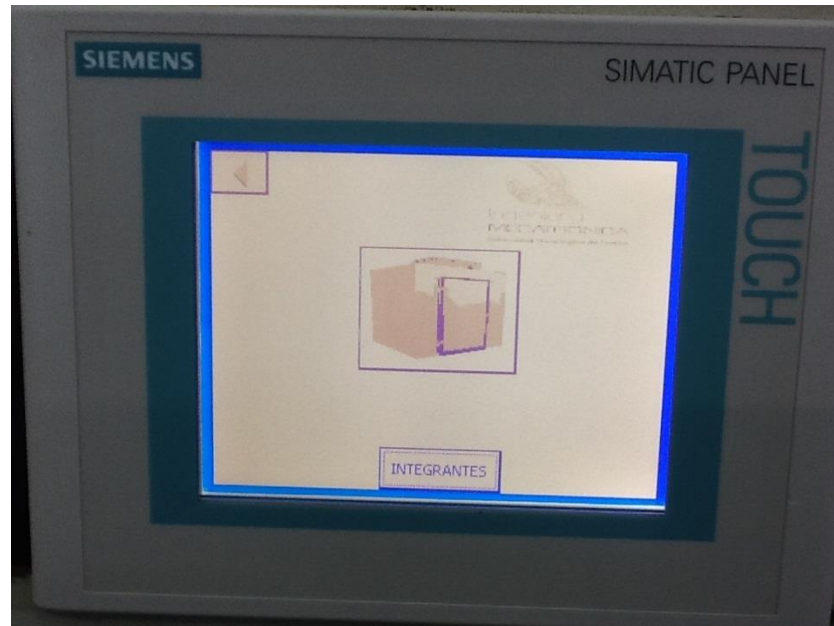
Figura 38. Pantalla de inicio



Fuente: Autores

En la siguiente pantalla, figura 39, se puede acceder a las pantallas de integrantes del proyecto, pantalla principal y el botón que permite regresar a la pantalla de inicio.

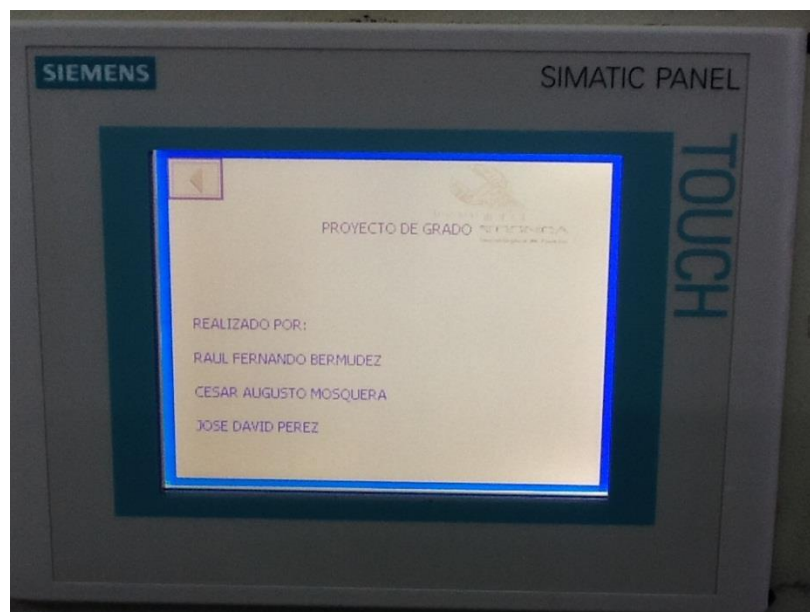
Figura 39. Pantalla de acceso a pantalla principal e integrantes



Fuente: Autores

En la pantalla de integrantes, figura 40, se puede ver el nombre de quien realiza el proyecto y botón de regreso a la pantalla anterior.

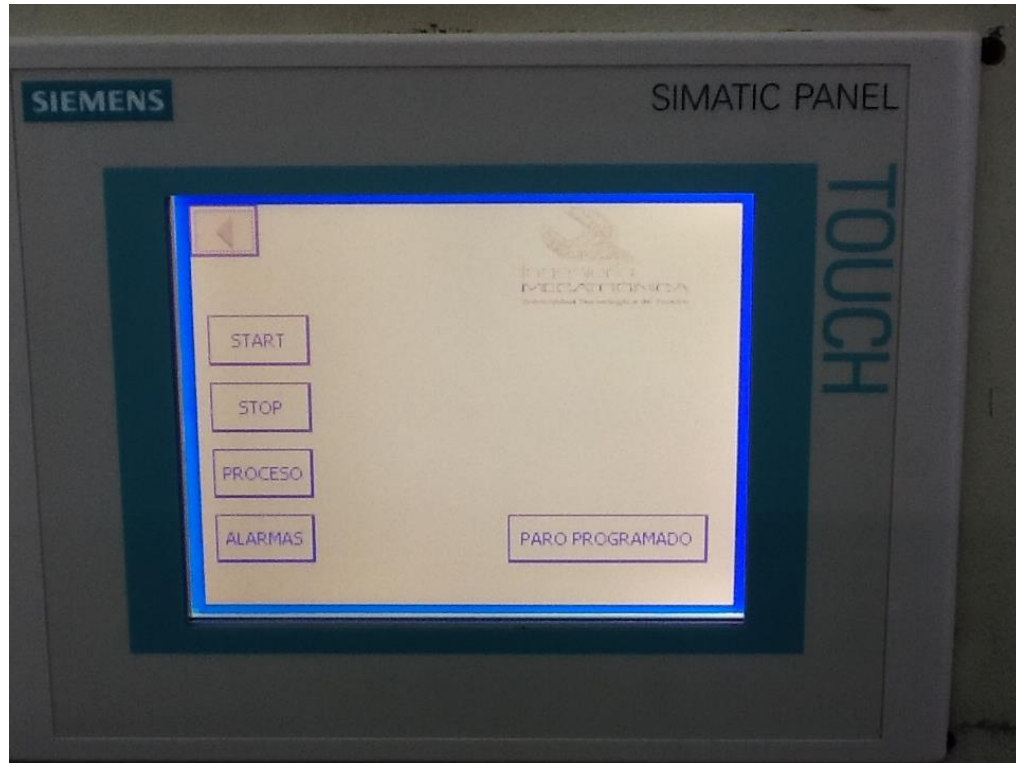
Figura 40. Pantalla integrantes del proyecto



Fuente: Autores

A la pantalla principal se accede pulsando el botón que tiene el gráfico del cuarto frío. En esta pantalla principal, figura 41, se encuentran los botones de *start*, *stop*, proceso, alarmas, paro programado y botón de regreso a la pantalla anterior.

Figura 41. Pantalla principal



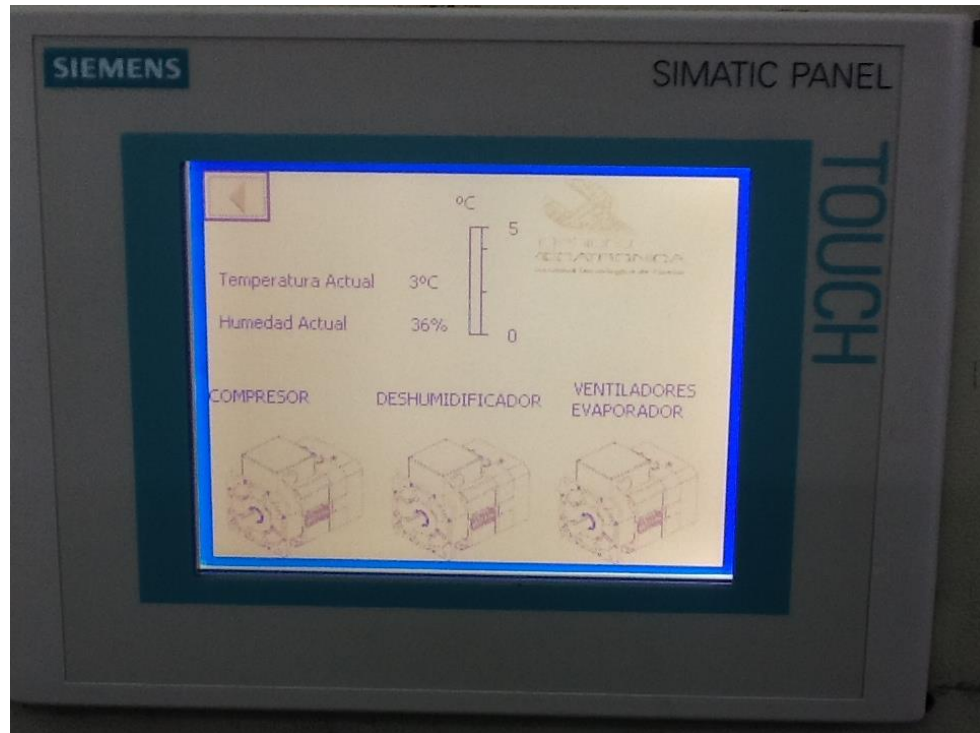
Fuente: Autores

En la pantalla de proceso, figura 42, se pueden observar los principales elementos que componen un sistema de refrigeración industrial (compresor, deshumidificador y ventiladores del evaporador), y el estado en el que se encuentra cada uno de estos, además se pueden ver los valores en tiempo real de temperatura, humedad y el botón de regreso a la pantalla anterior.

En la pantalla de alarmas, figura 43, se pueden observar, en caso de que las haya, los tipos de fallas y alarmas que presenta el sistema. Tiene un botón de *reset* y un botón de regreso a la pantalla anterior.

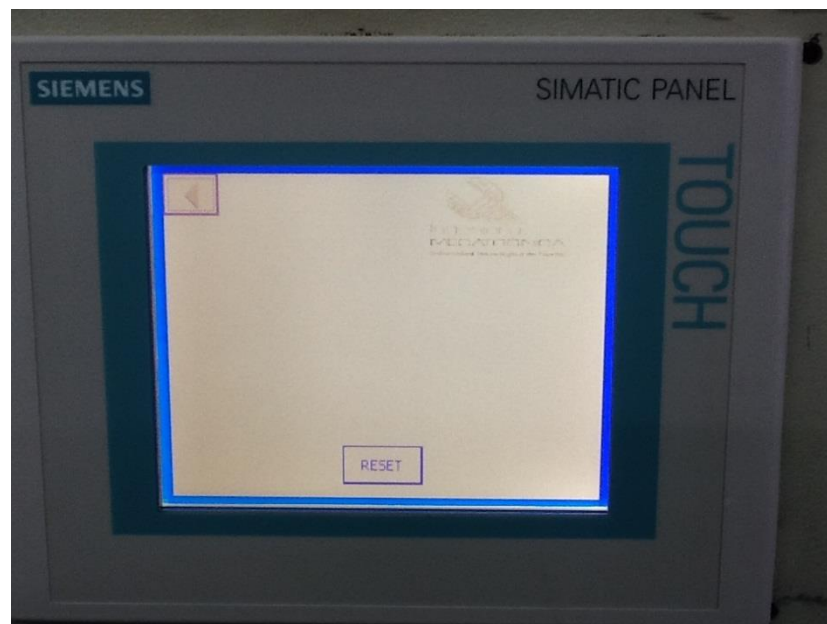
El botón de paro programado se implementó para hacer paros determinados de la máquina, para realizar el mantenimiento de la misma.

Figura 42. Pantalla de proceso



Fuente: Autores

Figura 43. Pantalla de alarmas



Fuente: Autores

8.5.2 PANTALLA PRINCIPAL DE VISUALIZACIÓN DEL SCADA

La aplicación utilizada en la realización del sistema SCADA fue la plataforma *INDUSOFT*.

Indusoft Web Studio es un potente conjunto de herramientas de automatización totalmente modular para el desarrollo de cualquier tipo de aplicación, desde modernas interfaces hombre-máquina (*HMI*), hasta completos sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (*SCADA*), bajo cualquier plataforma basada en *windows* como NT, 2000, XP, *WINDOWS 7*, CE o CE.NET. Su entorno de desarrollo le permitirá trasladar los más complejos comportamientos de sus procesos industriales a aplicaciones con tan solo simples arrastres y clic de mouse.

Es un *Software* basado en *Web*, poderoso y amigable, amplias librerías de objetos gráficos, alarmas y eventos en tiempo real e históricos, envío de alarmas y tendencias a *e-mails* y teléfonos celulares, funciones matemáticas avanzadas, fácil programación con lenguaje de *scripts* fáciles y flexibles, además de poderosos *scripts* de *visual basic*, integración transparente con aplicaciones de *windows* como *Microsoft Word* y *Excel*, ambiente de desarrollo *RUNTIME*, tendencias, reportes y acceso a base de datos.

Estas aplicaciones consisten en pantallas animadas que sirven de interface con el operador, *drivers* para *PLC* y otros dispositivos de E/S controlables, una base de datos de etiquetas para aplicaciones, y módulos opcionales tales como monitores para alarmas, graficas de tendencia, recetas, planificadores de tareas y un sistema de seguridad. Las aplicaciones de *indusoft web studio* interactúan con sistemas industriales de E/S y con otras aplicaciones de *windows* durante la ejecución de la aplicación utilizando los siguientes protocolos:

- *ODBC* (Open Database Connectivity)
- *DDE* (Dynamic Data Exchange)
- *NetDDE* (Network Dynamic Data Exchange)
- *OPC* (Open Connectivity)
- *TCP/IP* (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

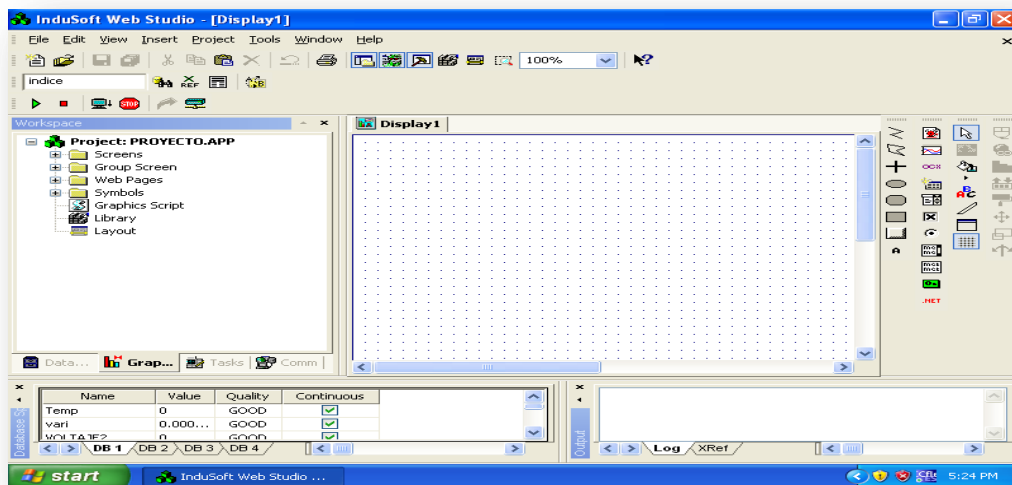
Principales Ventajas de *Indusoft Web Studio*

- Ahorra tiempo: puedes ver el proceso desde un escritorio o desde un celular con web habilitado usando un navegador estándar (*internet/intranet* incluyendo soporte *XML*).
- Información clara: multi-lenguaje (*UNICODE*) para que los operadores entiendan inmediatamente.

- Ahorra dinero: desarrolla una vez y despliega en cualquier plataforma soportada por *Microsoft*, incluyendo *windows CE*, *Mobile*, *XP Embebido*, *Windows 7* y versiones de *server*.
- Flexibilidad: soporte para el *PLC* o controlador, más de 240 *drivers*, *OPC* (cliente y servidor) y *TCP/IP*.
- Arregla problemas rápidamente: alarmas que se entienden rápidamente, visuales en la pantalla, o por medio de correo electrónico, *PDA*, celulares, navegadores web.
- Integración de empresas: se liga fácilmente en *ERP* y a sistemas trastienda (*BackOffice*), utilizando una conectividad de base de datos relacional integrada.
- Reduce el tiempo muerto: utiliza tecnologías abiertas (*ActiveX*, *.NET*) para visualizar documentación, reparar videos o mensajes de audio.

Para este caso el *software* fue utilizado para tomar todas las variables del proceso a supervisar, el *software* tiene la versatilidad de tener muchos protocolos de comunicación y brinda la posibilidad de interactuar fácilmente con el ambiente físico. Se utilizó comunicación *RS-485* para leer las variables de corriente y voltaje, las demás fueron medidas atreves del servidor *OPC*. En la figura 44 se puede ver el entorno de trabajo inicial del *Indusoft Web Studio 6.1*.

Figura 44. Entorno de Trabajo de *Indusoft*

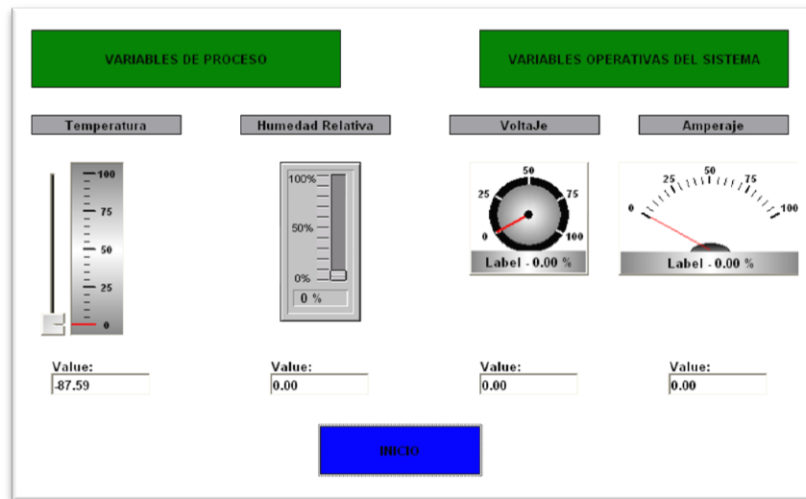


Fuente: Autores

En el *software* se realizaron 4 pantallazos, en el cual se realizó:

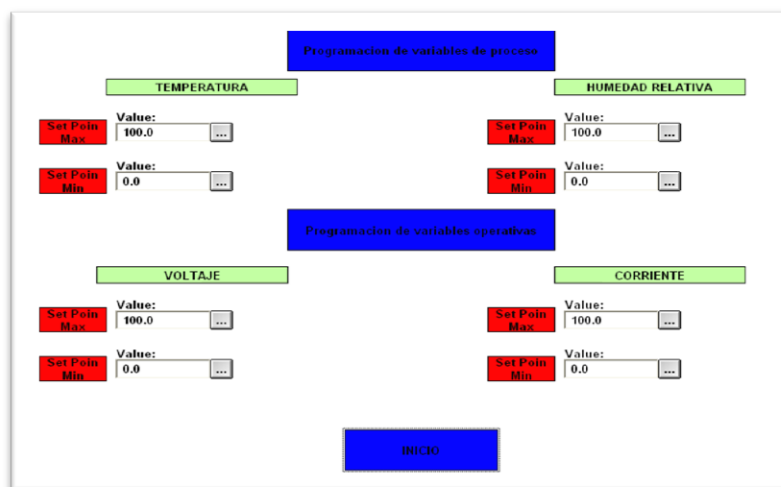
- Monitoreo (figura 45)
- Programación de variables (figura 46)
- Control (figura 47)
- Alarmas (figura 48)

Figura 45. Pantalla de monitoreo



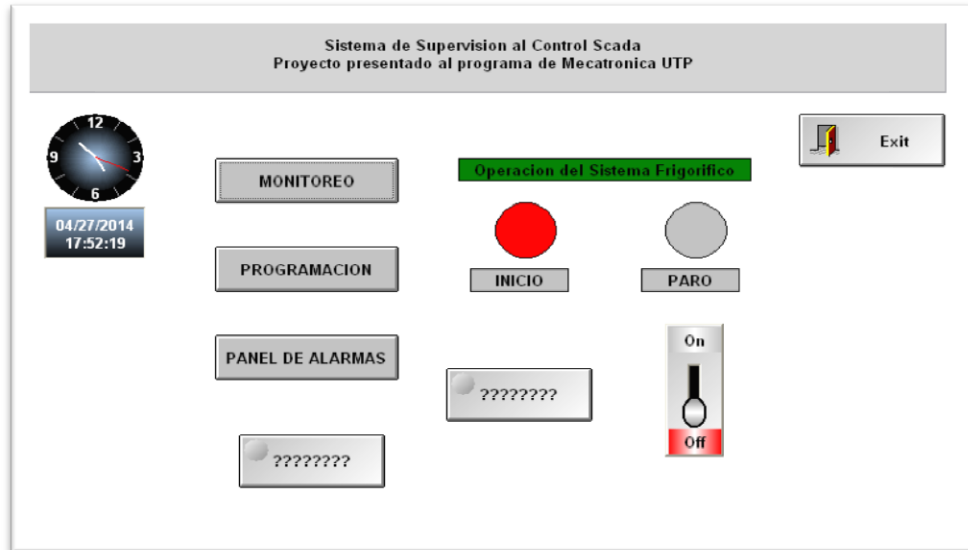
Fuente: Autores haciendo uso de *indusoft*

Figura 46. Pantalla de Programación de Variables



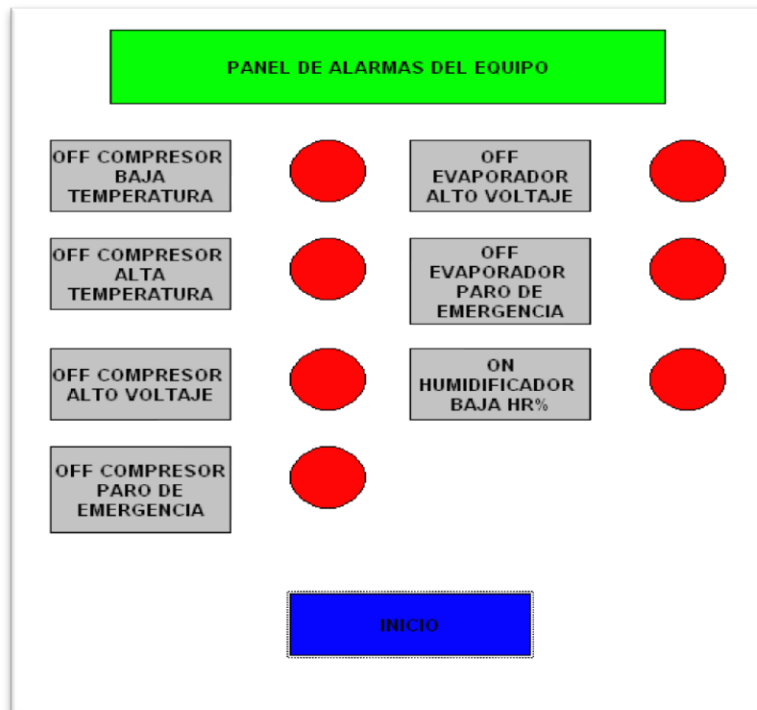
Fuente: Autores haciendo uso de *indusoft*

Figura 47. Pantalla de Inicio y Control



Fuente: Autores haciendo uso de *indusoft*

Figura 48. Pantalla de Alarmas



Fuente: Autores haciendo uso de *indusoft*

8.6 LISTA DE MATERIALES Y COSTOS

A continuación, en la tabla 6, se muestra la lista de materiales y presupuesto utilizado en el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 6 Materiales utilizados en el proyecto

MATERIAL SUMINISTRADO POR EL SENA		
MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO
PLC S7-200 CPU 222	1	EXISTENTE
MODULO DE EXPANSION ETHERNET	1	EXISTENTE
PANTALLA TP 177 MICRO	1	EXISTENTE
CUARTO FRIO, CON ELEMENTOS DE REFRIGERACION	1	EXISTENTE
CONTACTORES	4	EXISTENTE
BREAKERS	6	EXISTENTE
COFRE METALICO	1	EXISTENTE
PC DE MESA	1	EXISTENTE
CABLE VEHICULO # 18	50 m	EXISTENTE
CANALETA RANURADA 2.5X2.5	5 m	EXISTENTE
BORNERAS	30	EXISTENTE

MATERIAL SUMINISTRADO POR INTEGRANTES DEL PROYECTO		
MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO
MODULO DE EXPANSION ANALOGO EM231	1	550.000 \$
FUENTE SIEMENS 24 VDC	1	250.000 \$
SENSOR PT100	1	180.000 \$
SENSOR DHT11	1	25.000 \$
	TOTAL	1.005.000 \$

Fuente: Autores

9. CONCLUSIONES

- Antes de la realización de este proyecto solo se podía interactuar con el proceso de refrigeración industrial a través de una serie de botones y luces pilotos que se encuentran en el cofre eléctrico de la máquina. Al tratarse de este equipo que tiene cierto grado de complejidad, dicha alternativa era aceptable, pero cuando se buscaba supervisar, controlar y modificar los parámetros de este proceso que posee diversas presiones de trabajo, diferentes materias primas que van de la mano con la temperatura de operación, tiempos y procedimientos, entre otras variables, la versatilidad y capacidad del operario entraban a hacer parte de la eficiencia del equipo como tal. De esta manera al integrar la pantalla *HMI* (Human-Machine Interface), el encargado directo de la máquina manejará todo el sistema de una manera más fácil, segura y amena lo que mejorará aún más el rendimiento de todo el proceso.
- A través de la interfaz *HMI* instalada no solo se ahorraron componentes tales como botones y pilotos, sino que también la información que puede entregar el *scada* es útil para operadores, estudiantes y profesores que hacen uso del sistema en el aprendizaje de otras ramas relacionadas con sistemas térmicos y sistemas de refrigeración industrial.
- En la adecuación tecnológica realizada en éste proyecto, se mejora la interfaz hombre máquina al introducirse un sistema *SCADA* al proceso, permitiendo al usuario, estudiante o instructor tener un verdadero sistema de control y monitoreo de todo el proceso relacionado con el sistema de refrigeración.
- Este proyecto, no necesariamente es solo para aplicaciones referidas a sistemas de refrigeración, sino también a sistemas de supervisión para cualquier proceso industrial en el cual se vean involucradas variables de presión, humedad relativa y temperatura.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] WHITMAN, William C. JOHNSON, William M. TOMCZYK, John A. Tecnología de Refrigeración y Aire Acondicionado. Tomo I, 528 páginas.

[2] Disponible en internet

<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI/Introduccion%20HMI.pdf>

[3] LÓPEZ, Juan Fernando. Autómatas Programables, Tercera Edición. 1120 páginas.

[4] CENGEL, Yunus A. BOLES, Michael A. Termodinámica, Sexta Edición. 1048 páginas.

[5] ROBERJOT, P. Electricidad Industrial I, Generalidades. 360 páginas.

[6] Disponible en internet

<http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012628/40194-3452.pdf>

[7] Disponible en internet

http://www.tecnologico.deusto.es/projects/flexeo/files/E1.1Estado_del_arte_Arq_Mon_Rem-v1.0.pdf

[8] RODRÍGUEZ PENIN, Aquilino. Sistemas SCADA, Segunda Edición. 460 páginas.

[9] RODRÍGUEZ PENIN, Aquilino. *Sistemas SCADA*, Tercera Edición. 470 páginas.

[10] Disponible en internet
http://www.consulintel.es/Html/Tutoriales/Lantronix/guia_et_p1.html

[11] Disponible en internet
<http://www.automation.siemens.com>

[12] Manual de programación *HMI* con *WinCC Flexible*. Edición 04/2006.