



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES**



**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

TESIS DE GRADO PREVIO A  
OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECÁNICO

**TÍTULO:**

DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL BANCO DE  
REFRIGERACIÓN DEL AEIRNNR DE LA UNL

**AUTOR:**

JACKSON MICHAEL PACCHA HERRERA

**DIRECTOR:**

ING. JORGE ENRIQUE CARRIÓN GONZÁLEZ, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2014

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL BANCO DE REFRIGERACIÓN DEL AEIRNNR DE LA UNL”**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, realizado por el señor egresado: **Jackson Michael Paccha Herrera**, el misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 29 de enero del 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Enrique Carrión González', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

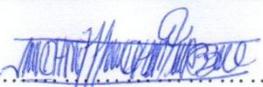
**DIRECTOR DE TESIS**

## AUTORÍA

Yo **Jackson Michael Paccha Herrera**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** Jackson Michael Paccha Herrera

**Firma:** .....

**Cédula:** 1104733918

**Fecha:** 29 de enero del 2014

## **CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo **Jackson Michael Paccha Herrera**, declaro ser autor de la tesis titulada: “**Diseño de un sistema SCADA para el banco de refrigeración del AEIRNNR de la UNL**”, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero Electromecánico**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintinueve días del mes de enero del dos mil catorce, firma del autor.

**Firma:**  .....

**Autor:** Jackson Michael Paccha Herrera

**Cédula:** 1104733918

**Dirección:** Av. Paltas y Mercadillo **Correo electrónico:** jacksmichael@hotmail.com

**Teléfono:** 2550612

**Celular:** 0988773043

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de tesis:** Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

**Tribunal de grado:** Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.

Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvin, Mg. Sc.

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

## **PENSAMIENTO**

*"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber".*

***Albert Einstein***

*"El que puede cambiar sus pensamientos puede cambiar su destino"*

***Stephen Crane***

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a todas aquellas personas que de una u otra forma han sido un apoyo en la culminación de esta carrera, especialmente a mis padres, quienes me han ofrecido su total entrega en mi formación, permitiéndome alcanzar grandes metas.

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento primero a Dios, quien por medio de mi familia especialmente mis padres, me ha permitido culminar con una fase importante en mi vida, para así ser alguien con una oportunidad más para proyectarme hacia el futuro.

A todas las personas que han colaborado en mi formación, amigos y docentes, las cuales por medio de sus experiencias y conocimientos han sido un apoyo fundamental para que a través de la Universidad Nacional de Loja culmine con una etapa en mi vida profesional.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>A. TÍTULO .....</b>	<b>1</b>
<b>B. RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>C. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>D. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
D.1 CAPÍTULO I: SISTEMAS SCADA .....	5
<i>d.1.1 Introducción .....</i>	<i>5</i>
d.1.1.1 Términos asociados a sistemas SCADA.....	6
d.1.1.2 La pirámide de automatización CIM.....	7
<i>d.1.2 Componentes de un sistema SCADA .....</i>	<i>8</i>
d.1.2.1 Introducción .....	8
d.1.2.2 Ordenador Central o MTU.....	9
d.1.2.3 Ordenador Remoto o RTU.....	9
d.1.2.4 Sensores y actuadores.....	10
d.1.2.5 Software SCADA .....	10
d.1.2.6 Redes de comunicación.....	11
d.1.2.6.1 Redes de comunicación .....	12
D.2 CAPÍTULO II: REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN .....	15
<i>d.2.1 Introducción .....</i>	<i>15</i>
<i>d.2.2 Componentes de un sistema de refrigeración por compresión .....</i>	<i>15</i>
d.2.2.1 Compresor.....	16
d.2.2.2 Condensador .....	16
d.2.2.3 Dispositivo de expansión.....	16
d.2.2.5 Evaporador.....	16
d.2.2.6 Otros dispositivos.....	17
<i>d.2.3 Alta y baja presión .....</i>	<i>17</i>
<i>d.2.4 Controles de seguridad .....</i>	<i>18</i>
<i>d.2.5 Diagrama de Mollier .....</i>	<i>19</i>
<i>d.2.6 Descripción del banco de refrigeración utilizado para el diseño del sistema SCADA .....</i>	<i>21</i>
<b>E.- MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
E.1 MATERIALES.....	26
E.2 MÉTODOS.....	27
<i>e.2.1 Fases para implementación del sistema SCADA .....</i>	<i>27</i>
e.2.1.1 Fase 1: Diseño de la arquitectura del sistema. ....	27
e.2.1.2 Fase 2: Selección y adquisición de los equipos a implementar para el sistema .....	29

e.2.1.2.1 Selección del Software .....	31
e.2.1.2.2 Selección de la MTU .....	32
e.2.1.2.3 Selección del RTU .....	32
e.2.1.2.4 Selección del dispositivo para la red inalámbrica.....	34
e.2.1.3 Fase 3: Instalación los equipos adquiridos .....	35
e.2.1.4 Fase 4: Programación del software SCADA, PLC y equipo de comunicación .....	37
e.2.1.4.1 Introducción al software Movicon .....	37
e.2.1.4.2 Programación del PLC .....	40
e.2.1.4.2 Configuración del módem D-Link .....	51
e.2.1.5 Fase 5: Testeo del sistema.....	53
e.2.1.6 Valoración económica .....	54
<b>F.- RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
F.1 PANTALLAS USADAS PARA LA HMI .....	56
<i>f.1.1 Pantalla de inicio.....</i>	<i>56</i>
<i>f.1.2 Pantalla principal.....</i>	<i>57</i>
<i>f.1.3 Pantalla de alarmas.....</i>	<i>59</i>
<i>f.1.4 Pantalla de configuraciones.....</i>	<i>61</i>
<i>f.1.5 Pantalla de tendencias e históricos.....</i>	<i>62</i>
<i>f.1.6 Pantalla de ayuda .....</i>	<i>63</i>
F.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SCADA.....	64
F.3 ANÁLISIS DE DATOS TOMADOS DE LOS REPORTE CREADOS POR EL SISTEMA PARA SU .....	65
<b>G.- DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
<b>H.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>I.- RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>J.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>K. ANEXOS .....</b>	<b>75</b>
K.1 ANEXO 1: PASOS PARA CREAR UN PROYECTO PARA EL PLC S71200 MEDIANTE EL SOFTWARE TIA PORTAL .....	75
K.2 ANEXO 2: PASOS PARA CREAR UNA APLICACIÓN SCADA MEDIANTE EL SOFTWARE MOVICON 11.3 .....	80
K.3 ANEXO 3: DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONTROL Y FUERZA DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN.....	87
K.4 ANEXO 4: EJEMPLO DE UN REPORTE DE ALARMAS .....	89
K.5 ANEXO 5: EJEMPLO DE UN REPORTE DE HISTÓRICOS (T1, T2, T3, T4) .....	90
K.6 ANEXO 6: EJEMPLO DE UN REPORTE DE HISTÓRICOS (T5) .....	91
K.7 ANEXO 7: EJEMPLO DE UN REPORTE DE HISTÓRICOS (P1, P2) .....	92
K.8 ANEXO 8: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN CIM .....	8
FIGURA 2. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA SCADA.....	9
FIGURA 3. TOPOLOGÍAS BÁSICAS DE UN SCADA.....	11
FIGURA 4. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN .....	15
FIGURA 5. REGULACIÓN DEL TIPO TODO O NADA.....	19
FIGURA 6. DIAGRAMA P-H PARA REPRESENTAR EL CICLO TEÓRICO Y PRÁCTICO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN.....	20
FIGURA 7. CONDICIONES EN LA QUE SE ENCONTRÓ AL BANCO DE REFRIGERACIÓN.....	21
FIGURA 8. COMPRESORES DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN .....	22
FIGURA 9. CONDENSADOR DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN.....	23
FIGURA 10. EVAPORADOR DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN.....	23
FIGURA 11. VENTILADOR DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN .....	24
FIGURA 12. DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN .....	24
FIGURA 13. PRESOSTATO DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN .....	24
FIGURA 14. SENSOR DE PRESIÓN MARACA KOBOLD.....	25
FIGURA 15. SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD.....	25
FIGURA 16. ESTRUCTURA DEL SISTEMA SCADA A IMPLEMENTAR .....	28
FIGURA 17. DIAGRAMA DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN CON LOS SENSORES Y ACTUADORES INSTALADOS .....	29
FIGURA 18. MATERIALES UTILIZADOS PARA ACONDICIONAR EL BANCO DE REFRIGERACIÓN .....	30
FIGURA 19. PLC Y MÓDULOS DE SEÑALES ANALÓGICAS UTILIZADOS PARA EL SISTEMA SCADA .....	34
FIGURA 20. MÓDEM D-LINK DIR 610 .....	35
FIGURA 21. ELABORACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL (1) .....	35
FIGURA 22. ELABORACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL (2) .....	36
FIGURA 23. BANCO DE REFRIGERACIÓN CON TODOS LOS ELEMENTOS QUE PERMITEN REALIZAR EL SISTEMA SCADA.....	36
FIGURA 24. ÁREA DE TRABAJO EN EL SOFTWARE MOVICON .....	37
FIGURA 25. SEGMENTO 1 DE LA PROGRAMACIÓN DE BLOQUES EN TIA PORTAL DEL PLC.....	46
FIGURA 26. SEGMENTO 2 DE LA PROGRAMACIÓN DE BLOQUES EN TIA PORTAL DEL PLC .....	47
FIGURA 27. SEGMENTOS 3, 4, 5 Y 6 DE LA PROGRAMACIÓN DE BLOQUES EN TIA PORTAL DEL PLC .....	48
FIGURA 28. SEGMENTO 7 DE LA PROGRAMACIÓN DE BLOQUES EN TIA PORTAL DEL PLC.....	49
FIGURA 29. SEGMENTO 8 DE LA PROGRAMACIÓN DE BLOQUES EN TIA PORTAL DEL PLC.....	50
FIGURA 30. SEGMENTO 8 (CONTINUACIÓN) DE LA PROGRAMACIÓN DE BLOQUES EN TIA PORTAL DEL PLC .....	51
FIGURA 31. ASISTENTE PARA CONFIGURACIÓN DEL MODEM D-LINK .....	52
FIGURA 32. ASIGNAR DIRECCIÓN IP AL MTU .....	53
FIGURA 33. PRUEBA SATISFACTORIA DE CONECTIVIDAD ENTRE MTU Y PLC .....	54
FIGURA 34. PRUEBA DE CONECTIVIDAD PING DESDE LA ESTACIÓN MAESTRA HACIA EL MÓDEM.....	54
FIGURA 35. PANTALLA DE INICIO .....	56

FIGURA 36. PANTALLA PRINCIPAL .....	58
FIGURA 37. PANTALLA DE ALARMAS.....	59
FIGURA 38. PANTALLA DE CONFIGURACIONES .....	61
FIGURA 39. PANTALLA DE TENDENCIAS E HISTÓRICOS .....	63
FIGURA 40. PANTALLA DE AYUDA .....	63
FIGURA 41. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SCADA.....	65
FIGURA 42. VALOR DE TEMPERATURA EN CÁMARA DE REFRIGERACIÓN (T5) UTILIZANDO VÁLVULA DE EXPANSIÓN, CON UNA TEMPERATURA INICIAL DE 17 °C Y TEMPERATURA FINAL DE 6 °C. ....	66
FIGURA 43. DIAGRAMA PRESIÓN ENTALPÍA DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN UTILIZANDO VÁLVULA DE EXPANSIÓN .....	67
FIGURA 44. VALOR DE TEMPERATURA T5 (CÁMARA DE REFRIGERACIÓN) UTILIZANDO TUBO CAPILAR, CON UNA TEMPERATURA INICIAL DE 17 °C Y TEMPERATURA FINAL DE 6 °C.....	67
FIGURA 45. DIAGRAMA PRESIÓN ENTALPÍA DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN UTILIZANDO VÁLVULA DE EXPANSIÓN .....	68
FIGURA 46. CREAR NUEVO PROYECTO EN EL TIA PORTAL V11 .....	75
FIGURA 47. VENTANA DE PRIMEROS PASOS PARA UN NUEVO PROYECTO.....	76
FIGURA 48. VENTANA PARA AGREGAR DISPOSITIVO EN TIA PORTAL.....	76
FIGURA 49. VENTANA DE CONFIGURACIONES EN TIA PORTAL.....	77
FIGURA 50. CONFIGURACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP DEL PLC .....	77
FIGURA 51. INSERTAR INSTRUCCIONES EN EL BLOQUE DEL PROGRAMA .....	78
FIGURA 52. CARGAR CONFIGURACIÓN EN EL PLC .....	79
FIGURA 53. CREAR UN NUEVO PROYECTO EN MOVICON .....	80
FIGURA 54. CREAR UNA VARIABLE DESDE MOVICON .....	81
FIGURA 55. AGREGAR NUEVO DRIVER DE COMUNICACIÓN AL PROYECTO DE MOVICON.....	82
FIGURA 56. DRIVERS DE COMUNICACIÓN PARA SIEMENS.....	82
FIGURA 57. CONFIGURACIÓN DE DRIVER S7 TCP .....	83
FIGURA 58. ASIGNAR DIRECCIÓN FÍSICA A UNA VARIABLE.....	84
FIGURA 59. INSERCIÓN DE SÍMBOLOS Y OBJETOS A UNA PANTALLA .....	85
FIGURA 60. ASIGNAR UNA VARIABLE A UN OBJETO.....	86
FIGURA 61. BOTÓN PARA INICIAR EL MODO DE RUNTIME EN MOVICON .....	86
FIGURA 62. REPORTE DE ALARMAS DEL SISTEMA SCADA.....	89
FIGURA 63. REPORTE DE TEMPERATURA (T1, T2, T3, T4) DEL SISTEMA SCADA.....	90
FIGURA 64. REPORTE DE TEMPERATURA (T5) DEL SISTEMA SCADA.....	91
FIGURA 65. REPORTE DE DATOS DE PRESIÓN DEL SISTEMA SCADA .....	92
FIGURA 66. CONEXIÓN A LA RED INALÁMBRICA SCADAWLAN .....	94
FIGURA 67. INGRESAR AL SISTEMA.....	95
FIGURA 68. PASOS PARA EL ENCENDIDO DEL BANCO DE REFRIGERACIÓN.....	96
FIGURA 69. BOTONES PARA CREAR REPORTES DE DATOS HISTÓRICOS.....	98
FIGURA 70. VENTANA PARA SELECCIONAR LA FECHA Y HORA PARA LA CREACIÓN DE REPORTES.....	98

FIGURA 71. PANTALLA DE ALARMAS.....	99
FIGURA 72. VENTANA PARA SELECCIONAR FECHA Y HORA PARA CREAR REPORTE DE ALARMAS.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. SOFTWARE SCADA UTILIZADO EN ALGUNAS EMPRESAS DEL ECUADOR.....	10
TABLA 2. ELEMENTOS QUE CONFORMABAN EN EL BANCO DE REFRIGERACIÓN .....	22
TABLA 3. ACTUADORES Y SENSORES UTILIZADOS EN EL NIVEL DE INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA.....	31
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DEL PLC S71200 CPU 1212C AC/DC/RELÉ.....	33
TABLA 5. VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROYECTO DESARROLLANDO EN MOVICON .....	39
TABLA 6. TIPO DE DATOS SOPORTADOS POR EL PLC S7 1200 .....	41
TABLA 7. ASIGNACIÓN DE LAS ENTRADAS DEL PLC .....	42
TABLA 8. ASIGNACIÓN DE LAS SALIDAS DEL PLC.....	42
TABLA 9. BLOQUES DE DATOS (DB1) DEL PLC PARA COMUNICAR VARIABLES DIGITALES CON EL HMI.....	43
TABLA 10. BLOQUES DE DATOS (DB2) DEL PLC PARA COMUNICAR VARIABLES ANALÓGICAS CON EL HMI.....	44
TABLA 11. BLOQUES DE DATOS (DB3) DEL PLC PARA COMUNICAR VARIABLES DIGITALES CON EL HMI .....	44
TABLA 12. BLOQUES DE DATOS (DB4) DEL PLC PARA COMUNICAR VARIABLES ANALÓGICAS CON EL HMI.....	45
TABLA 13. GASTOS REALIZADOS PARA LA CREACIÓN DE SISTEMA SCADA .....	55
TABLA 14. DIAGNÓSTICO DE FALLAS PARA EL SISTEMA SCADA .....	100

## ACRÓNIMOS

<b>HMI</b>	Human Machine Interface (Interfaz hombre máquina)
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>IP</b>	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
<b>LAN</b>	Local Area Networks (Red de área local)
<b>MTU</b>	Master Terminal Unit (Ordenador central)
<b>ODBC</b>	Open Data Base Connectivity (Conectividad abierta de base de datos)
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable)
<b>RJ 45</b>	Registered Jack-45 (conector Ethernet)
<b>RTU</b>	Remote Terminal Unit (ordenador remoto)
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión control y Adquisición de Datos)
<b>TCP IP</b>	Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo de Internet
<b>WAN</b>	Wide Area Networks (Red de área amplia)
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network (Red de área local inalámbrica)

**a. TÍTULO**

**DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA EL BANCO DE  
REFRIGERACIÓN DEL AEIRNNR DE LA UNL**

## **b. RESUMEN**

El presente proyecto está enfocado al diseño de un sistema SCADA que consiste en una aplicación de software de control que se comunica con dispositivos de campo (PLC, sensores, actuadores, etc.) y controla procesos industriales de forma automática desde la pantalla de un computador, además permite supervisar y adquirir datos en tiempo real de las variables existentes en dicho proceso. Este sistema es aplicado a un banco de refrigeración por compresión existente en el laboratorio de automatización del AEIRNNR de la UNL.

El software utilizado para el SCADA es Movicon 11.3 en versión demo que permite utilizarlo con todas sus funcionalidades con un límite de dos horas por sesión por medio del PLC Siemens S7 1200 CPU 1212 ACDC, el cual recibe los valores de presión medidos en el banco, además se utilizan dos módulos de entradas analógicas para sensores de temperatura. Para la programación del PLC se utiliza el software TIA Portal V11. La comunicación PLC y ordenador se la realiza en forma inalámbrica a través de el módem D-Link DIR 610.

La interfaz gráfica cuenta con seis pantallas que son: inicio, pantalla principal, alarmas, configuraciones, gráficos e históricos y una pantalla de ayuda. Esto permitirá controlar la temperatura dentro de la cámara de refrigeración, generar e imprimir reportes de alarmas, visualizar tendencias, históricos de temperatura y presión del sistema, todo esto en tiempo real.

## **SUMMARY**

The broad objective of this study is to design a SCADA system that is a category of software application program for process control, the gathering and analyzing of data in real time from remote locations in order to control equipment and conditions. This thesis is based on the design of the SCADA system for a refrigeration test bench.

The SCADA software used is a demo version of Movicon 11.3, this software will startup in demo mode complete with all functionalities for a limited time of 2 hours per session to design one complete process without user license. The system uses the PLC Siemens S7 1200 CPU 1212 ACDC and two analog input modules for temperature sensors. This system allows monitoring all the data from the field from PLC via Ethernet network through the modem D-Link DIR 610.

The system has six synoptics: home, main synoptic, alarms, settings, historical graphics and a help synoptic. This will control the temperature inside the cooling chamber, generate and print reports of alarms, visualize trends, historical temperature and pressure data of the test bench in real time.

### **c. INTRODUCCIÓN**

A nivel de automatización, los sistemas SCADA dentro de una planta o proceso de producción integran todas las máquinas y dispositivos existentes. Se integran todos los sensores, actuadores, autómatas programables y computadores, mediante los cuales un operario podrá controlar el proceso productivo a través de la visualización de variables en tiempo real.

En el desarrollo de este proyecto se diseñó y seleccionó los componentes necesarios para automatizar y monitorear con un sistema SCADA el banco de refrigeración del AEIRNNR de la UNL, donde se ha visto la necesidad de realizar una aplicación que permitan a los estudiantes comprender de una manera práctica las funcionalidades que presenta un sistema SCADA, para promover a que se implementen más estos sistemas ya sea aplicados a procesos tanto industriales como experimentales a la vez que se aporta con nuevos conocimientos a la asignatura de automatización industrial.

El sistema implementado permite controlar y supervisar las diferentes variables existentes en el banco de refrigeración, como presión de alta y baja, y temperatura dentro de la cámara de refrigeración, permitiendo además la generación de alarmas y almacenamiento de datos para la creación de reportes del estado del banco, esto podrá ser visualizado a través de una interfaz gráfica.

## **d. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **d.1 CAPÍTULO I: SISTEMAS SCADA**

#### **d.1.1 Introducción**

Un SCADA acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Control Supervisor y Adquisición de Datos) es un sistema de control que permite monitorear, supervisar y adquirir datos de una planta o proceso industrial, está compuesto por un software y por diferente hardware de señales de entrada y salida, pantallas para la interfaz hombre máquina (HMI, del inglés Human Machine Interface), bases de datos, redes, comunicaciones y controladores. En el sistema se captura toda la información del proceso de producción, se visualiza en tiempo real el estado de las máquinas y dispositivos, se realizan análisis y mediciones, se obtienen alarmas configuradas, se pueden realizar gráficos con los datos obtenidos y más.

La justificación para instalar un sistema SCADA está basada en la capacidad de comunicar estaciones que se encuentran a distancias considerables y el costo que implica tener acceso a la información de esta localización. Se considera el uso de estos sistemas también en procesos donde no específicamente sean remotos, donde se evita tener una persona ejecutando las operaciones que pueden ser reemplazadas por un RTU o un PLC.

Estos sistemas realizan las siguientes funciones:

- **Automatización:** Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.
- **Supervisión:** Por medio de un HMI muestra y/o alerta al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta, de esta manera el operador podrá iniciar acciones de control, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, controlar tiempos para el mantenimiento de equipos, etc.

- **Manejo de alarmas:** Mostrar señales de alarmas en forma automática para que el usuario pueda ejecutar acciones que controlen las situaciones anómalas que las generaron.
- **Generación de reportes:** Basadas en la información obtenida por el sistema es posible generar: gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, etc.

#### **d.1.1.1 Términos asociados a sistemas SCADA**

**Tiempo real.-** Un sistema de control en tiempo real es el que no introduce ningún retraso de tiempo o tiempo muerto entre la recepción de señales al sistema y la señal de salida para realizar el control (Boyer, 2004 pág. 27).

En realidad, todos los sistemas de control introducen pequeños retardos al proceso que van en orden de los milisegundos hasta varios minutos, sin afectar la medición o rendimiento del proceso.

**HMI.-** Una Interfaz Hombre-Máquina es un dispositivo que le permite a un operador interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado de los dispositivos, visualizando mediante una representación gráfica las variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial. Un HMI puede ser desde una pantalla táctil situada en una máquina, o bien varios monitores de PC's para controlar el proceso.

**Variable.-** Es un objeto o partida de datos cuyo valor puede cambiar durante el desarrollo o ejecución de un programa (Aguilar, 2002 pág. 93), es decir es un espacio en la memoria de un computador para almacenar un valor como números, caracteres, entre otros tipos de datos. Este valor representa a cualquier magnitud que está sujeta a variaciones en un proceso como ejemplo la temperatura, presión, el estado de un interruptor, una bomba, un ventilador, o cualquier valor físico convertida en señal eléctrica, al cual se lo incorpora como dato dentro de un programa.

**Tendencias.-** Permiten la representación gráfica de los valores de las variables registradas por el registrador de datos del SCADA que son los datos físicos de la planta. Las tendencias son las herramientas más eficientes para archivar, imprimir y analizar gráficamente el comportamiento de las variables en las plantas; de acuerdo con el tipo de dato disponible, las tendencias pueden ser dinámicas o históricas, las primeras que se

visualizan en tiempo real y los históricos que se archivan con el propósito de poder utilizarlos cuando se los requiera.

**PLC.-** Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable) es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, permitiendo facilidad en el mantenimiento, reduce el costo y espacio en el cableado y permite una flexibilidad en la configuración y programación del mismo.

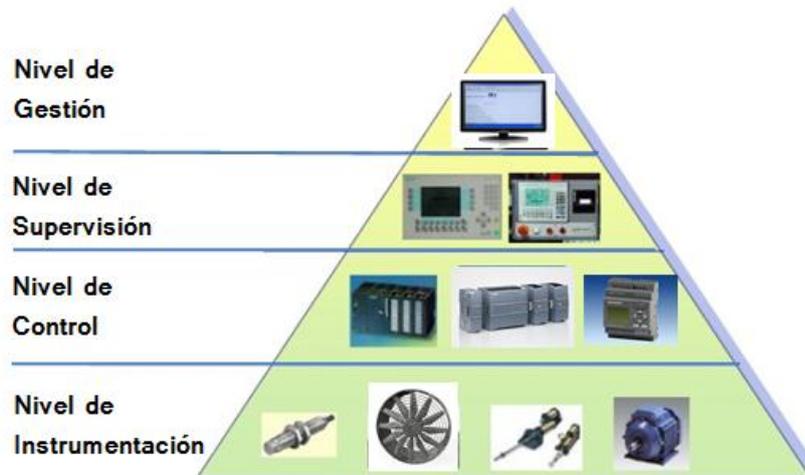
**Monitoreo.-** Se refiere a la acción de supervisar y realizar la acción de control necesaria para el funcionamiento de un determinado proceso, todo esto a través de un “monitor” de computador ó HMI.

#### **d.1.1.2 La pirámide de automatización CIM**

La producción integrada por computador ó CIM (Computer Integrated Manufacturing) engloba el uso de computadores para automatizar e integrar las diferentes actividades de una empresa industrial (figura 1). Los computadores, combinados con la arquitectura de datos, permiten las comunicaciones entre aplicaciones, procesos y usuarios. Se dividen en cuatro niveles, para este proyecto se abordarán los tres primeros.

**Nivel de instrumentación.-** También llamado nivel de acción/sensado. Está formado por los elementos de medida (sensores) y mando (actuadores) distribuidos en una línea de producción, son los elementos que están directamente relacionados con el proceso productivo ya que los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para modificar el proceso productivo (motores, válvulas), y los sensores miden variables en el proceso como: nivel de líquidos, temperatura, presión, posición, etc.

**Nivel de Control (nivel de campo).-** En este nivel se sitúan elementos como PLC's, RTU's o equipos de aplicación específica basados en microprocesador como robots, máquinas herramienta o controladores de motor. Estos dispositivos son programables y permiten que los actuadores y sensores funcionen de forma conjunta para ser capaces de realizar el proceso industrial deseado. Los dispositivos de este nivel de control junto con los del nivel inferior poseen entidad suficiente como para realizar procesos productivos por sí mismos.



**Figura 1.** Pirámide de automatización CIM

**Fuente:** El autor

**Nivel de Supervisión (nivel de planta).**- En este nivel se recoge en tiempo real toda la información generada en el nivel de control, las principales tareas de este nivel son la supervisión integral de proceso, la optimización de la operación y el mantenimiento preventivo, permitiendo mostrar una “imagen virtual de la planta” por medio de HMI’s donde se muestran las posibles alarmas, fallos o alteraciones en cualquiera de los procesos que se llevan a cabo. Es en este nivel donde se almacena en una base de datos la información del proceso.

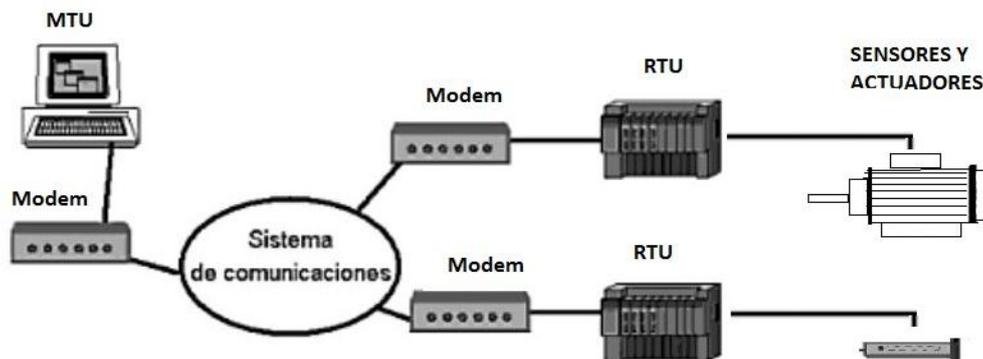
**Nivel de Gestión (nivel de fábrica).**- Se caracteriza por gestionar la producción completa de la empresa, comunicar distintas plantas en el caso de existir, mantener las relaciones con los proveedores y clientes, proporcionar las consignas básicas para el diseño y la producción de la empresa, donde se emplean PC’s, estaciones de trabajo y servidores.

## **d.1.2 Componentes de un sistema SCADA**

### **d.1.2.1 Introducción**

La estructura funcional de un sistema SCADA se la puede apreciar en la figura 2, la cual obedece generalmente a la estructura maestro-esclavo. La estación central (maestro) se comunica con el resto de estaciones (esclavo) requiriendo de estas una serie de acciones o datos.

Un SCADA proporciona comunicación entre los dispositivos de campos llamados RTU (Remote Terminal Units o Unidades Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores o autómatas programables (figura 2), y un centro de control o unidad Central (MTU, Master Terminal Unit), donde se controla el proceso desde la pantalla de uno o varios ordenadores.



**Figura 2.** Estructura de un sistema SCADA

Fuente: (Penin, 2007)

#### **d.1.2.2 Ordenador Central o MTU**

Un MTU (Master Terminal Unit) se trata un ordenador principal, que soporta el HMI del sistema el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, bien sean otros ordenadores conectados a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. El sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único ordenador, el cual es el MTU que supervisa toda la estación, siendo éste el sistema implementado para este proyecto.

#### **d.1.2.3 Ordenador Remoto o RTU**

Una RTU (Remote Terminal Unit) que significa ordenador remoto, es un dispositivo que está encargado de recopilar datos para luego transmitirlos hacia la MTU. Esta unidad está provista de canales de entrada para detección o medición de las variables de un proceso (temperatura, presión) y de canales de salida para control (motores, válvulas, etc.) o activación de alarmas y un puerto de comunicaciones; físicamente estos computadores son tipo armarios de control. En la actualidad las RTU han sido reemplazados por PLC's que tienen capacidad de comunicaciones y se encargan de hacer un control de procesos en forma local.

#### d.1.2.4 Sensores y actuadores

Los sensores o transductores son dispositivos capaces de convertir cualquier fenómeno físico o químico en señal eléctrica para entregarla al RTU ó PLC. Los actuadores son elementos finales que permiten modificar las variables a controlar en una instalación automatizada, entre los actuadores más habituales se encuentran los destinados a motores, cilindros, bombas, hornos, etc.

#### d.1.2.5 Software SCADA

El software SCADA permite construir la interfaz hombre máquina, debe ser capaz de restringir el acceso de usuarios y generar señales de alarma en caso de fallas. Permite la comunicación tanto entre dispositivos de campo como entre los niveles de supervisión, gerenciales y administrativos, a continuación se muestra algunas marcas reconocidas y sus fabricantes de software SCADA: Intouch de Wonderware, WinCC de Siemens, SYSMAC SCS de Omron, Factory Talk de Rockwell, Movicon de Progea, Lookout de National Instruments, Oasys y Citect de Schneider Electric, entre otros.

La tabla 1 muestra la marca del software utilizado en sistemas SCADA para algunas aplicaciones en empresas de nuestro país.

**Tabla 1.** Software SCADA utilizado en algunas empresas del Ecuador

<b>Software SCADA</b>	<b>Empresa / Lugar</b>	<b>Aplicación</b>
WinCC / Intouch	Planta de hormigón Holcim (Guayaquil)	Producción de hormigón
Factory Talk	Ingenio Valdéz (Guayaquil)	Área de evaporadores y calentadores de la fábrica
Worldview	Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil (Guayaquil)	Subestaciones eléctricas
Oasys / Intouch	Petroecuador (Lago Agrio, Orellana)	Turbinas de generación eléctrica
Intouch	Compañía de cervezas nacionales (Guayaquil)	Sistema de calderas
Intouch	EMAAP-Q (Quito)	Planta de tratamiento de agua
Intouch	Sociedad destiladora de alcoholes. Soderal (Guayaquil)	Planta destiladora de alcohol
Intouch	Zaimella (Quito)	Línea de producción de pañales
Movicon	Petroecuador (Esmeraldas)	Sistema de transporte de petróleo

**Fuente:** (Romansel), (Decin), (Progea)

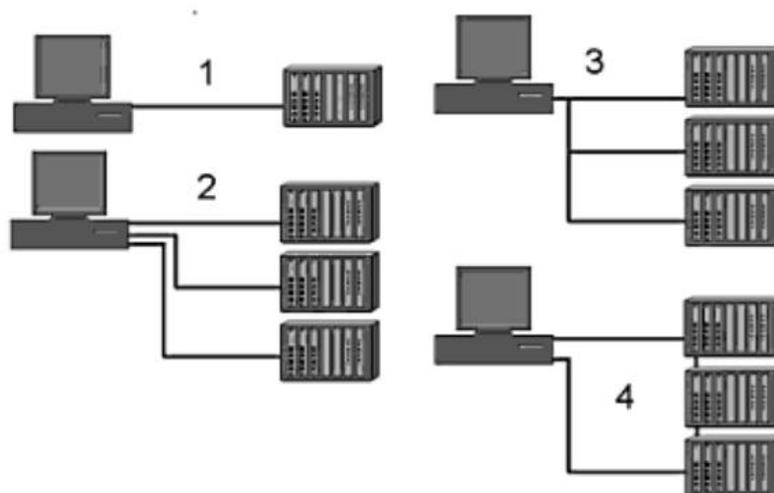
#### d.1.2.6 Redes de comunicación

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación industrial, existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital), mediante el uso de cualquier protocolo industrial existente en el mercado, como por ejemplo; Profibus, Fieldbus, TCP IP, y otros.

Las diversas combinaciones de los elementos de comunicación dan lugar a las siguientes tipologías:

**Punto a punto.-** La relación es de tipo maestro esclavo como el dibujo 1 (figura 3), un solo elemento remoto (RTU) está conectado al sistema de control (MTU) mediante una línea de comunicación. La comunicación puede ser establecida usando una línea pública analógica o digital. También puede ser usado el medio atmosférico como las microondas, radio o satélite (Jaume, y otros, 2004).

**Multipunto dedicado:** Consiste en un solo sistema de control conectado a varias estaciones remotas mediante enlaces directos permanentes como se muestra en el dibujo 2 (figura 3), todo el tráfico de red se centra en un solo punto (Penin, 2007 pág. 40).



**Figura 3.** Topologías básicas de un SCADA

**Fuente:** (Penin, 2007)

**Multipunto compartido estrella:** Utiliza un solo puerto de comunicaciones, dibujo 3 (figura 3) realizándose el intercambio de datos por turnos, esto es posible debido a que las estaciones remotas tienen identificadores únicos.

**Multipunto compartido en bus:** Una o varias unidades centrales están conectadas a una o varias estaciones remotas mediante un medio común (bus). El acceso es también por orden y está gestionado por el Maestro (Penin, 2007 pág. 40).

**Multipunto compartido en anillo:** Es más robusta al proporcionar dos caminos para la información, en caso de fallo de un nodo el tráfico no se interrumpe dibujo 4 (figura 3).

#### **d.1.2.6.1 Redes de comunicación**

Las redes de comunicación de una empresa hacen referencia a las diversas aplicaciones que contribuyen a que usuarios de todas las áreas de la empresa que se encuentren separados geográficamente trabajen en equipo.

Cuando las áreas enlazadas están situadas en la misma planta o emplazamientos próximos hasta 3 km se denominan redes de área local (LAN, Local Area Networks), como alternativa a la LAN cableada también se usa la red WLAN (Wireless Local Area Network ó redes de área local inalámbricas) que es un sistema de comunicación mediante radiofrecuencias.

Para comunicar entre sí las distintas redes de una empresa en grandes distancia (de 100 a 1000 Km) se utilizan redes de área extensa (WAN, Wide Area Networks); un ejemplo de ellas es la red mundial conocida como Internet.

Para crear redes de comunicación existen estándares establecidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) que es una asociación técnico-profesional mundial la cual crea un conjunto de especificaciones donde se fijan las normas para realizar este tipo de redes. Dentro de la red LAN la más utilizada es Ethernet o estándar IEEE 802.3 donde los equipos están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos, se distinguen diferentes variantes de tecnología Ethernet según el tipo y el diámetro de los cables utilizados: cable coaxial, cable trenzado y fibra óptica.

Para la transmisión de datos entre redes de computadoras se lo hace a través un protocolo o lenguaje que es un conjunto de reglas establecidas entre dos dispositivos para permitir la comunicación entre computadoras. En Ethernet el protocolo utilizado es TCP IP.

El TCP/IP sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local (LAN) y área extensa (WAN). La sigla TCP/IP significa "Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet". Proviene de los nombres de dos protocolos importantes del conjunto de protocolos, es decir, del protocolo TCP y del protocolo IP.

Durante una comunicación usando el protocolo TCP, las dos máquinas deben establecer una conexión. La máquina emisora (la que solicita la conexión) se llama cliente, y la máquina receptora se llama servidor. Por lo que se está en un entorno Cliente-Servidor. TCP se encarga de controlar, ordenar, manejar los datos y de asegurarse de que llegan a su destino sin que se pierdan paquetes, esto a través de una dirección IP.

Ethernet permite conectar equipos desde el nivel de campo mediante estándares TCP/IP. Todo dispositivo Ethernet está identificado en la red de forma unívoca mediante su interfaz que consiste en una dirección MAC (media access control) o control de acceso al medio la cual identifica la tarjeta de red física, una dirección IP y un nombre.

A través del número MAC podemos saber exactamente qué tarjeta de red y, por tanto, que ordenador, ha recibido los datos. Puesto que cada tarjeta de red tiene su MAC única, cada ordenador puede ser identificado por dicho número.

Dirección IP es una serie de números que identifica a cada dispositivo dentro de una red con protocolo IP que es usado para la comunicación de datos a través de una red. La primera parte de la dirección IP identifica si la red es pública o privada, la segunda es para el dispositivo que está conectado. El rango de direcciones IP privadas para este caso está compuesto por los siguientes bloques: 192.168.0.0 hasta 192.168.255.255.

Utilizando una analogía, en el momento en que dos personas mantienen una conversación por línea telefónica, "Ethernet" es como los cables de las líneas

telefónicas. Una "dirección IP" es como un número de teléfono y "TCP" viene a ser el lenguaje o idioma que hablan estas personas.

Para la construcción de redes inalámbricas WLAN existen tres estándares que son: IEEE 802.11 a, IEEE 802.11 b. y IEEE 802.11 g.

## d.2 CAPÍTULO II: Refrigeración por compresión

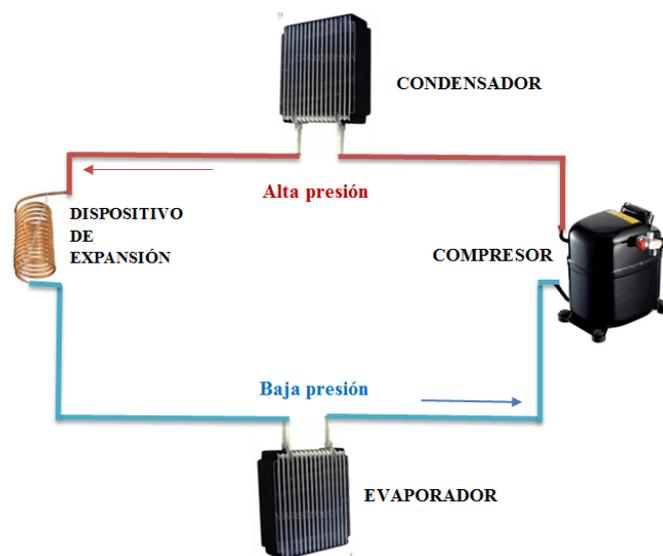
### d.2.1 Introducción

Para tener una idea clara del SCADA diseñado, en este capítulo se da una explicación del proceso al que está enfocado este proyecto, el cual es un banco de refrigeración por compresión, para ello primeramente se realiza una explicación de los elementos que componen un sistema de refrigeración, y luego se da una descripción del banco utilizado.

Se entiende como refrigeración al proceso por el que se reduce la temperatura de un espacio determinado y se mantiene esta temperatura baja para una aplicación, la refrigeración por compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado creando zonas de baja presión donde el fluido absorbe calor en el evaporador, y alta presión donde el fluido cede calor en el condensador.

El ciclo de refrigeración comprende la compresión, condensación, expansión y evaporación, donde cada fase la realiza cada uno de los elementos que se detallan en la figura 4.

### d.2.2 Componentes de un sistema de refrigeración por compresión



**Figura 4.** Componentes de un sistema de refrigeración por compresión

**Fuente:** El autor

### **d.2.2.1 Compresor**

Aspira el fluido refrigerante que resulta de la evaporación a la presión baja establecida y lo comprime elevando su presión y temperatura hasta unos valores tales que se pueda efectuar la condensación. La descarga del compresor (de vapor a alta temperatura) la efectúa al condensador

### **d.2.2.2 Condensador**

Es un elemento que se encarga de pasar el estado de vapor del fluido refrigerante a estado líquido. El fluido refrigerante entra en el condensador en estado de gas y sale en estado líquido a la temperatura que se condensó o incluso a una temperatura menor. El fluido refrigerante cede su calor al agente condensante (aire o agua).

### **d.2.2.3 Dispositivo de expansión**

Hace que el fluido, que entra en estado líquido, sufra una caída de presión y temperatura hasta la necesaria en el evaporador, también controla la cantidad de fluido refrigerante que debe entrar en el evaporador. Los diferentes tipos de elementos de expansión son el tubo capilar, válvula de expansión termostática, válvula de expansión automática o manual.

Los tubos capilares deben ser dimensionados de manera que se consiga que la presión del refrigerante se reduzca lo suficiente desde la que existe en el condensador hasta la del evaporador (Pizzetti, 1991 pág. 346). Con la válvula de expansión termostática se logra que el evaporador funcione correctamente en su totalidad sin que exista el peligro de que líquido no evaporado pueda llegar al compresor.

### **d.2.2.5 Evaporador**

Es un intercambiador de calor cuya misión es que el fluido refrigerante, que entra a baja presión y temperatura, efectúe el enfriamiento de la cámara de refrigeración. Es el elemento de la instalación donde el fluido refrigerante se evapora, robando calor del exterior de evaporador debido a la diferencia de temperaturas (entre la que tiene el fluido refrigerante a baja presión y temperatura, y la que rodea al evaporador).

#### **d.2.2.6 Otros dispositivos**

Usualmente se insertan dispositivos con fines de seguridad y control como pueden ser:

**Filtro secador:** Su propósito es extraer la humedad residual contenida en el refrigerante y al mismo tiempo filtrar las partículas sólidas tanto de metales u otro material que circule en el sistema. Normalmente se la coloca después del condensador y antes de la entrada del sistema de expansión del líquido.

**Acumulador.-** Tanque de almacenamiento, el cual recibe refrigerante líquido del evaporador, evitando que fluya hacia la línea de succión antes de evaporarse.

**Mirilla o visor:** Su misión es supervisar el estado del refrigerante (líquido) antes de entrar al dispositivo de expansión y al mismo tiempo ver el grado de sequedad del refrigerante.

**Válvula solenoide:** Dispositivo operado eléctricamente variando la corriente que circula a través de un solenoide y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. Colocadas antes del dispositivo de expansión cumplen las siguientes funciones (Pizzetti, 1991 pág. 356):

- Impedir la entrada del refrigerante líquido al evaporador durante los periodos en que sistema de refrigeración no se encuentre en encendido.
- Regular la temperatura de los diferentes ambientes en una instalación de múltiples evaporadores, cada uno con su respectiva válvula solenoide.
- Regular el número de secciones activas de un evaporador en una instalación sometida a carga parcial.

#### **d.2.3 Alta y baja presión**

El fluido refrigerante está sometido a cambios de estado a lo largo del circuito (Franco, 2006 pág. 3):

- En el compresor entra en estado de gas, a baja presión y temperatura, y sale con presión y temperatura más altas (recalentado), que es como entra en el condensador.

- Del condensador sale en estado líquido y entra en el dispositivo de expansión.
- Del dispositivo de expansión sale en forma de mezcla de líquido y gas, a baja presión y temperatura, y entra en el evaporador.
- Del evaporador sale en forma de gas, a baja presión y temperatura, de donde es aspirado por el compresor, y se inicia un nuevo ciclo.

Al aumentar la presión de un fluido se eleva su punto de ebullición, y al disminuir la presión, también disminuye su punto de ebullición, esta es una de las claves de refrigeración.

La parte correspondiente a la alta presión está comprendida entre la descarga del compresor y la entrada del dispositivo de expansión. La parte que corresponde a la baja presión es la comprendida entre la salida del dispositivo de expansión y la entrada del compresor, en este tramo la temperatura aumenta desde el evaporador hasta el compresor (Franco, 2006 pág. 4).

#### **d.2.4 Controles de seguridad**

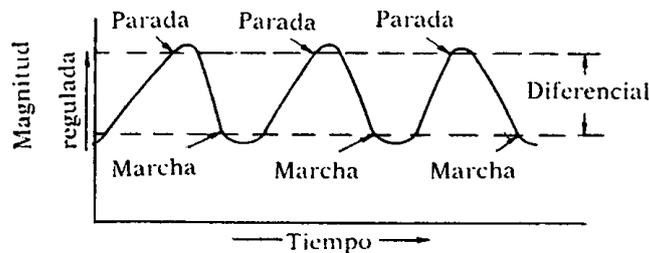
**Control de baja presión.-** Su función es evitar que la presión en la zona de baja presión esté por debajo de la presión atmosférica, de hecho su regulación debe estar siempre por encima de la presión atmosférica (Franco, 2006 pág. 5).

**Control de alta presión.-** Se utiliza cuando la presión de descarga del compresor aumenta sobre los límites prescritos, evitando alcanzar valores que afecten al rendimiento de la instalación o a la seguridad de las personas, a causa de una condensación inadecuada, una sobrecarga de aire enfriador o cualquier otra razón. Ordinariamente se la combina con el interruptor de baja presión dentro de un mismo control llamado doble interruptor de presión.

**Relé de retardo de tiempo.-** Este relé se debe emplear en los compresores herméticos para impedir el trabajo en ciclos cortos de la unidad. Debe ser ajustado para impedir el arranque del compresor hasta que haya transcurrido un cierto tiempo después que el compresor ha sido parado. Esto reduce el riesgo de sobrecalentamiento del motor y evita una posible quemadura a causa de arranques muy frecuentes (Carrier, 2012 pág. VII).

Para el control o regulación automática de la temperatura dentro del evaporador existen varios tipos de control o regulaciones que están clasificadas en función de su forma de actuación, como de control todo o nada, flotantes, de acción proporcional y de acción proporcional más integral; estos sistemas están constituidos por: un regulador, un órgano final de regulación y una fuente de energía.

El control de dos posiciones “todo o nada” que es el más utilizado en procesos de refrigeración, el órgano final de regulación puede únicamente tomar dos posiciones, por ejemplo un termostato que abra o cierre una válvula o que para o pone en marcha un quemador. Se define como diferencial de un dispositivo de regulación de “todo o nada”, a la diferencia entre aquellos valores de la magnitud regulada que originan una acción en un sentido o en sentido opuesto (figura 5).



**Figura 5.** Regulación del tipo todo o nada

**Fuente:** (Pizzetti, 1991)

### **d.2.5 Diagrama de Mollier**

El diagrama de presión entalpia (p-h) es el utilizado para la representación del ciclo de refrigeración, cada fluido refrigerante tiene el suyo propio, el cual sirve para calcular las capacidades de los elementos o para detectar anomalías. La figura 6 ayudará a interpretar el ciclo estándar, donde en el eje vertical se tiene las escalas de presiones donde su unidad de medida es  $\text{kg/cm}^2$  (presión absoluta), y en el eje horizontal se encuentran las escalas de las entalpías con unidad de medida en  $\text{kJ/kg}$ . Con el ciclo representado se tiene: 1-2 compresión del fluido refrigerante, 2-3 condensación, 3-4 expansión y 4-1 evaporación.

El punto 1 representa la salida del evaporador y entrada del compresor donde el compresor aspira fluido, lo comprime elevándole la presión y temperatura, y lo descarga al condensador en estado de vapor recalentado.

El fluido entra en el condensador (punto 2) y a su paso por el mismo se condensa y sale a la temperatura de condensación (punto 3) en estado líquido. Asimismo en el punto 3 se representa la entrada del fluido en el dispositivo de expansión, donde se expansiona, y la presión cae.

A la salida del dispositivo de expansión (punto 4) las condiciones son las mismas que a la entrada del evaporador, con lo que a medida que circula el fluido por el evaporador, cada vez hay menos líquido y más vapor hasta que entra nuevamente en el compresor (punto 1).

La cantidad de calor absorbida por el evaporador es la diferencia entre las entalpías a la entrada y salida, así se puede determinar la capacidad del evaporador o efecto refrigerante ( $Q_e$ ) medida en kJ/kg.

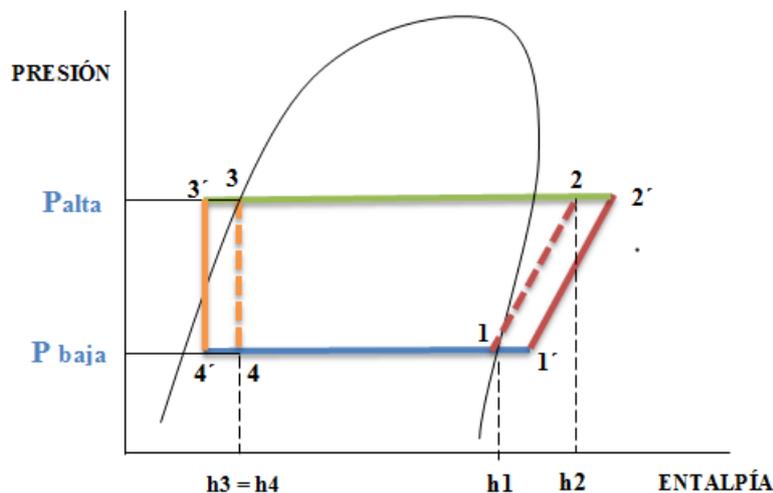
$$Q_e = h_1 - h_4 \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

$Q_e$  = Capacidad del evaporador

$h_1$  = Entalpía a la salida del evaporador

$h_4$  = Entalpía a la entrada del evaporador



**Figura 6.** Diagrama P-h para representar el ciclo teórico y práctico de refrigeración por compresión

**Fuente:** El autor

Si se tuviera que representar un ciclo práctico (figura 6) se debe tomar en cuenta el recalentamiento y subenfriamiento.

Si hubiese recalentamiento en la aspiración, el punto 1 se desplazaría a 1', y si hubiese subenfriamiento el punto 3 se desplazaría a 3'

Se denomina subenfriamiento a la temperatura real que tiene el líquido por debajo de la de condensación a la presión de saturación correspondiente. El subenfriamiento implica que el efecto del refrigerante es mayor. Recalentamiento es la diferencia de temperaturas del fluido entre la entrada y salida del evaporador, debe estar comprendido por lo general entre 4 y 6°C (Franco, 2006).

#### **d.2.6 Descripción del banco de refrigeración utilizado para el diseño del sistema SCADA**

El banco utilizado para este proyecto, fue construido para demostrar el ciclo de refrigeración por compresión mediante dos dispositivos de expansión que son tubo capilar y válvula de expansión, estos dispositivos son seleccionados al energizar dos electroválvulas. El banco contaba con un control manual por interruptores que accionaban el compresor, ventiladores y electroválvulas, en la figura 7 se aprecia el banco antes de implementarle el sistema SCADA.



**Figura 7.** Condiciones en la que se encontró al banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

Mediante una revisión, el banco presentó los siguientes problemas:

- El sistema no se encontraba con gas refrigerante, debido a fugas en algunas de sus conexiones.

- El sistema de arranque de los compresores no prestaba su función.
- Un ventilador del evaporador se encontraba defectuoso.
- Las electroválvulas se encontraban en mal estado (internamente pegado el diafragma), además no eran las requeridas para el uso con gas refrigerante.
- Instalación eléctrica en mal estado.

En la tabla 2 se detallan los componentes que conformaban el banco, además se muestra el estado en que se los encontró.

**Tabla 2.** Elementos que conformaban en el banco de refrigeración

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	ESTADO
Compresor hermético ½ hp marca Embraco	2	1 bueno/1 malo
Electro Válvulas De 1/8" a 110v	2	malo
Presostato de baja y alta presión	1	bueno
Ventilador de 9W a 110V	4	3 bueno/1 malo
Sensor de temperatura tipo Rtd	4	3 bueno/ 1 malo
Sensor de presión Kobold (rango 0-15 Bar)	2	bueno
Evaporador tiro forzado	2	bueno
Condensador tiro forzado	2	bueno
Filtro de ½ tonelada de capacidad	1	bueno
Tubo capilar	1	bueno
Válvula de expansión	1	bueno
Acumulador de refrigerante de ½ litro	1	bueno

**Fuente:** El autor

A continuación se hace una descripción de los componentes del banco:

**Compresor.-** Se encontraron dos compresores herméticos marca Embraco, para gas refrigerante R22, con una potencia de ¼ de HP cada uno (figura 8).



**Figura 8.** Compresores del banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

**Condensador.-** El banco dispone de un condensador de tiro forzado, ya que utiliza dos ventiladores situados en la parte trasera (figura 9).



**Figura 9.** Condensador del banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

**Evaporador.-** Este dispositivo es de tiro forzado, donde utiliza dos ventiladores. A todo este conjunto se lo llamara cámara de refrigeración la cual se muestra en la figura 10.



**Figura 10.** Evaporador del banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

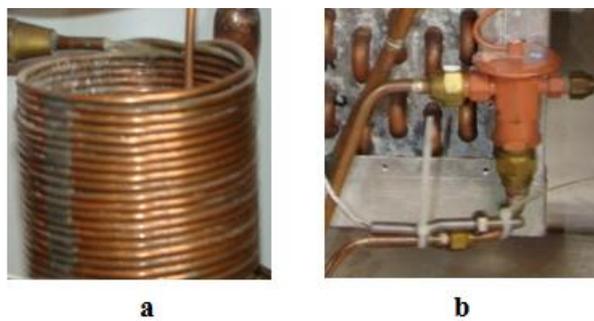
**Ventiladores.-** Se los instala con la finalidad de ayudar a disipar el calor del condensador y evaporador, en la figura 11 se muestra uno de ellos, el ventilador del evaporador se encontraba en mal estado.

**Dispositivos de expansión.-** El banco cuenta con dos dispositivos de expansión, dispuestos para trabajar de forma independiente; estos dispositivos son seleccionados al encender las electroválvulas del banco (figura 12).



**Figura 11.** Ventilador del banco de refrigeración

**Fuente:** El autor



**Figura 12.** Dispositivos de expansión del banco de refrigeración

a. Tubo capilar, b. válvula de expansión

**Fuente:** El autor

**Presostato.-** Este dispositivo permitía mantener controlado la presión de operación del banco; se lo regula de acuerdo a las condiciones de trabajo requeridas.



**Figura 13.** Presostato del banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

**Sensores de Presión.-** Se dispone de dos sensores de presión manométrica con un rango de medición de 0 a 15 Bar (217,5 PSI). Uno para medir la presión en el lado de alta y el

otro para el lado de baja, Los sensores son de marca KOBOLD modelo SEN 8600/8601, los cuales dan una señal de salida de 4-20mA ó de 0 a 10 VDC (figura 14Figura 14).



**Figura 14.** Sensor de presión maraca Kobold

**Fuente:** El autor

**Sensores de temperatura.-** El banco cuenta con cuatro sensores de temperatura tipo RTD (del inglés: Resistance Temperature Detector) es un detector de temperatura resistivo, el cual ofrece un cambio de resistencia eléctrica como respuesta al cambio de la temperatura que es la que se pretende medir. Los sensores utilizados están ubicados a la entrada y salida del condensador y evaporador, los cuales tienen un rango de medición de -20 a 300 °C, el sensor ubicado a la entrada del evaporador se encontraba en mal estado, donde tuvo que ser reemplazado.



**Figura 15.** Sensor de temperatura tipo RTD

**Fuente:** El autor

## **e.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **e.1 Materiales**

Las herramientas las cuales permitieron diseñar e implementar el sistema SCADA al banco de refrigeración son las siguientes:

- Módem D-Link DIR 610.
- Módulo para 1 termocupla (Signal Board).
- Módulo SM1231 para 4 entradas analógicas para sensores tipo RTD.
- Multímetro.
- PLC s71200 1212 ACDC.
- Puente de manómetros.
- Sensores de presión Marca Kobold
- Sensores de temperatura tipo RTD.
- Software Movicon 11.3.
- Software TIA Portal V11.
- Termocupla tipo J.

## **e.2 Métodos**

### **e.2.1 Fases para implementación del sistema SCADA**

Al momento de implementar un sistema SCADA existen cinco fases que se deben tomar en consideración (Jaume, y otros, 2004), las cuales se especifican a continuación.

#### **e.2.1.1 Fase 1: Diseño de la arquitectura del sistema.**

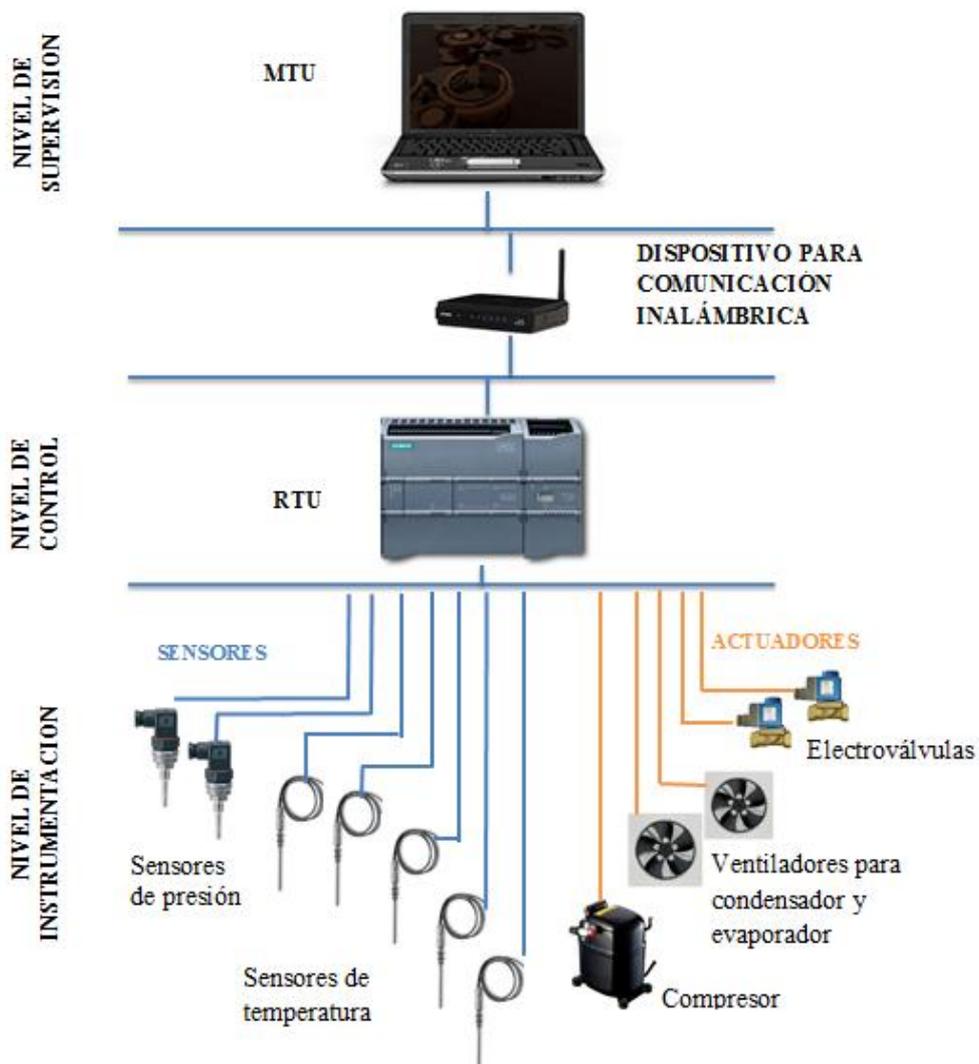
Todos los elementos del nivel de instrumentación y control de la pirámide CIM deben estar definidos. Esto incluye todas las consideraciones importantes sobre el sistema de comunicaciones a utilizar, distancia entre MTU y RTU, número de variables, también se verán involucrados los tipos de dispositivos que no están presentes, pero que serán necesarios para supervisar los parámetros deseados.

El sistema SCADA que se propone implementar al banco de refrigeración contará con una computadora central MTU la cual administrará toda la información proveniente del RTU, en una tipología punto a punto, todo esto mediante una comunicación inalámbrica donde la distancia entre MTU y RTU no deberá superar los 15m, debido a que al sistema se lo utilizará en un aula, esta estructura se la puede visualizar en la figura 16. El HMI que será la misma pantalla del MTU debe cumplir las siguientes condiciones:

- Tener accesos controlados (ingreso al sistema con contraseña).
- Seleccionar el trabajo del sistema de refrigeración mediante tubo capilar o válvula de expansión.
- Supervisar y controlar automáticamente la temperatura de la cámara de refrigeración mediante un control “todo o nada”.
- Seleccionar la presión de trabajo del lado de alta y baja en el banco de refrigeración.
- Supervisar la temperatura a la entrada y salida del condensador y evaporador.
- Visualizar el estado de las electroválvulas, compresor, ventiladores del condensador y evaporador.
- Generar reportes con los valores de presión y temperatura supervisadas para luego imprimirlas (datos históricos).
- Visualizar gráficas en tiempo real de las variables (tendencias).

Además se deben generar señales de alarma en el HMI cuando se presenten las siguientes condiciones:

- Fallo en la comunicación entre MTU y RTU.
- La presión dentro del banco de refrigeración se encuentre por debajo de 10 PSI.
- La presión de alta supere los 160 PSI.
- Al activar un botón de paro de emergencia desde el HMI
- En caso de rotura de hilo o simple desconexión de los sensores a las entradas analógicas del dispositivo de control.



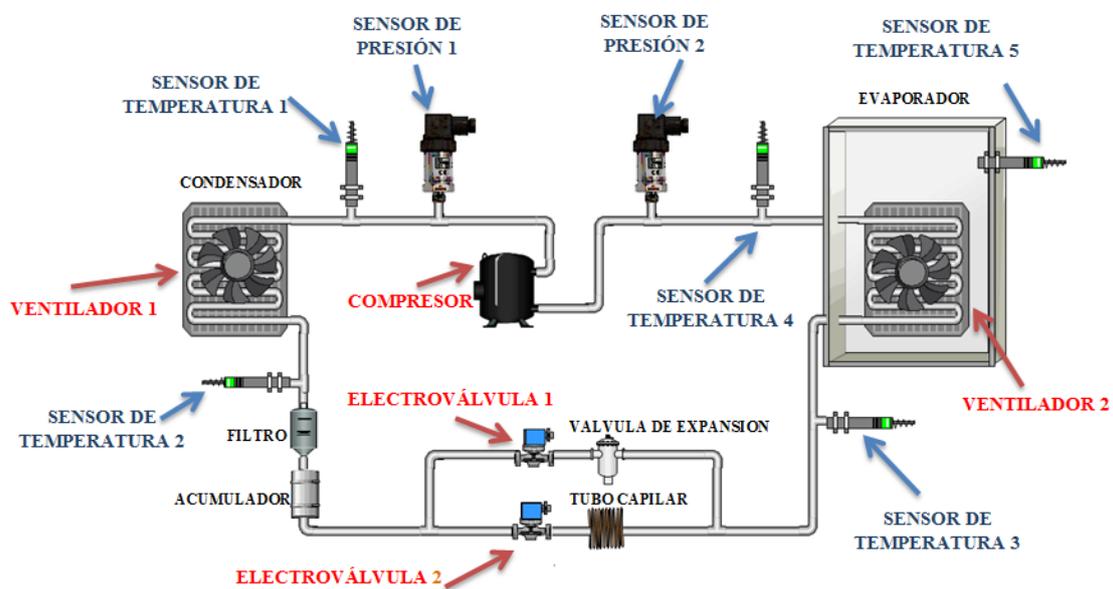
**Figura 16.** Estructura del sistema SCADA a implementar

**Fuente:** El autor

### e.2.1.2 Fase 2: Selección y adquisición de los equipos a implementar para el sistema

Luego de tener la arquitectura y establecido el proceso a controlar y supervisar, lo siguiente es seleccionar el software SCADA adecuado a la tipología a utilizar que en este caso será una punto a punto y los elementos físicos que se utilizan para este sistema. Esta fase consta en adquirir todos los equipos como el RTU necesarios, dispositivos para comunicaciones, equipo HMI y hardware en general.

También se verá involucrados todos los dispositivos que no están presentes, pero que serán necesarios para supervisar los parámetros deseados.



**Figura 17.** Diagrama del banco de refrigeración con los sensores y actuadores instalados

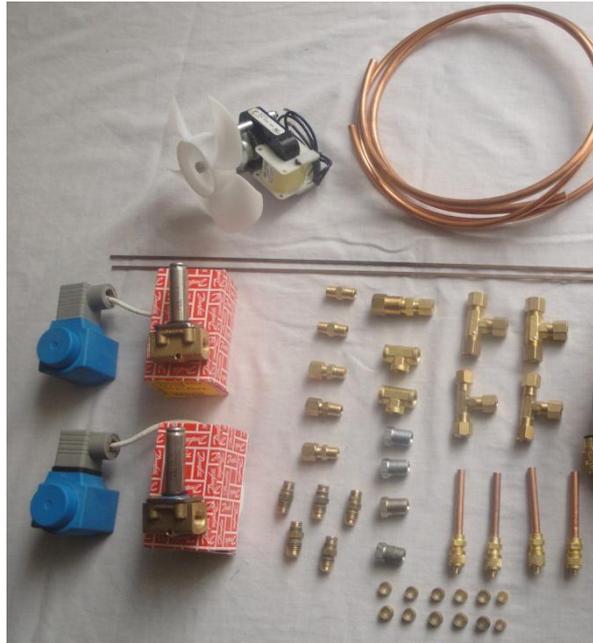
**Fuente:** El autor

Para acondicionar el banco de refrigeración acorde al diagrama de la figura 17, se utilizan todos los elementos en buen estado mencionados en la tabla 2 a excepción del presostato ya que solo se utilizará los sensores de presión, además se ha realizado las siguientes acciones :

- Adquirir un termocupla tipo J, para sensar la temperatura dentro de la cámara de refrigeración.
- Reemplazar un sensor de temperatura tipo RTD que se encontraba en mal estado
- Reemplazar las dos electroválvulas las cuales no eran las requeridas para trabajar con gas refrigerante.

- Reemplazar ventilador del evaporador.
- Cargar con gas refrigerante R22 el banco.

Algunos de los materiales que se utilizó se muestran en la figura 18, estos son: un ventilador, tubería de cobre de 1/4", dos electroválvulas y accesorios para la tubería de cobre.



**Figura 18.** Materiales utilizados para acondicionar el banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

En la tabla 3 se da un detalle los sensores y actuadores a utilizar, que se muestran en el diagrama de la figura 17.

Luego de esto se da a conocer los elementos seleccionados para este proyecto.

**Tabla 3.** Actuadores y sensores utilizados en el nivel de instrumentación del sistema SCADA

<b>Sensores</b>		
<b>Variable a medir</b>	<b>Sensor</b>	<b>Tipo de señal del sensor</b>
Temperatura entrada de condensador	Sensor de temperatura 1 (tipo RTD)	Analógica
Temperatura salida de condensador	Sensor de temperatura 2 (tipo RTD)	Analógica
Temperatura entrada de evaporador	Sensor de temperatura 3 (tipo RTD)	Analógica
Temperatura salida de evaporador	Sensor de temperatura 4 (tipo RTD)	Analógica
Temperatura en cámara de refrigeración	Sensor de temperatura 5 (termocupla tipo J)	Analógica
Presión de alta	Sensor de presión 1	Analógica
Presión de baja	Sensor de presión 2	Analógica
<b>Actuadores</b>		
<b>Dispositivo a controlar</b>	<b>Actuador</b>	<b>Tipo de señal del actuador</b>
Compresor	Compresor	Digital
Ventilador condensador	Ventilador 1	Digital
Ventilador evaporador	Ventilador 2	Digital
Tubo capilar	Electroválvula 1	Digital
Válvula de expansión	Electroválvula 2	Digital

**Fuente:** El autor

#### **e.2.1.2.1 Selección del Software**

Dentro de una empresa o proyecto para seleccionar el software SCADA se debe tomar en cuenta el número de variables utilizadas en el proyecto, la tipología utilizada, también depende de las necesidades y crecimiento de la empresa, del presupuesto asignado, la disponibilidad de personal capacitado en el área de trabajo, y del personal que permita programar el software.

Dentro del software SCADA en versión demo los más reconocidos que se ha podido encontrar son: Citec, Intouch, WinCC y Movicon, de los cuales se elegirá uno dependiendo de su disponibilidad, costo, sistema operativo acorde al MTU, además queda condicionada por la selección del PLC, pues debe elegirse un software que no presentara problemas de conectividad del mismo.

Encontrándose que Citec solo funciona en modo de runtime por 10 min, además que Intouch y WinCC fueron inaccesibles ya que no se los encontró por ningún medio a un bajo costo, se optó por el software Movicon 11.3, que se lo descarga en forma gratuita desde su sitio web, además este software permite utilizarlo con todas sus aplicaciones con un límite de dos horas por sesión, lo cual permite demostrar las funcionalidades de este sistema en un tiempo razonable.

Movicon 11.3 permite utilizar un máximo de 1024 variables y 256 alarmas, además se puede implementar en HMI's basados en Windows CE, Windows Vista, y Windows 7, el cual se puede comunicar con cualquier dispositivo industrial, PLC, instrumentación, control remoto I/O. Los fabricantes de dispositivos de control como Siemens, Rockwell, Schneider, Omron, Mitsubishi y otros son compatibles con los drivers ya instalados en la plataforma de Movicon.

#### **e.2.1.2.2 Selección de la MTU**

Es uno de los componentes más importantes, en tal sentido se debe tener claro las funciones que cumple este equipo dentro del sistema y cuáles son los criterios de selección del mismo. En pequeños SCADA's un simple computador personal puede servir como estación maestra, en este sentido para este proyecto por tratarse de un sistema pequeño, la MTU queda suficiente con un computador personal, siendo el HMI el mismo monitor del computador el cual tiene las siguientes características:

- Modelo: Hewlett-Packard Windows 7 PC
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits.
- Procesador: Intel Core Duo CPU
- Memoria RAM instalada: 4GB

#### **e.2.1.2.3 Selección del RTU**

Los RTU son esencialmente, microcomputadores con equipo especializado para conectarse con una interfaz de comunicación. Actualmente los PLC's son utilizados como estaciones remotas. A estos PLC's se les conoce como inteligentes, porque tienen la capacidad de tomar decisiones por el MTU y simplemente informan al MTU del estado de control del proceso.

Un PLC se comunica generalmente con los sistemas centrales a través de conexiones de área local (LAN, por ejemplo), mediante protocolos tipo de área local como Ethernet / IP, mientras que la RTU (de ahí su nombre) funciona de forma remota y se comunica a través de conexiones de área amplia (por ejemplo, teléfono, GSM, radio).

Ya que en la actualidad existe la tendencia de utilizar a los PLC's como unidad terminal remota, para este proyecto se utilizará un PLC debido a que no se lo controlará en un área remota sino cercano al banco; no se requiere de configurarlo por muchas veces durante su uso, además de que solo va a estar vinculado con un solo proceso.

Actualmente se encuentra en el mercado una gran variedad de PLC's en nuestro medio (Omron, Unitronics, Siemens, Abb, Allen Bradley, Schneider, Mitsubishi, Twido) por lo cual la elección es algo complicado. La elección para el propósito de este proyecto se realiza de acuerdo a la evaluación de los requerimientos explicados anteriormente, como número de entradas y salidas requeridas, también de acuerdo a la elección del software SCADA, además por la facilidad de programarlo y adquirirlo en nuestro medio.

Según la tabla 3 para este proyecto se requiere de 5 salidas digitales y 6 entradas analógicas, esto conduce en la utilización de un PLC permitan manejar estas señales, así se ha seleccionado el PLC Siemens s71200 AC/DC Relé, por su gran facilidad de adquirirlo, cuenta con un puerto de comunicación Ethernet y además por encontrar gran información para su programación tanto en sitios web, como en capacitaciones dentro de nuestra región. Las características de este PLC se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Características del PLC S71200 CPU 1212C AC/DC/Relé

Alimentación	110/220 VAC
Memoria de trabajo	50 kB
Memoria de carga	1 MB
Entradas digitales integradas	8 DI 24 VDC
Salidas digitales integradas	6 DO tipo relé
Entradas analógicas integradas	2 AI (voltaje)
Capacidad de ampliación	1 signal board, 2 módulos de señal
Puerto de comunicación	Interfaz Ethernet Rj45

**Fuente:** (Lista de precios Ecuador, 2012)

En vista de que las entradas analógicas integradas en este PLC no son suficientes para este proyecto, es necesario adquirir módulos de señales analógicas los cuales son un

módulo SM1231 de cuatro señales analógicas para sensores tipo RTD, además se adquiere un módulo SB1221 (Signal Board) para una termocupla, el cual es insertado dentro del autómata (figura 19).



**Figura 19.** PLC y módulos de señales analógicas utilizados para el sistema SCADA

**Fuente:** El autor

#### **e.2.1.2.4 Selección del dispositivo para la red inalámbrica**

Para seleccionar el medio de comunicación de un SCADA se debe tomar en consideración las necesidades de transmisión de la aplicación, la localización del centro de control y sitios remotos, las distancias entre los sitios y el presupuesto asignado al proyecto. Puede ser una línea física, línea pública telefónica, a través del medio atmosférico, a través de las líneas de alta tensión, etc.

Ya que en este proyecto se ha tomado la decisión de armar una red inalámbrica WLAN para la comunicación entre MTU y dispositivo de control, el próximo paso es seleccionar el estándar de tecnología inalámbrica, basado en el análisis de las necesidades y las opciones de mercado mediante los estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) que es un conjunto de especificaciones para un dispositivo determinado. Para la construcción de redes inalámbricas de área local existen tres estándares disponibles en productos de mercado para seleccionar, estos son: IEEE 802.11 a, IEEE 802.11 b. y IEEE 802.11 g.

**802.11a** - Un estándar de red inalámbrica IEEE que especifica una tasa de transferencia de datos máxima de 54 Mbps y una frecuencia de funcionamiento de 5GHz. Típicamente responde al rango entre los 7.5 y 22 metros en ambientes interiores.

**802.11b** - Un estándar de red inalámbrica IEEE que especifica una velocidad de transferencia de datos máxima de 11 Mbps y una frecuencia de trabajo de 2.4GHz. Suele estar en un rango operativo entre 30 y 45 metros.

**802.11g** – Este estándar de red inalámbrica especifica una velocidad de transferencia de datos máxima de 54 Mbps, una frecuencia de operación de la compatibilidad de 2,4 GHz, y hacia atrás con dispositivos 802.11b. Típicamente se trabaja en el rango entre 30 y 45 metros en ambientes interiores, dependiendo de los mobiliarios y los materiales de construcción de muros.

Entre estos estándares disponibles se ha seleccionado un dispositivo con características del estándar IEEE 802.11 b, considerando que la distancia entre MTU y RTU será aproximadamente 15 m en un ambiente cerrado, este dispositivo es el módem D-Link Dir 610 (figura 20).



**Figura 20.** Módem D-Link Dir 610

**Fuente:** El autor

### **e.2.1.3 Fase 3: Instalación los equipos adquiridos**

Para la disposición de todos los elementos físicos adquiridos es necesaria la instalación de un tablero de control, donde se encuentran todas las entradas de los sensores y actuadores del banco que interactuarán con el PLC.



**Figura 21.** Elaboración del tablero de control (1)

**Fuente:** El autor



**Figura 22.** Elaboración del tablero de control (2)

**Fuente:** El autor



**Figura 23.** Banco de refrigeración con todos los elementos que permiten realizar el sistema SCADA

**Fuente:** El autor

En las figura 21 y figura 22 se muestra la elaboración del tablero de control, posteriormente en la figura 23 se muestra este tablero instalado en el banco de refrigeración.

#### e.2.1.4 Fase 4: Programación del software SCADA, PLC y equipo de comunicación

En esta fase se desarrolló la estructura del SCADA a través de las herramientas que posee el software Movicon 11.3 en versión demo, desarrollando los sinópticos que intervienen en el control y supervisión del proceso del banco de refrigeración. Además fue necesaria la programación del PLC, configuraciones de la MTU y preparar la plataforma de comunicación vía inalámbrica por medio del modem D-Link.

##### e.2.1.4.1 Introducción al software Movicon

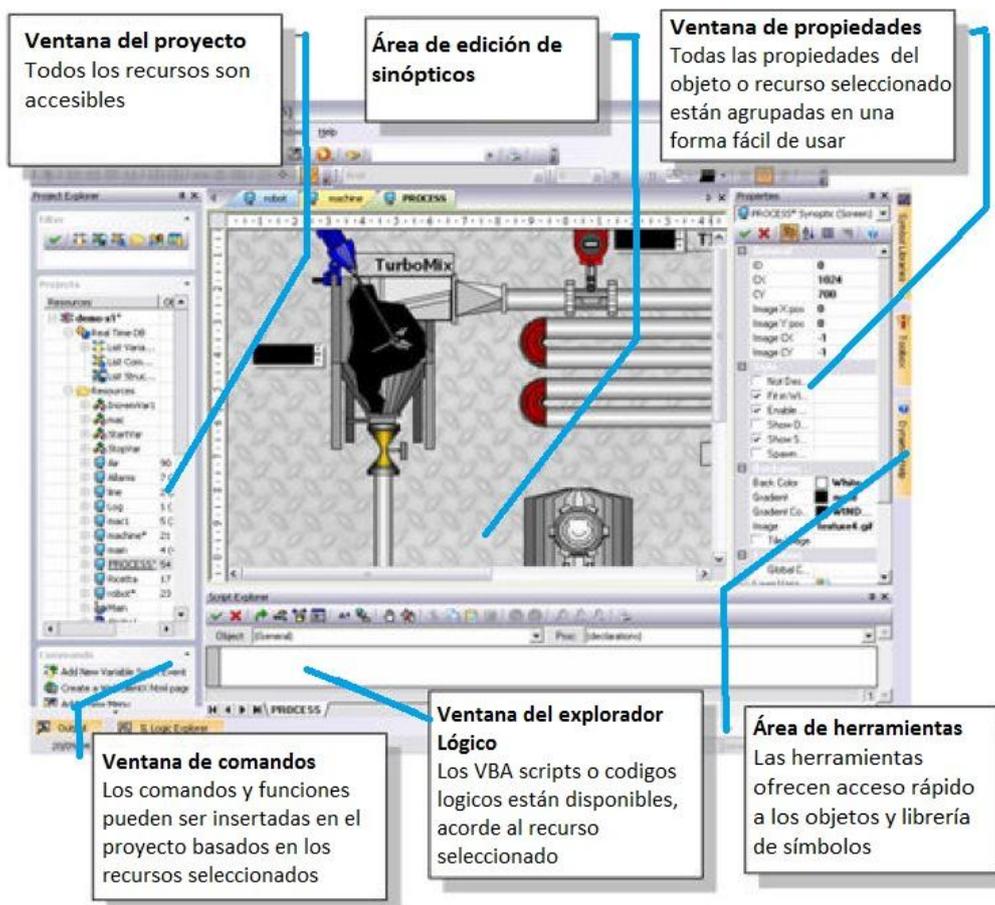


Figura 24. Área de trabajo en el software Movicon

Fuente: El autor

Movicon 11.3 presenta dos modalidades de funcionamiento que son: desarrollo (figura 24) que permite crear y editar el proyecto, mediante configuraciones en las propiedades

y demás recursos; y la segunda de runtime que permite la ejecución (figura 61), donde el usuario visualiza los datos y comandos acorde a como fueron desarrolladas, permitiendo la interacción del usuario con el proceso industrial.

En el anexo 2 se da una demostración rápida de las principales técnicas de la plataforma de Movicon SCADA utilizadas para el desarrollo de la interfaz gráfica creada en este proyecto mediante pantallas, las cuales se muestran en el siguiente capítulo de este proyecto.

**Registrador de datos de Movicon.-** La herramienta de registro de datos de Movicon permite la grabación automática de los datos del proyecto, los cuales permiten crear reportes necesarios del comportamiento de las variables del banco de refrigeración.

Los archivos de registro especifican datos en un archivo de base de datos compatible con el estándar ODBC (Open DataBase Connectivity) o conectividad abierta de base de datos, que es un software definido por un conjunto de bajo nivel de llamadas que permiten a las aplicaciones cliente y aplicaciones de servidores para el intercambio de instrucciones y compartir datos sin necesidad de saber nada el uno del otro. Se aplica a cualquier operación de cliente-servidor, ya sea o no las aplicaciones cliente y servidor residen en la misma máquina, o incluso en distintos ordenadores, o incluso si el servidor está en un equipo remoto que ejecuta un sistema operativo diferente.

El registrador de datos es una herramienta sencilla y potente que le permite gestionar los datos de producción sin necesidad de tener ningún conocimiento de programación, con opciones para especificar qué variable que desea grabar. A través de su ventana de propiedades, es posible configurar los modos de grabación, el tiempo y los acontecimientos de las variables.

OBDC implementado en Movicon hace que los modos de grabación sean totalmente personalizables, permitiendo, una grabación por el tiempo, por caso, por el cambio, durante intervalos de tiempo, con la habilitación, etc.

Los datos archivados (estado de variables) se pueden conectar a tendencias y al generador de reportes de Movicon. Estos archivos se guardan en la misma carpeta donde se crea el proyecto de Movicon.

Las variables que se utilizó para la creación del proyecto en Movicon se las mencionan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Variables utilizadas en el proyecto desarrollando en Movicon

<b>Nombre de variable</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Dirección física</b>	<b>Aplicación</b>
botonparada_emergencia	bool	DB1.DBX0.0	Botón parada de emergencia en la pantalla principal
botonprepararsistema	bool	DB1.DBX0.4	Botón de preparar sistema en la pantalla principal
botonEV1	bool	DB1.DBX0.2	Botón de para seleccionar EV1 en la pantalla principal
botonEV2	bool	DB1.DBX0.3	Botón de para seleccionar EV2 en la pantalla principal
botonencendido	bool	DB1.DBX0.1	Botón de encendido del sistema en la pantalla principal
compresor	bool	DB1.DBX0.5	Luz indica estado del compresor
EV1	bool	DB1.DBX2.0	Luz indica estado de la EV1
EV2	bool	DB1.DBX2.1	Luz indica estado de la EV2
Error_PLC	Word	DB1.DBW4	Envía señal de alarma en caso de detectar desconexión o rotura de cables de todos los sensores.
FLOW_ON1	bool	DB1.DBX2.3	Animación de flujo cuando se enciende EV1
FLOW_ON2	bool	DB1.DBX2.4	Animación de flujo cuando se enciende EV2
p1setpoint	Int	DB1.DBW22	Selecciona presión de alta, en la pantalla de configuraciones
p2setpoint	Int	DB1.DBW24	Selecciona presión de baja, en la pantalla de configuraciones
Presion_alta	Int	DB1.DBW16	Muestra en la presión de alta en la pantalla principal
Presion_baja	Int	DB1.DBW18	Muestra en la presión de baja en la pantalla principal
retardocompresor	time	DB1.DB40	Establece el tiempo en segundos mínimo de funcionamiento del compresor
T1	Int	DB1.DBW16	Muestra la temperatura a la entrada del condensador
T2	Int	DB1.DBW8	Muestra la temperatura a la salida del condensador
T3	Int	DB1.DBW10	Muestra la temperatura a la entrada

			del evaporador
T4	Int	DB1.DBW12	Muestra la temperatura a la salida del evaporador
T5	Int	DB1.DBW14	Muestra la temperatura dentro de la cámara de refrigeración
T5setpoint	Int	DB1.DBW20	Selecciona la temperatura deseada dentro la cámara de refrigeración
V1_condens	bool	DB1.DBX0.6	Muestra el estado del ventilador del condensador mediante una animación
V2_evaporad	bool	DB1.DBX0.7	Muestra el estado del ventilador del evaporador mediante una animación dentro de la pantalla principal

**Fuente:** El autor

#### e.2.1.4.2 Programación del PLC

El software Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) ó Portal de Automatización Totalmente Integrado, permite la programación de los PLC's SIMATIC S7 1200 de una manera rápida, mediante diferentes herramientas como “drag and drop” (arrastrar y soltar), editores gráficos y detección de fallas, además permite la configuración de pantallas HMI y variadores de velocidad SIEMENS. En el anexo 1 se detalla el proceso para realizar un proyecto utilizando un PLC S71200.

Antes de iniciar con la programación del controlador, primero se da a conocer como se conforman las variables y los datos soportados en el s7 1200.

Una variable se compone de tres elementos:

- **Nombre.-** El nombre de una variable es válido para un controlador y no puede aparecer más de una vez en todo el programa (ejemplo: Compresor).
- **Tipo de datos.-** Con el tipo de datos ejemplo booleano (BOOL) se definen la representación de los valores y el rango admisible. Si se selecciona el tipo de datos BOOL, por ejemplo, se determina que una variable sólo pueda adoptar los valores binarios "0" y "1".

- **Dirección.-** La dirección de una variable es absoluta y define el área de memoria del PLC del que la variable lee o escribe un valor. Ejemplos áreas de memoria son entradas, salidas y marcas. (I, Q, M, respectivamente).

**Tipos de datos soportados por el S7-1200.-** Los tipos de datos se utilizan para determinar el tamaño de un elemento de datos y cómo deben interpretarse éstos. La tabla 6 muestra los tipos de datos soportados por el autómata programable utilizado.

**Tabla 6.** Tipo de datos soportados por el PLC S7 1200

Tipo de datos	Tamaño (bits)	Rango
Bool (booleano)	1	0 a 1
Byte (byte)	8	0 a 255
Word (palabra)	16	0 a 65 535
Dword (doble palabra)	32	0 a 4294967295
Int (entero)	16	-32.768 a 32.767
Dint (doble entero)	32	-2.147.483.648 a 2.147.483.647
USInt (entero corto sin signo)	8	0 a 255
Real (real)	32	+/-1,18 x 10 <sup>-38</sup> a +/-3,40 x 10 <sup>38</sup>

**Fuente:** Manual del sistema (Siemens, 2009)

Para entender mejor se tiene que un "bit" o "dígito binario" es la unidad de información más pequeña en un sistema digital. Un bit almacena uno de dos estados posibles, bien sea "0" (falso) ó "1" (verdadero). Un interruptor de luz es un ejemplo de una variable asignada al tipo "binario" con sólo dos estados (variables digitales). El interruptor de luz determina el estado "encendido" o "apagado" y este "valor" se puede guardar en un bit, así, si la luz está encendida ("verdadero"), el valor es 1. Si la luz está apagada ("falso"), el valor es 0.

Una variable analógica (ejemplo temperatura medida en °C) de tipo de dato entero (Int) representa un número entero que es almacenado en 16 bits en la memoria del PLC, este número solo puede estar dentro su rango, es decir solo se pueden almacenar valores de temperatura entre -32.768 °C a 32.767 °C.

Con todos estos conceptos descritos se ha desarrollado la programación del autómata programable, utilizando sus entradas y salidas acorde a la tabla 7 y tabla 8 respectivamente. Los símbolos mostrados de cada variable son utilizados para la programación del PLC que se la ha realizado en lenguaje KOP (esquema de contactos).

La unidad de medida de presión que se trabaja en este sistema es PSI, mientras que los valores de temperatura serán expresados en grados centígrados.

**Tabla 7.** Asignación de las entradas del PLC

Dirección en memoria del PLC	Variable a medir	Tipo de dato	Símbolo
IW96	Temperatura entrada de condensador	Int	sensorT1
IW98	Temperatura salida de condensador	Int	sensorT2
IW100	Temperatura entrada de evaporador	Int	sensorT3
IW102	Temperatura salida de evaporador	Int	sensorT4
IW80	Temperatura cámara de refrigeración	Int	sensorT5
IW64	Presión de alta	Int	sensorP1
IW66	Presión de baja	Int	sensorP2

**Fuente:** El autor

Para la interacción de las variables del autómata con las del proyecto creado en Movicon dentro del MTU, se lo tiene que realizar mediante bloques de datos (DB) en el PLC. De esta manera se direccionan las variables de Movicon a la memoria del PLC para poder leer el estado de estas variables (temperatura, presión) y además poder escribir datos en el programa desarrollado.

**Tabla 8.** Asignación de las salidas del PLC

Dirección en memoria del PLC	Variable a controlar	Tipo de dato	Símbolo
Q0.0	Compresor	Bool	compresor
Q0.1	Ventilador condensador	Bool	V1_condensador
Q0.2	Ventilador evaporador	Bool	V2_evaporador
Q0.3	Electroválvula1 (válvula de expansión)	Bool	EV1
Q0.4	Electroválvula 2 (tubo capilar)	Bool	EV2

**Fuente:** El autor

Los bloques de datos son utilizados para almacenar diferentes tipos de datos del usuario, incluyendo el estado intermedio de una operación u otros parámetros de control, es posible determinar que un bloque de datos sea de lectura/escritura o de sólo lectura. Por tanto, los bloques de datos contienen datos de variables, con los que trabaja el programa de usuario.

Se han creado cuatro bloques de datos, mismos que se detallan en la tabla 9, 10, 11 y 12, dos bloques para variables digitales y dos para variables analógicas.

El bloque de datos DB1 de la tabla 9 es el encargado de enviar las acciones realizadas por el usuario hacia el PLC para encender o parar todo el sistema. En el caso de las tres últimas variables son utilizadas para enviar datos desde el PLC hacia el HMI, como por ejemplo el estado (on/off) en que se encuentra el compresor, ventiladores del condensador y evaporador.

**Tabla 9.** Bloques de datos (DB1) del PLC para comunicar variables digitales con el HMI

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Dirección en memoria del PLC</b>	<b>Uso de la variable</b>
db 1[0]	bool	DB1.DBX0.0	Botón paro de emergencia
db 1[1]	bool	DB1.DBX0.1	Botón encendido
db 1[2]	bool	DB1.DBX0.2	Botón EV1
db 1[3]	bool	DB1.DBX0.3	Botón EV2
db 1[4]	bool	DB1.DBX0.4	Botón preparar sistema
db 1[5]	bool	DB1.DBX0.5	Mostrar estado del compresor
db 1[6]	bool	DB1.DBX0.6	Mostrar estado ventilador de condensador
db 1[7]	bool	DB1.DBX0.7	Mostrar estado ventilador de evaporador

**Fuente:** El autor

La tabla 10 muestra el bloque de datos DB2, el cual permite enviar los valores de temperatura y presión que son adquiridos desde las entradas del PLC para enviarlas y visualizarlas en el HMI, adicionalmente se ha creado una variable para que muestre una señal en el HMI cuando se desconecte o no se encuentre uno o varios de los sensores instalados.

**Tabla 10.** Bloques de datos (DB2) del PLC para comunicar variables analógicas con el HMI

Nombre	Tipo de dato	Dirección en memoria del PLC	Uso de la variable
db 2[0]	int	DB1.DBW4	Envía señal de alarma al HMI en caso de detectar desconexión o rotura de cables de los sensores.
db 2[1]	int	DB1.DBW6	Mostrar valor de T 1
db 2[2]	int	DB1.DBW8	Mostrar valor de T 2
db 2[3]	int	DB1.DBW10	Mostrar valor de T 3
db 2[4]	int	DB1.DBW12	Mostrar valor de T 4
db 2[5]	int	DB1.DBW14	Mostrar valor de T 5
db 2[6]	int	DB1.DBW16	Mostrar valor de P 1
db 2[6]	int	DB1.DBW18	Mostrar valor de P 2

**Fuente:** El autor

En la tabla 11 se muestra el bloque de datos DB3 creado para enviar datos desde el HMI hacia el PLC para poder visualizar las animaciones de flujo de gas, cuando se activan las electroválvulas y cuando comienza a circular fluido por las tuberías del banco. Además al momento de que las electroválvulas o ventiladores estén activados ya en el PLC, se enviarán señales para que se pueda ver el estado de éstas en el MTU.

**Tabla 11.** Bloques de datos (DB3) del PLC para comunicar variables digitales con el HMI

Nombre	Tipo de dato	Dirección en memoria del PLC	Uso de la variable
db 3[0]	bool	DB1.DBX2.0	Animación estado de EV1
db 3[1]	bool	DB1.DBX2.1	Animación estado de EV2
db 3[2]	bool	DB1.DBX2.2	Animación flujo de gas en tubería
db 3[3]	bool	DB1.DBX2.3	Animación para flujo cuando EV1 está encendida
db 3[4]	bool	DB1.DBX2.4	Animación para flujo de refrigerante cuando EV2 se encuentra encendida

**Fuente:** El autor

En la tabla 12 Tabla 12 se muestra el bloque de datos DB4 creado para enviar datos desde el HMI hacia el PLC con los valores de temperatura de la cámara de refrigeración, presión de alta y baja con los cuales el usuario desea que trabaje el sistema.

**Tabla 12.** Bloques de datos (DB4) del PLC para comunicar variables analógicas con el HMI

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Dirección en memoria del PLC</b>	<b>Uso de la variable</b>
db 4[0]	int	DB1.DBW20	Setpoint cámara de refrigeración
db 4[1]	int	DB1.DBW22	Establecer presión alta
db 4[2]	int	DB1.DBW24	Establecer presión de baja

**Fuente:** El autor

Las direcciones asignadas a cada variable deben de ser iguales tanto para el PLC y el proyecto de Movicon creado en la MTU, de esta manera se asegura una escritura y lectura de datos en las pantallas desarrolladas para la interfaz gráfica.

Esto permite, por ejemplo, que al pulsar el botón de encendido en la pantalla principal, ésta sea leída por el PLC y desarrolle las acciones que están programadas en él, para luego tomar las acciones sobre los actuadores y además enviar información a la MTU para visualizar el estado de variables (por ejemplo compresor encendido) al mostrar una luz verde o roja que indican su estado.

En las figuras 25, 26, 27 y 28 se muestran los bloques de programación realizados en Tia Portal mediante el lenguaje KOP (esquema de contactos), los cuales permiten el control del banco de refrigeración, así como la adquisición de datos para visualizarlos en el HMI.

El segmento uno y dos (figura 25 y 26) ocupa la base de datos la cual permite la comunicación de las variables entre PLC y el software Movicon.

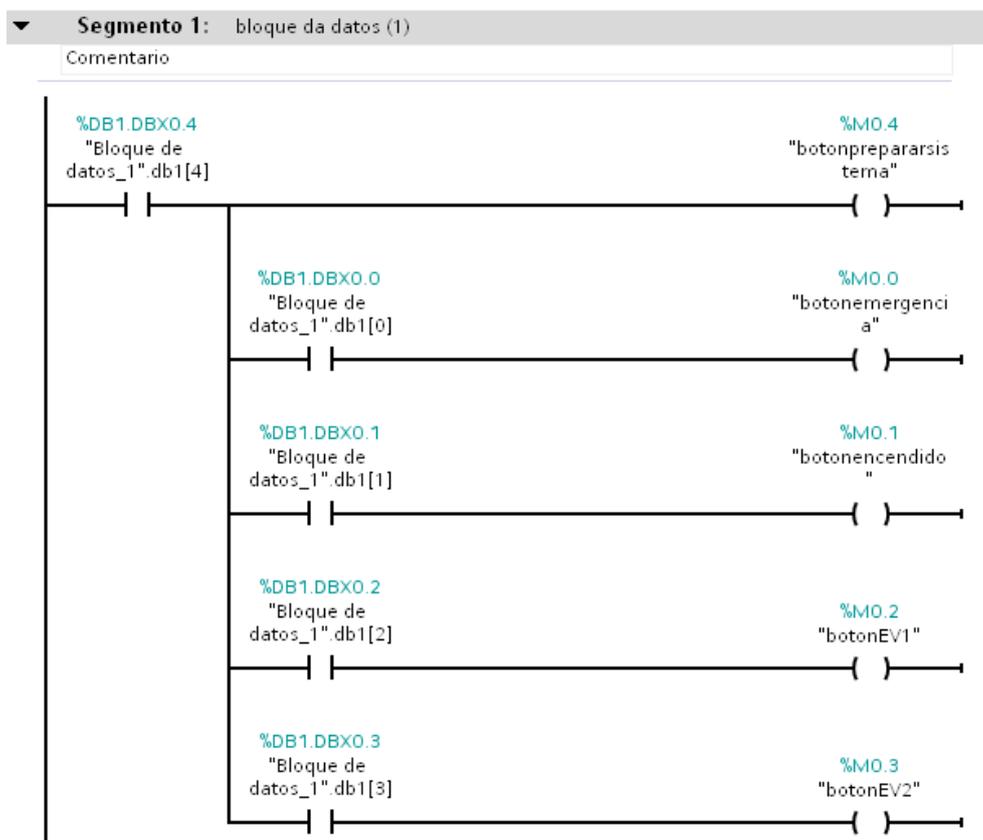
En el segmento tres (figura 27) se ha colocado la instrucción Set Reset, que permite encender el sistema, en caso de pulsar el botón de paro de emergencia el sistema se detiene.

El segmento cuatro y cinco de la figura 27 se utilizan para encender las electroválvulas desde el HMI.

En el siguiente segmento la instrucción Led permite enviar una señal al HMI, cuando el PLC detecte desconexión o rotura de hilo de los sensores.

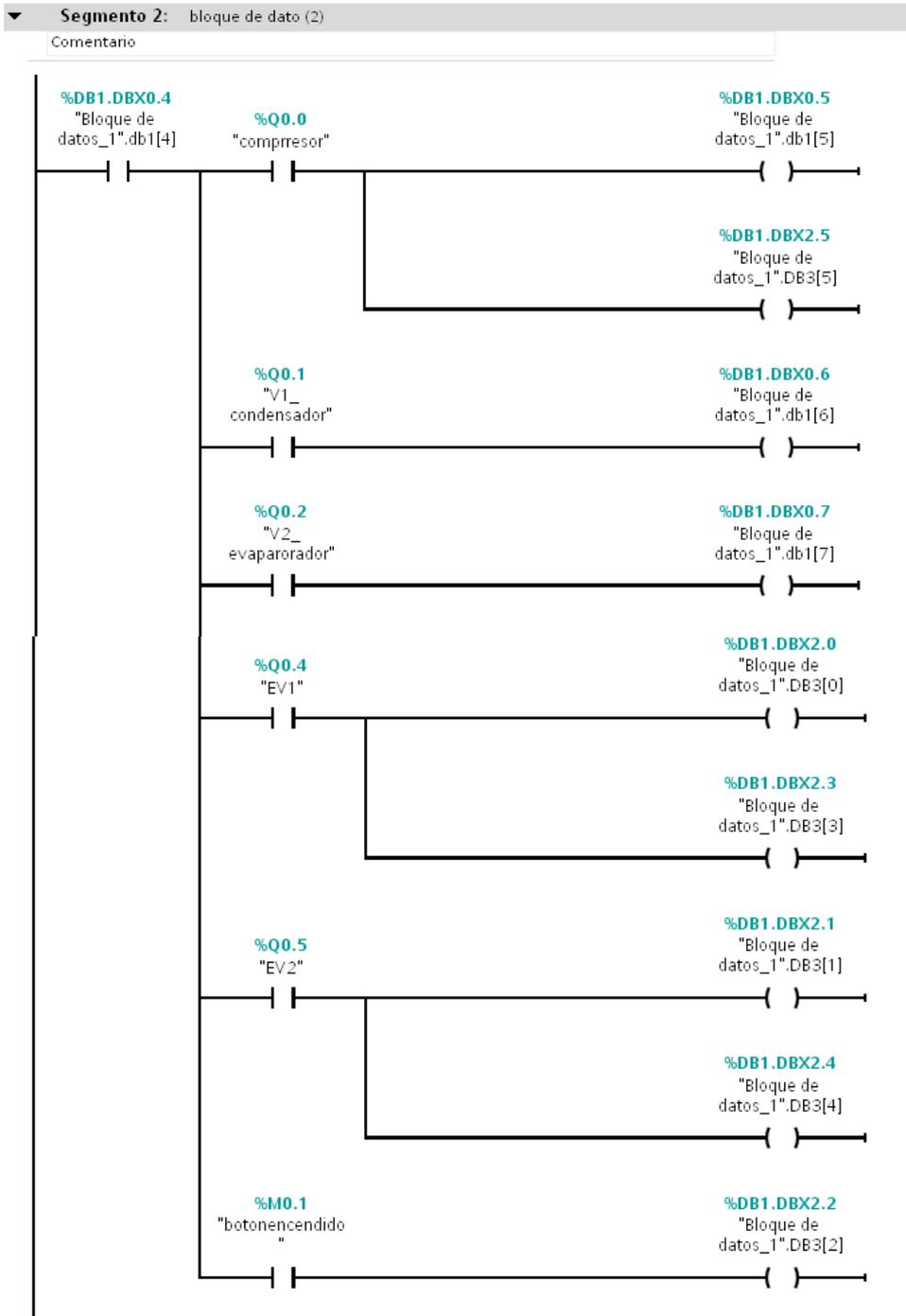
El segmento siete permite encender el compresor cuando la temperatura y presiones del lado de alta y baja se encuentren entre los valores normales de trabajo establecidos, además se debe encontrar encendida una de las electroválvulas, al final del segmento se ha colocado la instrucción de retardo de tiempo a la desconexión para impedir el trabajo en ciclos cortos del compresor.

En la siguiente línea del segmento siete (figura 28) se ha colocado la instrucción de retardo a la conexión para que una vez que el compresor arranque se espere 4 segundos para el encendido de los ventiladores del evaporador y condensador.



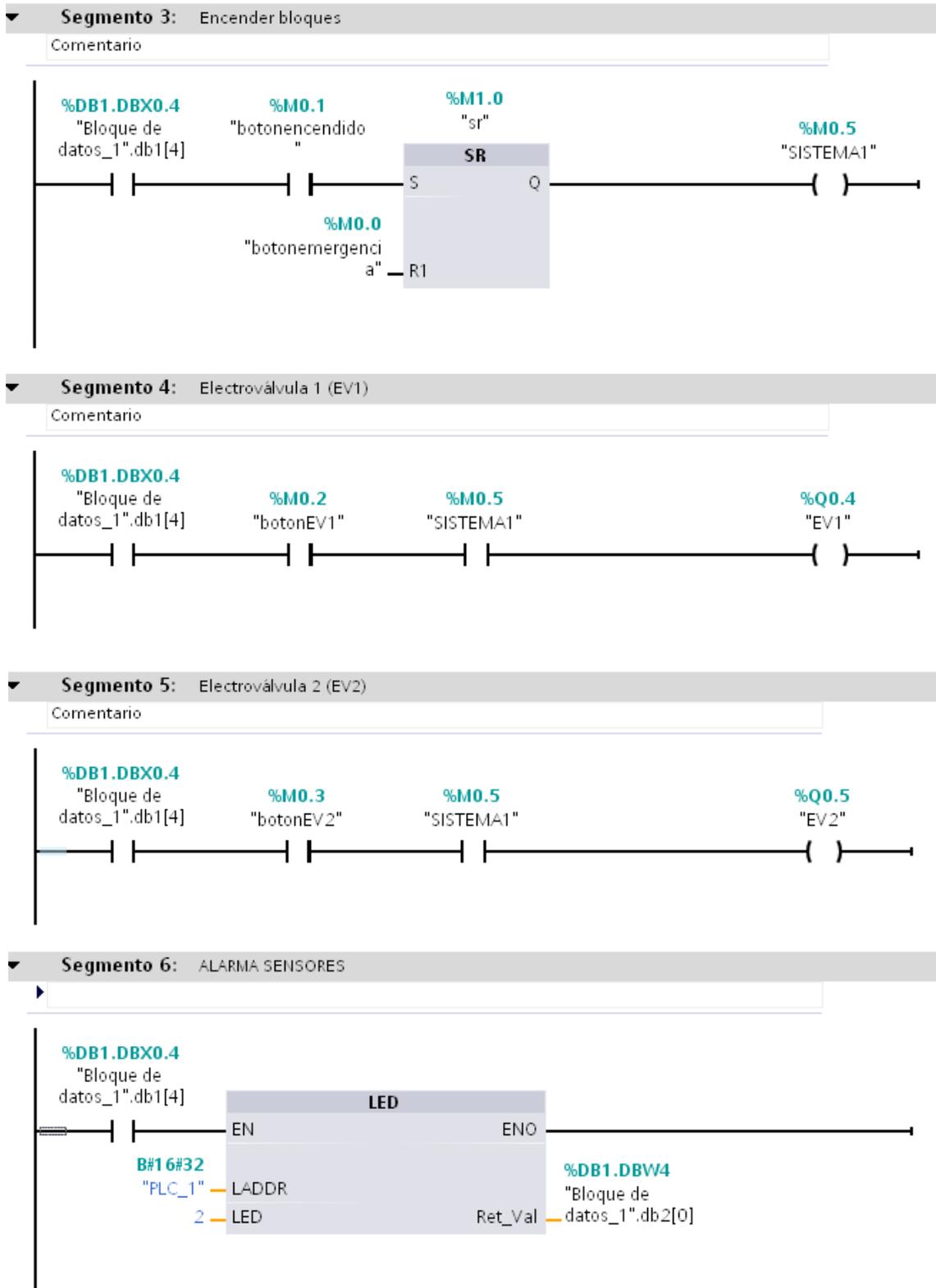
**Figura 25.** Segmento 1 de la programación de bloques en TIA Portal del PLC

**Fuente:** El autor



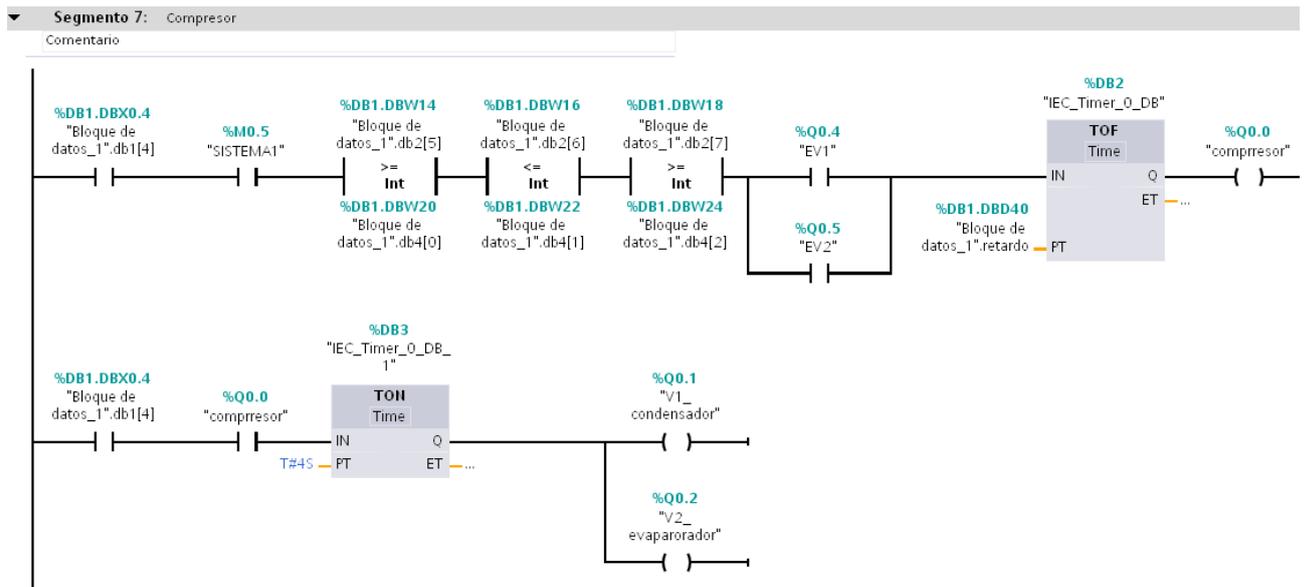
**Figura 26.** Segmento 2 de la programación de bloques en TIA Portal del PLC

**Fuente:** El autor



**Figura 27.** Segmentos 3, 4, 5 y 6 de la programación de bloques en TIA Portal del PLC

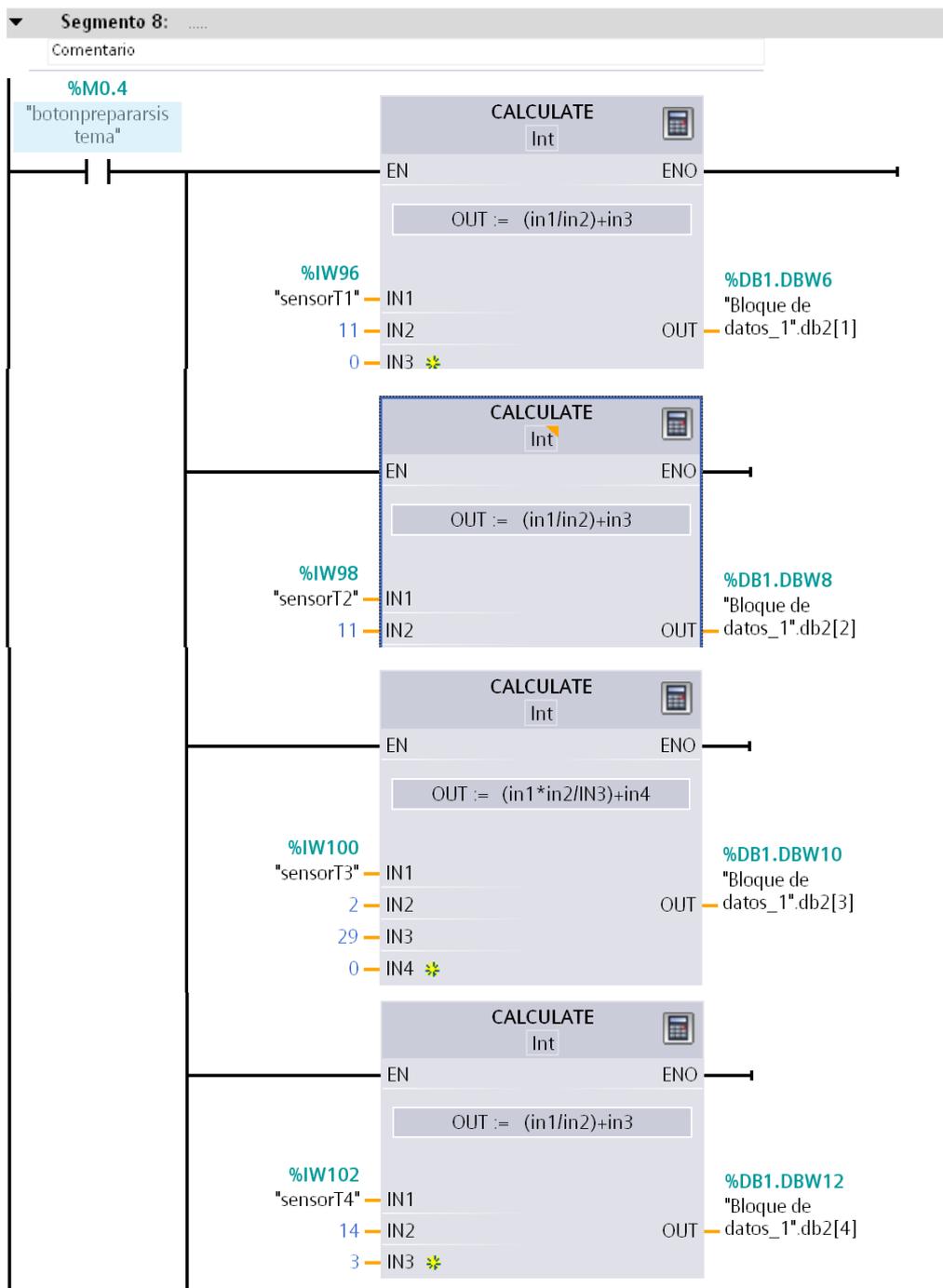
**Fuente:** El autor



**Figura 28.** Segmento 7 de la programación de bloques en TIA Portal del PLC

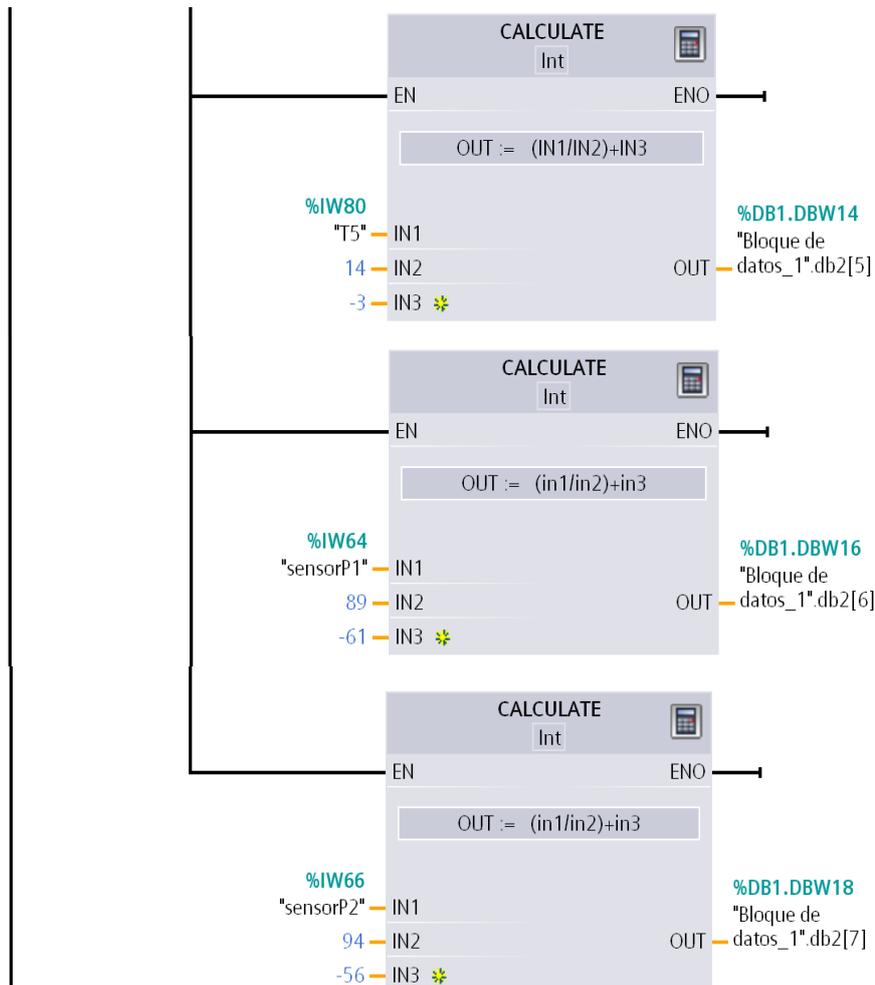
**Fuente:** El autor

En la figura 29 y figura 30 se muestran los bloques que se utilizan para el tratamiento de las señales analógicas de temperatura y presión, donde se ha utilizado la instrucción CALCULATE, la cual permite crear una función matemática que se ejecuta con múltiples parámetros de entrada para obtener el resultado en función de una ecuación definida, para que el valor de salida muestre los valores en el HMI reales a los que se midan en el banco de refrigeración.



**Figura 29.** Segmento 8 de la programación de bloques en TIA Portal del PLC

**Fuente:** El autor



**Figura 30.** Segmento 8 (continuación) de la programación de bloques en TIA Portal del PLC

**Fuente:** El autor

#### e.2.1.4.2 Configuración del módem D-Link

Una vez acondicionado el banco de refrigeración de acuerdo a los requerimientos planteados, además de culminar con la programación, configuraciones necesarias del PLC y del software Movicon, el siguiente punto es la comunicación entre estos elementos.

Para que exista comunicación entre el PLC y el MTU a través de Módem, es necesario asignar las direcciones IP a cada dispositivo, para este proyecto se han fijado las siguientes:

- MTU: 192.168.0.200
- PLC: 192.168.0.204
- Módem: 192.168.0.1

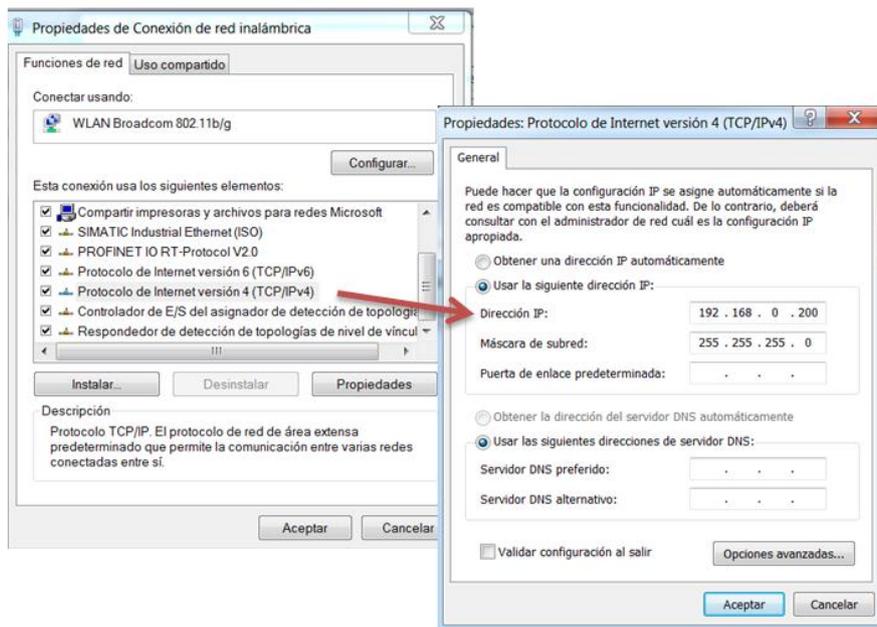
El nombre de la red WLAN creada para PLC y MTU es: **SCADAwlan**, el cual para el ingreso está protegido por una contraseña, esto se lo ha realizado mediante la página del asistente de configuración del módem D-Link la cual se detalla en la figura 31, donde se le asigna la dirección IP al módem, el nombre de la red y su contraseña de ingreso.



**Figura 31.** Asistente para configuración del módem D-Link

**Fuente:** El autor

Para poder tener acceso desde el MTU a la red creada es necesario configurar el computador para que tenga acceso, esto es asignar la dirección IP antes indicada, para ello, dentro del computador se ubica en el centro de redes y recursos compartidos, se abre la ventana de conexión de red inalámbrica, dentro de sus propiedades se selecciona protocolo de internet versión 4, donde se asignará una nueva dirección IP para la conexión de la red inalámbrica (figura 32).



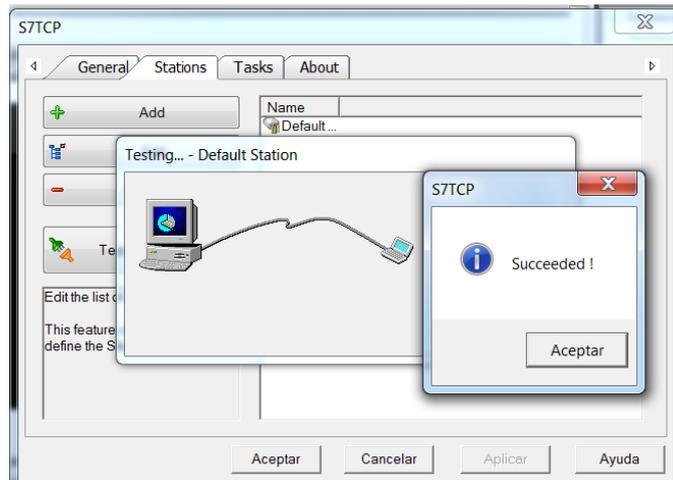
**Figura 32.**Asignar dirección IP al MTU

**Fuente:** El autor

#### e.2.1.5 Fase 5: Testeo del sistema

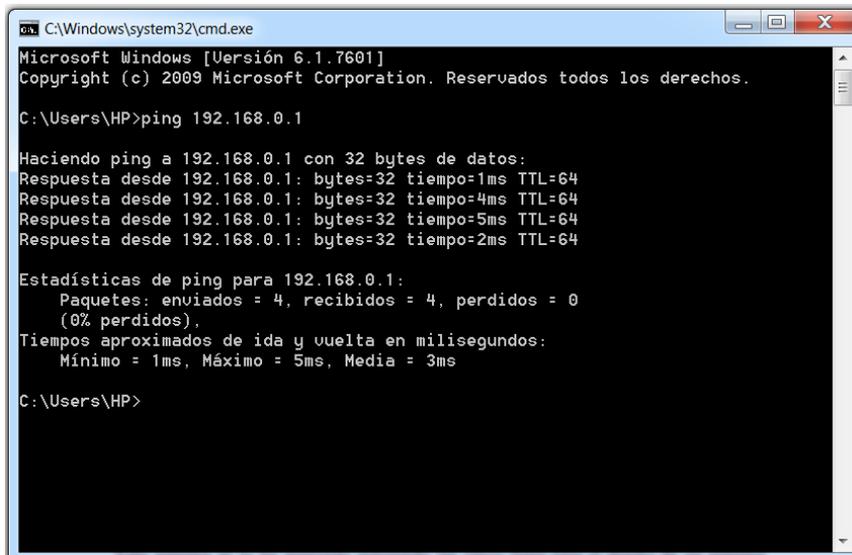
La fase final consiste en solucionar los problemas de programación en comunicaciones como en el software y demás inconvenientes que se presenten. Se ha realizado pruebas de comunicación desde la MTU hacia el PLC y el módem, la cual se presenta en la figura 33, que se la realiza desde el proyecto creado desde Movicon, esto permite visualizar si la estación creada se la ha realizado correctamente, permitiendo la comunicación con el PLC mediante el driver TCP IP.

La siguiente prueba se la realiza mediante el uso del comando ping que es una herramienta que permite probar conectividad entre sistemas que utilice TCP IP. Ping es una pequeña aplicación disponible en todos los sistemas Windows, que se ejecuta con el comando PING mediante la consola de CMD (comand o comando) que se lo busca en la lista de todos los programas > Accesorios > Símbolo del sistema. Es usada para probar la conectividad de redes. La figura 34 muestra la prueba de ping realizado desde la MTU hacia el módem donde se observa que no hay paquetes perdidos ya que este comando comprueba la conectividad de nivel IP en otro equipo TCP/IP al enviar mensajes de solicitud para luego mostrar la recepción de esto mensajes de solicitud, junto con sus tiempos de ida y vuelta.



**Figura 33.** Prueba satisfactoria de conectividad entre MTU y PLC

**Fuente:** El autor



**Figura 34.** Prueba de conectividad ping desde la estación maestra hacia el módem

**Fuente:** El autor

Además se ha realizado pruebas para la creación de reportes las cuales se muestran en los anexos 4, 5, 6 y 7 de este proyecto.

### **e.2.1.6 Valoración económica**

Los gastos generados en el desarrollo del proyecto para la implementación del sistema SCADA al banco de refrigeración ascienden a un monto de 1702.55 USD, en la tabla 13 se describe el costo de cada componente.

**Tabla 13.** Gastos realizados para la implementación del sistema SCADA

<b>Detalle</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario USD</b>	<b>Subtotal USD</b>
Electroválvula de ¼" para gas refrigerante	Unidad	2	65	130
Ventilador	Unidad	1	12.5	12.5
Gas refrigerante R22	kg	3	5	15
Capacitor de arranque (compresor)	Unidad	2	4.5	9
Relé amperimétrico	Unidad	1	4	4
Protector térmico ¼ HP	Unidad	2	1.75	3.5
Accesorios para tubería de cobre	Unidad	1	10	10
Relé industrial a 120V	Unidad	5	12	60
Cable flexible #18 AWG	Metro	15	0.27	4.05
Cable flexible #14 AWG	Metro	10	0.3	3
Borneras	Unidad	3	2.5	7.5
Puente de manómetros R22-12	Unidad	1	35	35
Tablero metálico 40x60x20 cm	Unidad	1	55	55
Canaleta ranurada	Metro	2	8	16
Riel Din	Metro	1	3	3
Módem D-Link DIR 610	Unidad	1	35	35
PLC S7 1200 ACDC	Unidad	1	375	375
Módulo de señal de 4 entradas analógicas para sensores tipo RTD	Unidad	1	465	465
Módulo para 1 termocupla (Signal Board)	Unidad	1	150	150
Termocupla	Unidad	1	10	10
Imprevistos	-	-	100	100
Mano de obra	horas	40	5	200
<b>TOTAL</b>				<b>1702.55</b>

**Fuente:** El autor

## f.- RESULTADOS

Dentro de este capítulo se presentan las funciones que cumple cada pantalla desarrollada para el sistema SCADA, así como también se describe el funcionamiento del sistema en general.

### f.1 Pantallas usadas para la HMI

La interface gráfica soporta toda la interacción entre el usuario y el proceso, incluyendo el acceso de usuarios, creación de reportes, setpoint (punto de consigna) para la temperatura en la cámara de refrigeración y visualización de todas las alarmas generadas por el sistema. La interfaz desarrollada para este proyecto consta de seis pantallas o sinópticos.

#### f.1.1 Pantalla de inicio

Tras ejecutar el modo runtime de Movicon aparece la pantalla inicial (figura 35) donde se considera el uso de un nivel de seguridad, con lo cual solo con una contraseña se puede ingresar a las demás pantallas del sistema.



Figura 35. Pantalla de inicio

Fuente: El autor

### f.1.2 Pantalla principal

En esta pantalla (figura 36) se visualiza el estado de las variables que están presentes en el banco de refrigeración, a continuación se detalla la distribución de los elementos en esta pantalla:

- A. Presión de alta.-** Muestra el valor en PSI de la presión en el lado de alta.
- B. Presión de baja.-** Muestra el valor en PSI de la presión en el lado de baja.
- C. Área de alarmas.-** Cuando una alarma es activada en esta área aparece el nombre de la alarma.
- D. Estación PLC.-** Al existir problemas de comunicación entre el MTU y el PLC se muestra una luz roja, en esta zona de lo contrario aparece una luz verde.
- E. Ventilador de condensador.-** Cuando éste se encuentra funcionando aparecerá un ventilador animado.
- F. T5.-** Se muestra la temperatura en °C dentro de la cámara de refrigeración (evaporador).
- G. Ventilador de evaporador.-** Cuando se encuentra en funcionamiento se muestra un ventilador animado.
- H. Compresor.-** Muestra el estado del compresor, así cuando está encendido aparecerá una luz verde, al momento de apagarse aparece una luz roja.
- I. EV1.-** Cuando se desea trabajar con la válvula de expansión este mostrará una luz verde, indicando su estado ON.
- J. EV2.-** Al momento de trabajar con el tubo capilar se muestra una luz verde que indica su estado de encendido.
- K. Paro emergencia.-** Si por cualquier motivo se pulsa este botón se detendrá todo el sistema.
- L. Preparar sistema.-** Al pulsar este botón se puede visualizar los valores de temperatura medidos por los sensores de presión y temperatura.
- M. Botón EV1.-** Cuando se selecciona se puede trabajar con la válvula de expansión.
- N. Botón EV2.-** Se selecciona para trabajar con el tubo capilar. El sistema solo permite trabajar con un dispositivo de expansión.

- O. Encendido.-** Solo permite encender el sistema si inicialmente se ha pulsado el botón de preparar sistema, si se ha seleccionado un dispositivo de expansión y si está fijada la temperatura de setpoint de la cámara de refrigeración entre 2 y 15°C.
- P. T1.-** Muestra el valor de temperatura en °C a la entrada del condensador.
- Q. T2.-** Muestra el valor de temperatura en °C a la salida del condensador.
- R. T3.-** Muestra el valor de temperatura en °C a la entrada del evaporador.
- S. T4.-** Muestra el valor de temperatura en °C a la salida del evaporador.
- T. Monitoreo.-** Lleva a la pantalla principal, también se lo puede hacer pulsando F1 desde el teclado.
- U. Alarmas.-** Abre la pantalla de alarmas, también se puede pulsar F2 en el teclado.
- V. Configuraciones.-** Abre la ventana de configuraciones, se puede utilizar F3.
- W. Gráficas.-** Permite llevar a la ventana de gráficas, se puede pulsar F4.
- X. Ayuda.-** Lleva a la ventana de ayuda, se puede utilizar F5 en el teclado.
- Y. Salir.-** Permite salir del estado de runtime de Movicon. Para ello previamente es necesario que los botones L, M, N y O se encuentren en posición OFF.

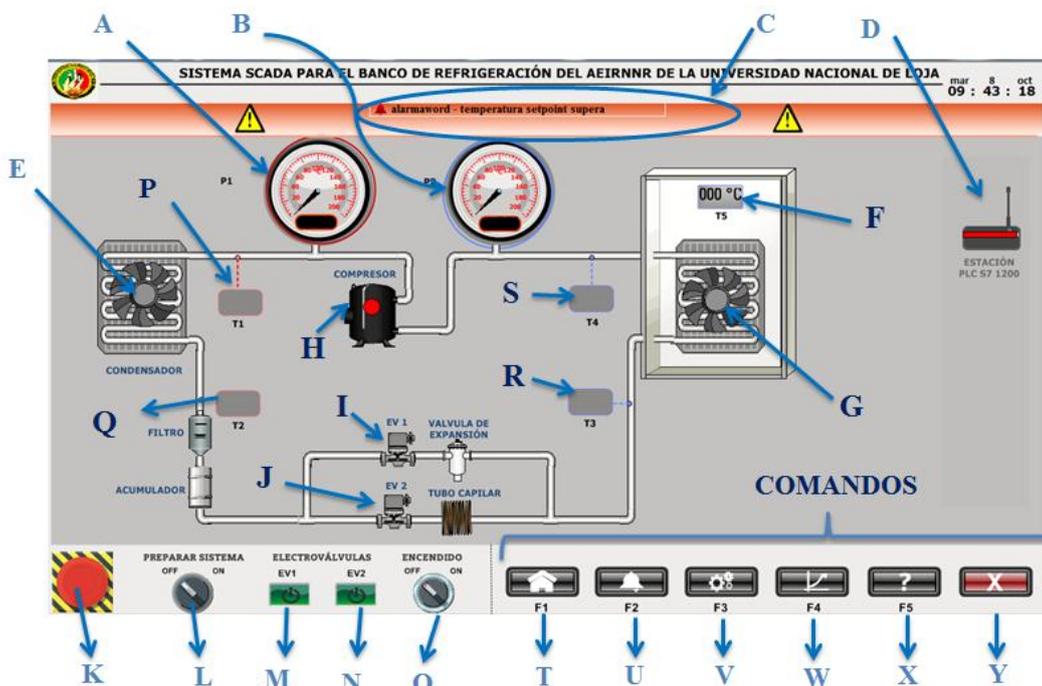


Figura 36. Pantalla principal

Fuente: El autor

Los botones de comandos excepto el botón Y se muestran en las pantallas de alarmas, configuraciones, tendencia e históricos y en la pantalla de ayuda; permitiendo de esta manera poder desplegarse desde cualquier pantalla a la deseada, con la opción de poder usar el teclado del MTU.

### f.1.3 Pantalla de alarmas

Se obtiene un resumen de las diferentes alarmas que se han activado con opción al reseteo y reconocimiento de las mismas (figura 37). Además permite un registro de las alarmas activadas, para luego poder imprimir un reporte de estas, así se permite determinar la frecuencia con las que se producen las alarmas.

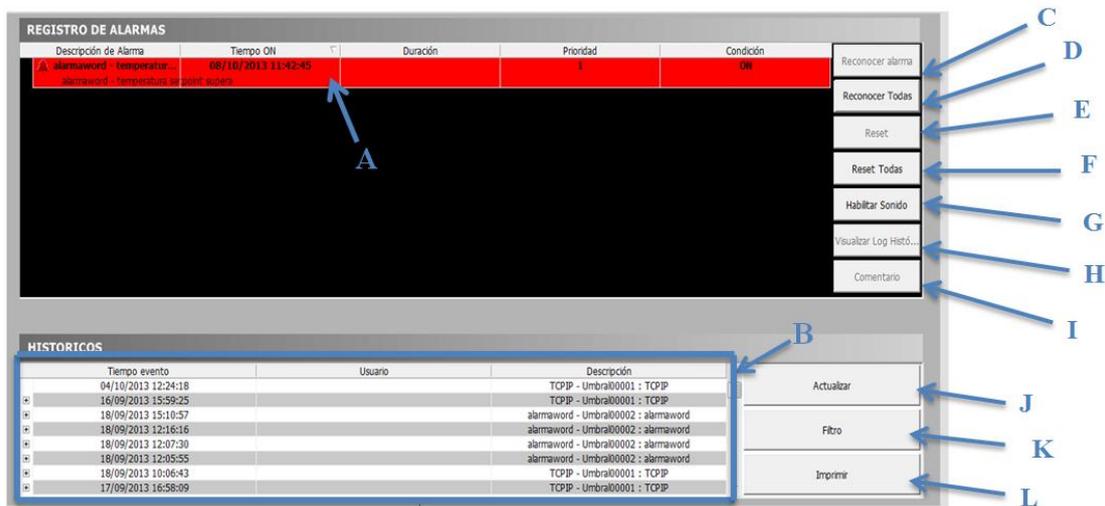


Figura 37. Pantalla de alarmas

Fuente: El autor

A continuación se detallan los componentes en esta pantalla (figura 37):

- A. Alarmas activadas.-** Al activarse una alarma aparece en esta zona.
- B. Históricos.-** Muestra el estado de todas las alarmas las cuales ya son grabadas en el registrador de datos de Movicon.
- C. Reconocer alarma.-** Reconoce que ya se ha revisado una alarma seleccionada, para ya no visualizarla en la pantalla principal.
- D. Reconocer todas.-** Reconoce que ya se ha revisado todas las alarmas.
- E. Reset.-** Una vez reconocida la alarma seleccionada, se la puede eliminar con este botón.

- F. Reset todas.-** Elimina todas las alarmas que ya se han reconocido.
- G. Habilitar sonido.-** Permite habilitar o deshabilitar un sonido cuando una alarma está activada, el sonido se genera automáticamente; por el contrario al reconocerlas el sonido desaparece.
- H. Visualizar log histórico.-** Muestra un registro histórico del estado de la alarma seleccionada.
- I. Comentario.-** Se puede escribir un comentario en la alarma que se ha seleccionado.
- J. Actualizar.-** Actualiza los valores que se visualizan en (B).
- K. Filtro.-** Permite seleccionar el intervalo de tiempo que se desea visualizar en (B) para luego crear un reporte.
- L. Imprimir.-** Al pulsar en este botón se crea un reporte de alarmas en archivo PDF (anexo 4), al cual se lo podrá guardar, para luego poderlo imprimir.

El texto que se muestra en la zona C de la figura 36 y en la zona A de la figura 37, cuando se genera una alarma se muestra a continuación:

- **Error\_Estacion\_PLC:** Cuando existe fallo en la comunicación entre MTU y RTU.
- **Error\_PLC:** En caso de rotura de hilo o simple desconexión de los sensores a las entradas analógicas del dispositivo de control.
- **Parada\_emergencia:** Al activar el botón de paro de emergencia desde la pantalla principal.
- **Presión\_baja:** En el momento que el valor de la presión de baja se encuentra por debajo de 10 PSI.
- **Presión\_alta:** Cuando la presión de alta supera los 160 PSI.

### f.1.4 Pantalla de configuraciones

Los elementos que conforman esta pantalla (figura 38) son los siguientes:

- A. Setpoint.-** Permite establecer el valor de temperatura deseada dentro de la cámara de refrigeración (de 2 a 15 °C). Además se establece el valor de la presión máxima (160 PSI) y mínima (10 PSI) para que el banco de refrigeración funcione normalmente, en caso de sobrepasar estos límites el compresor se apaga.
- B. Tiempo de retardo para funcionamiento del compresor.-** Establece el tiempo en segundos mínimo de funcionamiento del compresor (de 30 a 120) para evitar una posible quemadura del motor del compresor a causa de arranques muy frecuentes.
- C. Obtener dirección IP del MTU.-** Muestra la dirección IP del MTU y de los equipos que estén conectados al computador.
- D. Establecer impresora predeterminada.-** Permite seleccionar la impresora para obtener los reportes que se hayan creado.



Figura 38. Pantalla de configuraciones

Fuente: El autor

### **f.1.5 Pantalla de tendencias e históricos**

Se pueden obtener dos tipos de graficas: las tendencias que las cuales muestran los valores de temperatura y presión en tiempo real que se generan cada 5 segundos; además se puede generar un reporte de históricos en archivo Pdf, que es un despliegue de valores de temperatura y presión que se han guardado en el MTU cada 5 segundos. Estos datos se almacenan automáticamente hasta 30 días después de haber iniciado la última sesión.

Los elementos que se encuentran en esta pantalla (figura 39) son:

- A. Tendencias de temperatura.-** Se muestra mediante graficas el comportamiento de la temperatura a la entrada del condensador (T1), salida del condensador (T2), entrada del evaporador (T3), salida del evaporador (T4) y cámara de refrigeración (T5) todos estos valores se actualizan cada 5 segundos.
- B. Tendencias de presión.-** Genera graficas de la presión de alta (P1) y baja (P2), en tiempo real, dichos valores se registran cada 5 segundos.
- C. Históricos temperatura T1, T2, T3 y T4.-** Permite imprimir un reporte de los valores de temperatura a la entrada y salida del condensador y evaporador del banco de refrigeración (ver ejemplo en anexo 5)
- D. Históricos temperatura T5.-** Se genera un reporte de valores de la temperatura de la cámara de refrigeración (ver ejemplo en anexo 6)
- E. Históricos presión P1 y P2.-** Se genera un reporte de valores de la presión de alta y baja (revisar un ejemplo en el anexo 7)

Tras pulsar cualquiera de los botones para imprimir un reporte aparecerá una ventana para seleccionar la fecha y hora de inicio y final de la toma de datos que se han guardado en el MTU, estos valores solo se almacenan cuando Movicon se encuentra en modo de runtime.

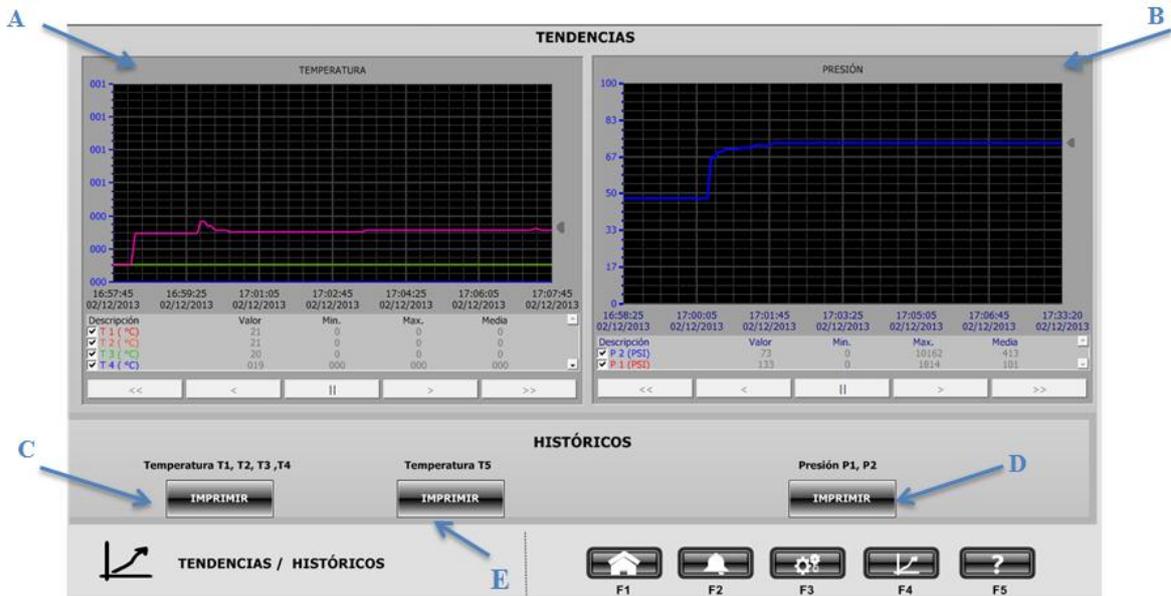


Figura 39. Pantalla de tendencias e históricos

Fuente: El autor

### f.1.6 Pantalla de ayuda

Muestra los pasos para poner en funcionamiento el sistema (figura 40), se presenta un gráfico de la pantalla principal donde al hacer clic en el texto de cada elemento aparece una ventana donde se puede visualizar información de la función de cada elemento.

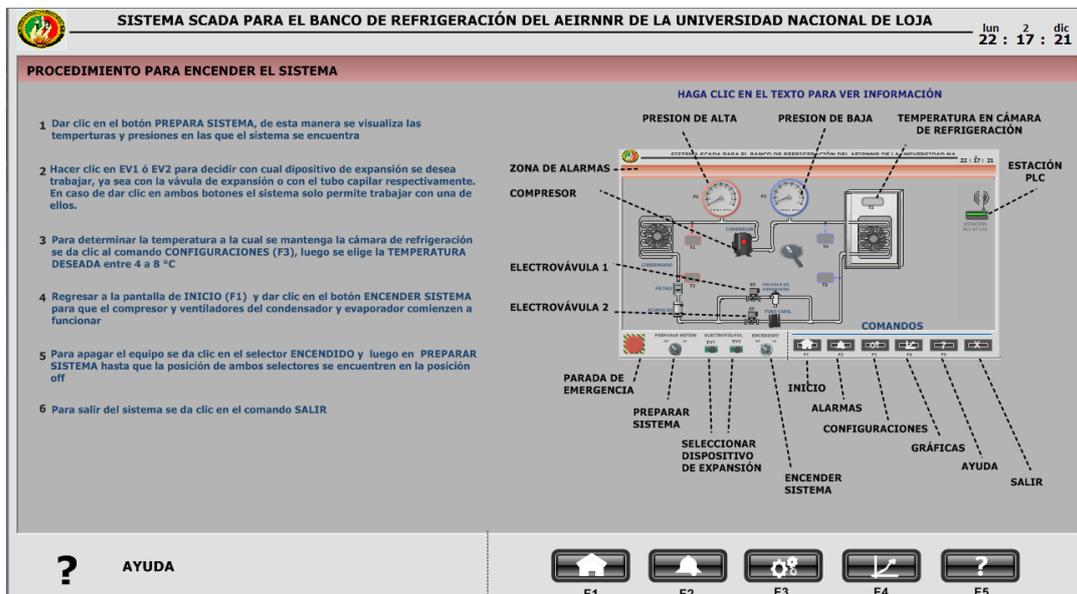


Figura 40. Pantalla de ayuda

Fuente: El autor

## **f.2 Descripción de funcionamiento del sistema SCADA**

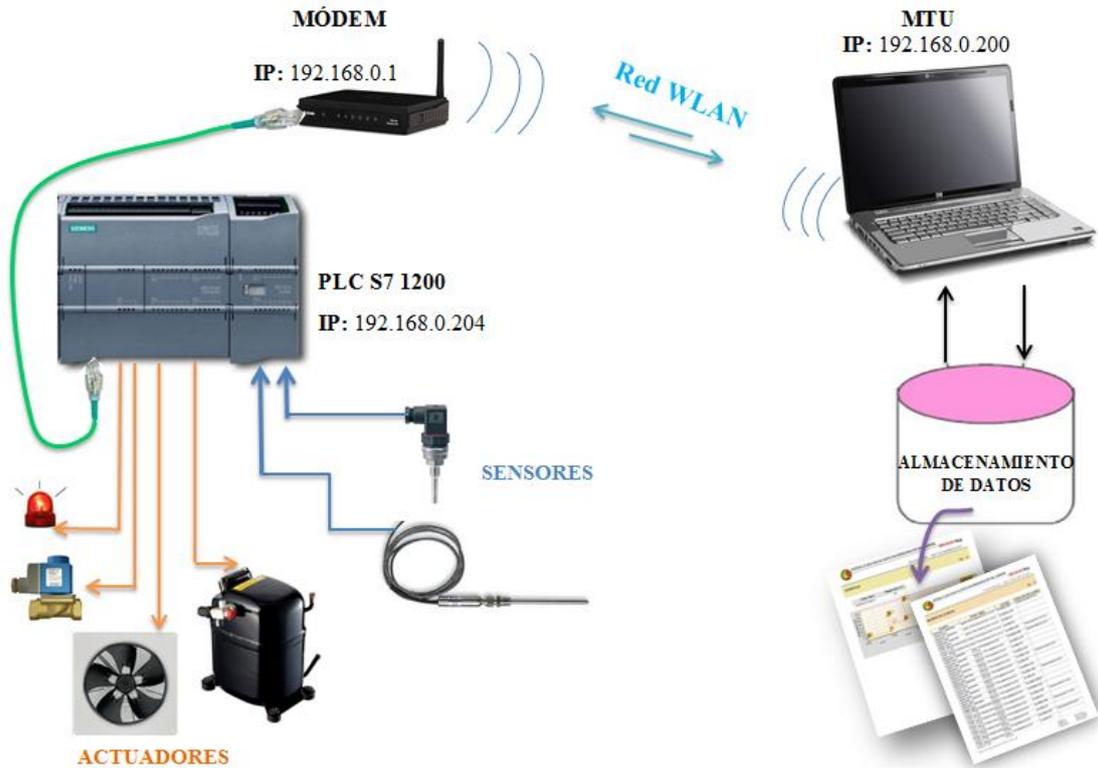
En la figura 41 se explica de forma gráfica como se encuentran conectados todos los componentes del sistema implementado en el banco de refrigeración, donde todo el proceso comienza desde el nivel de instrumentación, en el cual las señales de los sensores de presión y temperatura son captadas por el PLC y por los módulos de señal de temperatura.

Las señales de presión son entregadas a las dos entradas analógicas del PLC en forma de voltaje de 0 a 10 VDC. Las señales de temperatura de los sensores tipo RTD (T1 hasta T4) son entregadas al módulo SM1231, finalmente la temperatura de la cámara de refrigeración (T5) es captada por el módulo SB1221 a través de la termocupla tipo J, esta conexión se la puede apreciar en el anexo 3.

EL PLC recibe estas señales analógicas de los sensores y además señales enviadas desde el computador como ejemplo una señal digital de la variable botón preparar sistema o botón de encendido, etc. Esta información es procesada según la programación cargada en el PLC previamente, para así activar las salidas como compresor, ventiladores y electroválvulas. Simultáneamente se muestra toda la información del proceso en la pantalla de la MTU a través de Movicon para que el operador pueda monitorear en tiempo real las variables que se muestran en la pantalla principal de la interfaz gráfica. Todos los valores de temperatura, presión y alarmas son almacenados para su análisis, proporcionando así tendencias e históricos para la generación de reportes.

El PLC se comunica con la MTU utilizando el protocolo TCP IP, mediante una de tipología punto a punto por medio del modem D-Link.

Esta comunicación de lectura y escritura sobre los datos de cada variable en la programación del PLC es posible, ya que la dirección de cada variable que interviene para la interfaz gráfica es la misma tanto dentro del PLC como en la del proyecto desarrollado en Movicon.

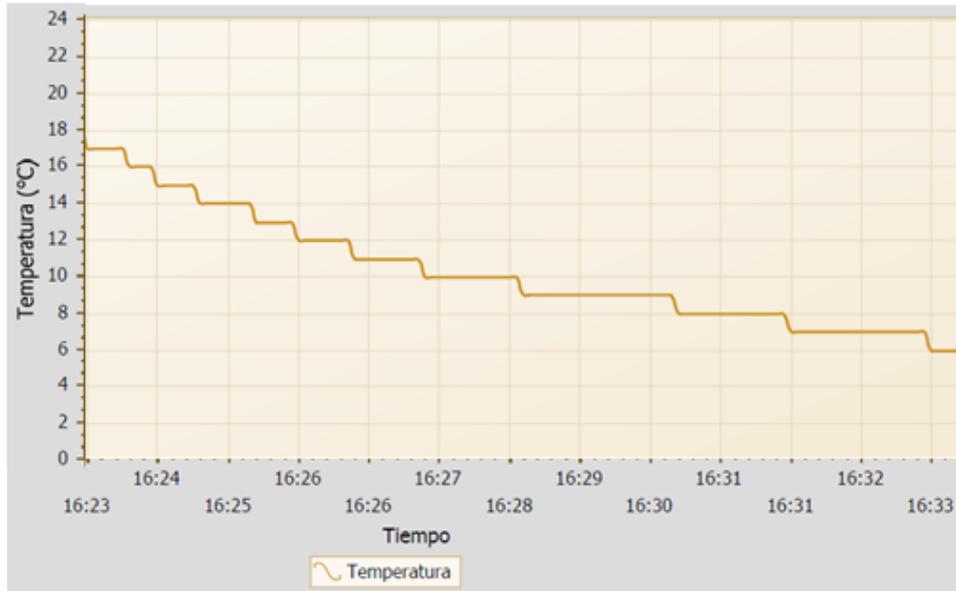


**Figura 41.** Diagrama de funcionamiento del sistema SCADA

**Fuente:** El autor

### **f.3 Análisis de datos tomados de los reportes creados por el sistema para su**

Una vez que el sistema ha sido puesto en marcha (modo de runtime) se ha realizado el funcionamiento del banco de refrigeración mediante los dos dispositivos de expansión para que la cámara de refrigeración se mantenga a 6 °C, con una temperatura inicial ambiente de 17 °C, con lo cual mediante el uso de la válvula de expansión se tuvo que esperar 10 minutos como lo muestra la figura 42.



**Figura 42.** Valor de temperatura en cámara de refrigeración (T5) utilizando válvula de expansión, con una temperatura inicial de 17 °C y temperatura final de 6 °C.

**Fuente:** El autor

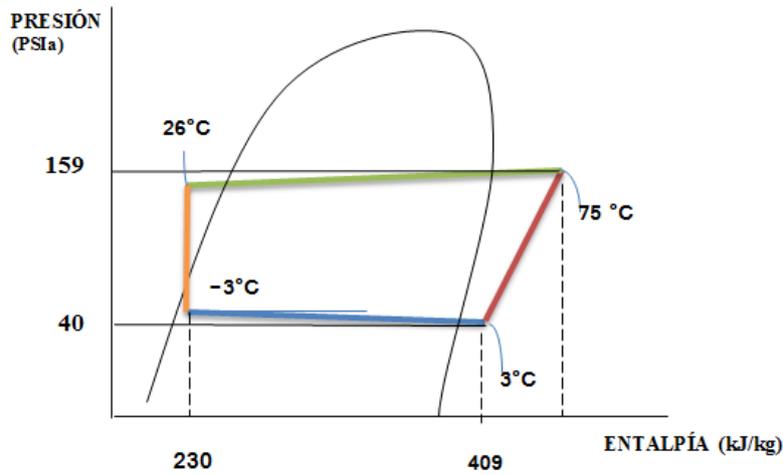
Con los datos adquiridos por medio de los reportes de las variables de presión de alta, presión de baja, temperatura a la entrada y salida en el condensador y evaporador, se traza la gráfica presión-entalpía (figura 43) cuando la temperatura dentro de la cámara fría se encuentra en 6 °C. Con esta gráfica y utilizando la ecuación 1 se determina el calor absorbido por el evaporador, esto utilizando la válvula de expansión.

$$Q_e = h_1 - h_4 \quad (\text{ecuación 1})$$

Reemplazando los valores de  $h_1$  y  $h_4$  para el refrigerante R-22 en la ecuación 1 se tiene:

$$Q_e = (409 - 230) \text{ kJ/kg}$$

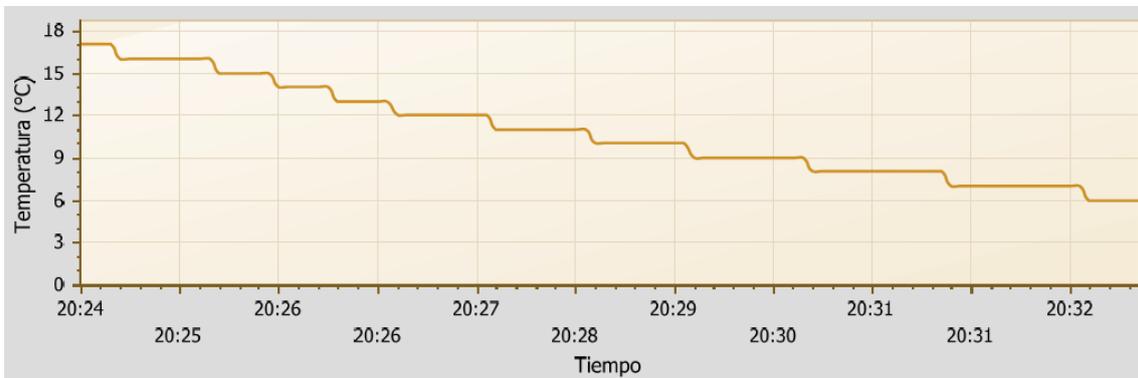
$$Q_e = 179 \text{ kJ/kg}$$



**Figura 43.** Diagrama presión entalpía del banco de refrigeración utilizando válvula de expansión

**Fuente:** El autor

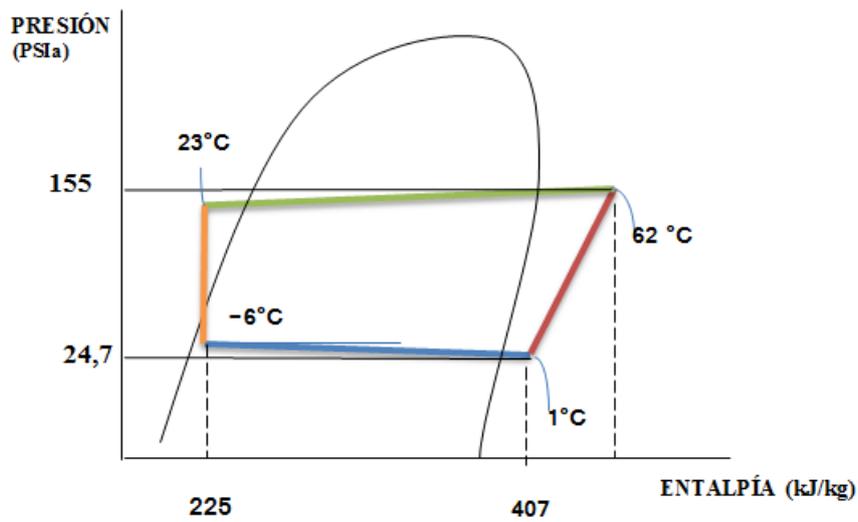
Mediante el uso del tubo capilar como dispositivo de expansión, el banco de refrigeración ha tomado 9 minutos en llegar hasta los 6 °C como se indica en la figura 44.



**Figura 44.** Valor de temperatura T5 (cámara de refrigeración) utilizando tubo capilar, con una temperatura inicial de 17 °C y temperatura final de 6 °C.

**Fuente:** El autor

Al tomar los valores de presión y temperatura que ofrecen los reportes utilizando el tubo capilar, se traza el diagrama presión entalpía, como lo muestra la figura 45.



**Figura 45.** Diagrama presión entalpía del banco de refrigeración utilizando válvula de expansión

**Fuente:** El autor

Reemplazando los valores de  $h_1$  y  $h_4$  obtenidos en la figura 45 y reemplazando estos en la ecuación 1 se tiene:

$$Q_e = h_1 - h_4$$

$$Q_e = (407 - 225) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_e = 182 \text{ kJ/kg}$$

## **g.- DISCUSIÓN**

Para el diseño del sistema SCADA aplicado al banco de refrigeración por compresión, se desarrolló una interfaz gráfica que consta de seis pantallas las cuales permiten controlar la temperatura dentro de la cámara de refrigeración, seleccionar un tubo capilar o válvula como dispositivo de expansión del banco, generar e imprimir reportes de alarmas, visualizar tendencias, históricos de temperatura y presión del sistema, todo esto en tiempo real.

El sistema consta de una MTU que es donde se encuentra toda la interfaz gráfica con que el usuario interactúa, la cual se comunica con el PLC S7 1200 a través del puerto Ethernet utilizando el protocolo TCP IP. La comunicación MTU- PLC consiste en una tipología punto a punto que se la realiza mediante una red inalámbrica a través del módem D-LINK Dir 610 que es compatible con el estándar IEEE 802.11 b donde se establece que tiene un rango operativo de 45 metros, lo cual es suficiente considerando que al banco se va a ubicar en un laboratorio.

El software que se seleccionó para el desarrollo de este proyecto es Movicon 11.3, por cuanto es de fácil acceso para el usuario, se lo adquiere gratuitamente, permite utilizarlo en modo demo por un lapso de dos horas, tiempo suficiente para la demostrar el funcionamiento, además de que posee una herramienta de fácil uso para la grabación automática de datos, los cuales se los usa para graficar tendencias, históricos y generar reportes.

El PLC que se adapta a los requerimientos del proyecto es el SIEMENS S7 1200 1212C ACDC, ya que permite la ampliación modular tanto para entradas y salidas analógicas como digitales, además de que permite la comunicación con la interfaz desarrollada en Movicon a través del driver S7 TCP/IP.

Para la validación del sistema desarrollado fue necesaria la realización de varias pruebas, las que se detallan a continuación:

- Pruebas de comunicación entre el PLC-MTU y MTU-Módem.
- Adecuada recepción y almacenamiento de datos por parte del software Movicon.
- Control remoto del banco de refrigeración desde el MTU.

- Creación de reportes de alarmas, y gráficos históricos de las variables de presión y temperatura del banco.

Al hacer funcionar al banco de refrigeración mediante los dos dispositivos de expansión que son la válvula de expansión y el tubo capilar para que la cámara de refrigeración llegue a una temperatura de 6 °C, con una temperatura inicial ambiente de 17 °C se obtienen los valores de presión de alta y baja, temperatura a la entrada y salida del condensador y evaporador, dichos datos se los ha utilizado para graficar la gráfica presión-entalpía.

Al analizar las gráficas de presión-entalpía que resultan de los valores de presión y temperatura del banco de refrigeración adquiridos por medio de los reportes, se obtiene un valor de 179 kJ/kg de calor absorbido por el evaporador utilizando la válvula de expansión, mientras que al usar el tubo capilar se consigue 182 kJ/kg, estos valores indican que el uso del tubo capilar en esta instalación es más conveniente para enfriar la cámara de refrigeración.

Con la implementación del sistema SCADA en el banco de refrigeración se pueden realizar diferentes actividades a nivel de control, automatización y supervisión de procesos, esto en tiempo real.

## **h.- CONCLUSIONES**

- Se diseñó un sistema SCADA aplicado al banco de refrigeración del AEIRNNR de la UNL con lo cual se consigue una notable mejora en su manejo por parte del usuario a través de su interfaz gráfica que permite controlar la temperatura dentro de la cámara de refrigeración, establecer la presión de trabajo en el lado de alta y baja, además de obtener datos en tiempo real e históricos de los valores de presión, temperatura y alarmas.
- Este proyecto fue realizado considerando las cinco fases que intervienen en el diseño de un sistema SCADA, empezando con el diseño de la arquitectura del sistema, selección y adquisición de los equipos necesarios, programación y configuraciones de los mismos, para finalmente realizar pruebas necesarias para su funcionamiento.
- Para el sistema SCADA se utilizó el Movicon 11.3, el cual permite la supervisión y monitoreo del banco de refrigeración, esto por medio del PLC s7 1200 que fue el adecuado para la implementación del sistema, debido a su característica de ampliación modular tanto para entradas analógicas como digitales, además de permitir una comunicación inalámbrica con el proyecto desarrollado en Movicon, a través del modem D-Link Dir 610.
- Con las hojas de reportes que emite el sistema, se validó los parámetros de adquisición de datos presión y temperatura las cuales se puede utilizar para trazar las gráficas de presión entalpia del ciclo de refrigeración por compresión.
- Después de los ensayos realizados, al utilizar la válvula de expansión para que la temperatura en la cámara de refrigeración se mantenga en 6 °C se obtuvo un efecto refrigerante en el evaporador de 179 kJ/kg, mientras que al utilizar el tubo capilar se obtuvo 182 kJ/kg, lo que indica que el uso del tubo capilar en esta instalación es más conveniente para reducir la temperatura en la cámara de refrigeración.

## **i.- RECOMENDACIONES**

- El usuario que manipule el banco debe leer las instrucciones descritas en el manual para el correcto funcionamiento del sistema.
- Se puede implementar un equipo RTU o PLC adicional al existente, para de esta manera demostrar las funcionalidades que posee un SCADA.
- Para posibles cambios en la programación del PLC se debe etiquetar todas las variables y bloques insertados para evitar confusiones, así mismo si se realizan cambios en la instalación de las tuberías del sistema de refrigeración, se sugiere reciclar el gas refrigerante R22 ya que es perjudicial para la capa de ozono.

## **j.- BIBLIOGRAFÍA**

### **Libros:**

- **Aguilar, Luis Yoyanes. 2002.** *Fundamentos de programación.* Madrid : McGraw Hill, 2002. ISBN/84-481-3664-0.
- **ALVARADO, José y ROMERO, Edgar. 2009.** *Energías Renovables.* Bogotá : CEAC, 2009.
- **Boyer, Stuart. 2004.** *SCADA: Supervisory Control And Data Adquisition.* s.l. : ISA, 2004. ISBN/1-55617-877-8.
- **Carrier, Air Conditioning Company. 2012.** *Manual de aire acondicionado.* Barcelona : McGRAW-HILL, 2012.
- **CARRIÓN, Carlos. 2008.** *Máquinas eléctricas.* México : Mc Graw-Hill, 2008.
- **Franco, Juan Manuel. 2006.** *Manual de refrigeración.* Barcelona : Reverté S.A, 2006. ISBN/978-84-291-8011-4.
- **Penin, Antonio Rodriguez. 2007.** *SISTEMAS SCADA.* Barcelona : Marcombo, 2007. ISBN/978-84-267-1450-3.
- **Pizzetti, Carlo. 1991.** *Acondicionamiento del Aire y Refrigeración.* Madrid : Bellisco, 1991. ISBN/84-85.198-49-2.
- **RAMÍREZ, Patricio. 2012.** *Transferencia de Calor.* Loja : UNL, 2012.
- **Siemens. 2009.** *Manual del sistema, Controlador programable S7-1200.* 2009. 6ES7298-8FA30-8DH0.
- **Siemens, Productos eléctricos industriales.** *Lista de precios Ecuador.*2012.

### Sitios web:

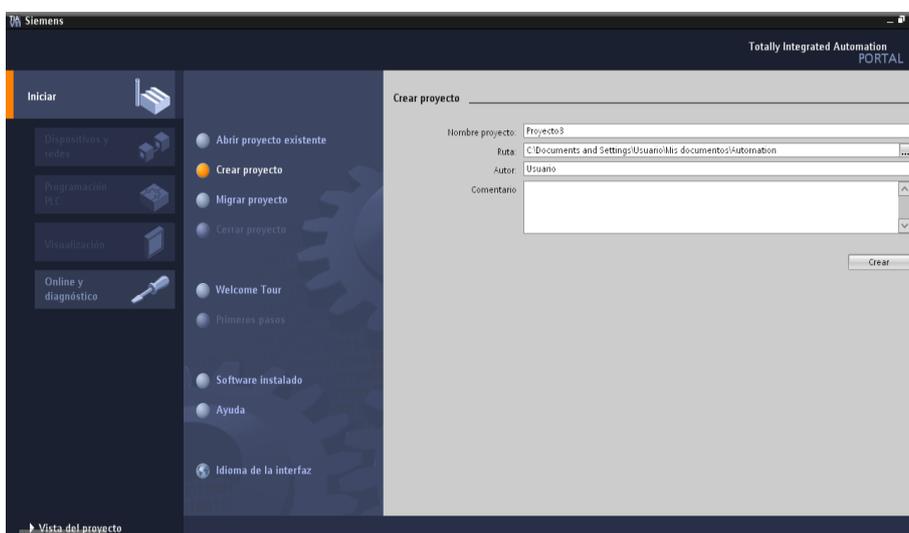
- **AS-International.** <http://www.as-interface.com/>. [En línea] AS-International Association e.v. [Citado el: 29 de 09 de 2013.] <http://www.as-interface.com/>.
- **Corrales,Luis.**  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>. [En línea] [Citado el: 20 de Febrero de 2013.]
- **Decin, Cia. Ltda.** Decin, Designer Electric Control and Industries Automation. [En línea] Decin Cia. Ltda. [Citado el: 18 de 11 de 2013.] <http://www.decin-ec.com/proyectos/>.
- **Jaume, Romagosa, David, Gallego y Pacheco, Raúl.**  
<http://formacion.plcmadrid.es>. [En línea] [Citado el: 02 de 10 de 2013.]  
[http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/proyecto\\_automatizacion.pdf](http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/proyecto_automatizacion.pdf).
- **Romansel, Control y Automatización.** Grupo Romansel. [En línea] Romansel. [Citado el: 18 de 11 de 2013.]  
<http://www.gruporomansel.com/automatizacionycontrol/proyectos>.
- **Progea.** Progea, Industrial Automation Software. [En línea] [Citado el: 18 de 11 de 2013.] [www.progea.com](http://www.progea.com).
- **Dakin.** 2005. [En línea] 13 de 11 de 2005. [Citado el: 25 de 01 de 2012.]  
[http://www.servinel.es/uploads/noticias/13112005como\\_funciona.pdf](http://www.servinel.es/uploads/noticias/13112005como_funciona.pdf).
- **Rosado, Alfreso.** <http://www.uv.es/rosado>. [En línea] [Citado el: 30 de 09 de 2013.] [http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3\\_rev0.pdf](http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf).

## k. ANEXOS

### k.1 ANEXO 1: Pasos para crear un proyecto para el PLC s71200 mediante el software TIA Portal

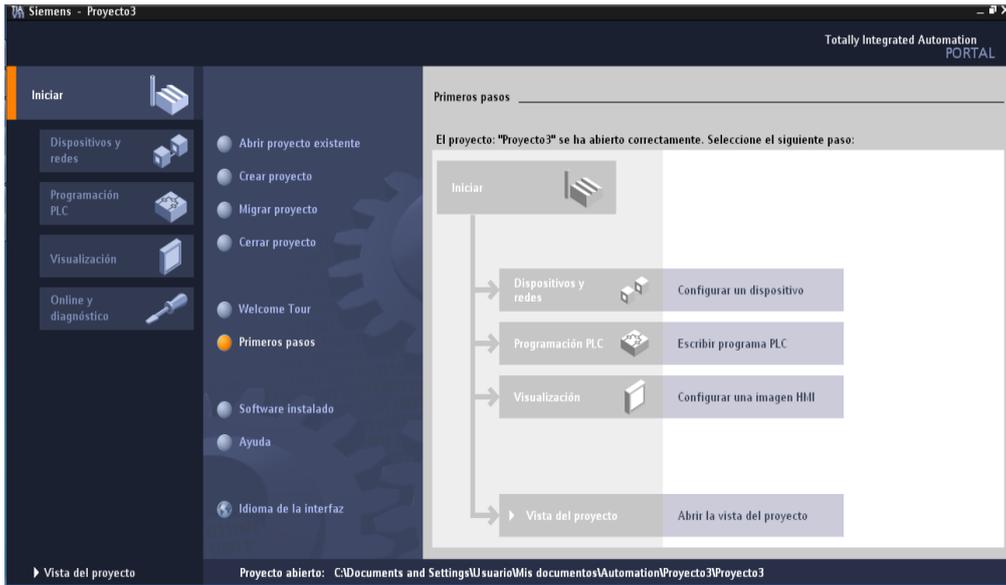
#### k.1.1 Crear un nuevo proyecto

Tras abrir el TIA Portal aparecerá la ventana de inicio, donde se hace clic en "Crear proyecto", luego aparecerá una ventana (figura 46) donde se introduce el nombre del proyecto y se da clic en "Crear". A continuación aparecerá una nueva ventana (figura 47) con los primeros pasos, donde se tiene las siguientes opciones: configurar un dispositivo, escribir programa PLC y configurar una imagen HMI.



**Figura 46.** Crear nuevo proyecto en el TIA Portal V11

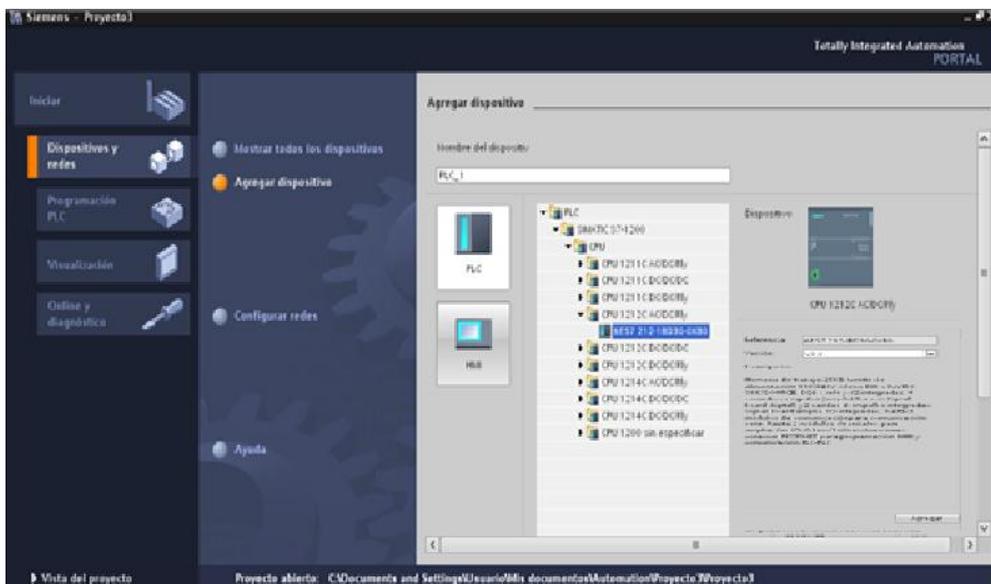
**Fuente:** El autor



**Figura 47.** Ventana de primeros pasos para un nuevo proyecto

**Fuente:** El autor

Al darle clic en configurar dispositivo, se selecciona la opción agregar dispositivo, aparecerá una ventana (figura 48) donde salen dos opciones: PLC ó panel HMI, se selecciona la primera opción donde se escoge el dispositivo en este caso CPU 1212 AC/DC/Rly, para luego aceptar el dispositivo seleccionado.



**Figura 48.** Ventana para agregar dispositivo en Tia Portal

**Fuente:** El autor

En este punto aparecerá la ventana de configuraciones y programación del PLC (figura 49), que es el área donde se trabaja dentro del proyecto creado.

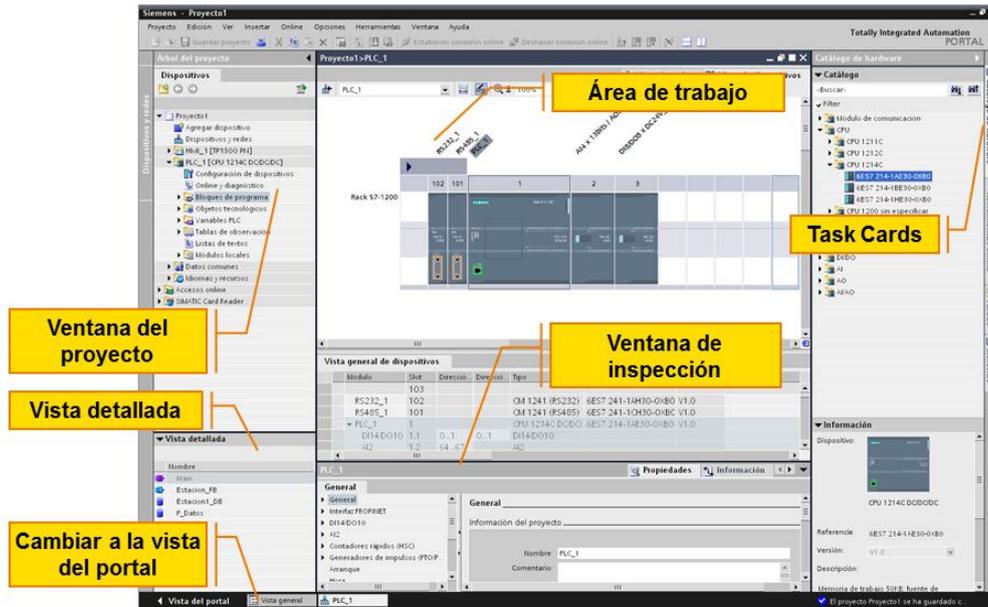


Figura 49. Ventana de configuraciones en Tia Portal

Fuente: El autor

### k.1.2 Configurar la interfaz Ethernet

Para configurar los parámetros de la interfaz en TIA Portal se selecciona la casilla verde en la CPU del PLC, donde se selecciona el puerto Ethernet como muestra la figura 50, para asignarle una dirección IP, en este proyecto por tratarse de una red privada se utiliza direcciones que están en el rango de 192.168.0.0 hasta 192.168.255.255.

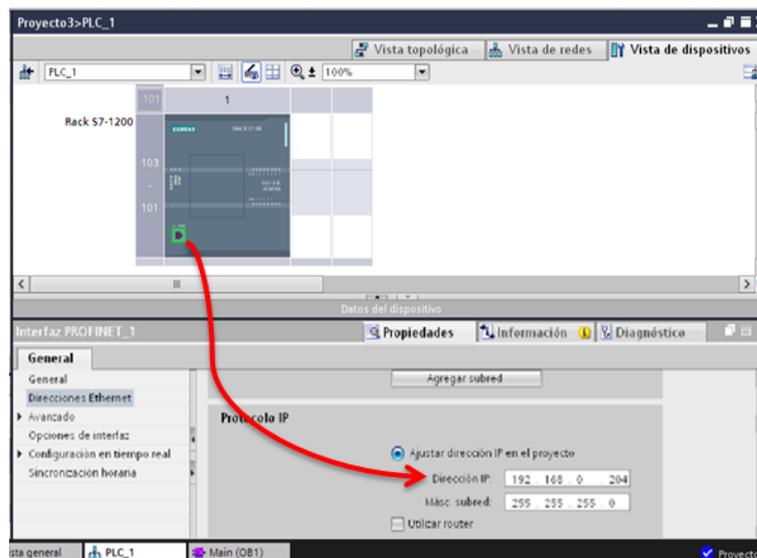


Figura 50. Configuración de la dirección IP del PLC

Fuente: El autor

### k.1.3 Programación del PLC

A continuación se explica cómo programar el PLC en lenguaje KOP, para ello se ubica en la ventana de árbol del proyecto (figura 49), donde se abre la carpeta de bloques de programa, aquí se tiene ya creado un bloque que es por defecto el *Main [OB1]*, luego se da clic dos veces sobre éste para editarlo. Para insertar instrucciones al bloque del programa simplemente se hace clic en la instrucción seleccionada en el área de task cards y se la arrastra con el ratón hacia el área de trabajo (figura 51).

Luego a cada instrucción se le asigna una variable, tal como se lo ha realizado en los segmentos de la programación que se muestran a partir de la figura 25 a la figura 30.

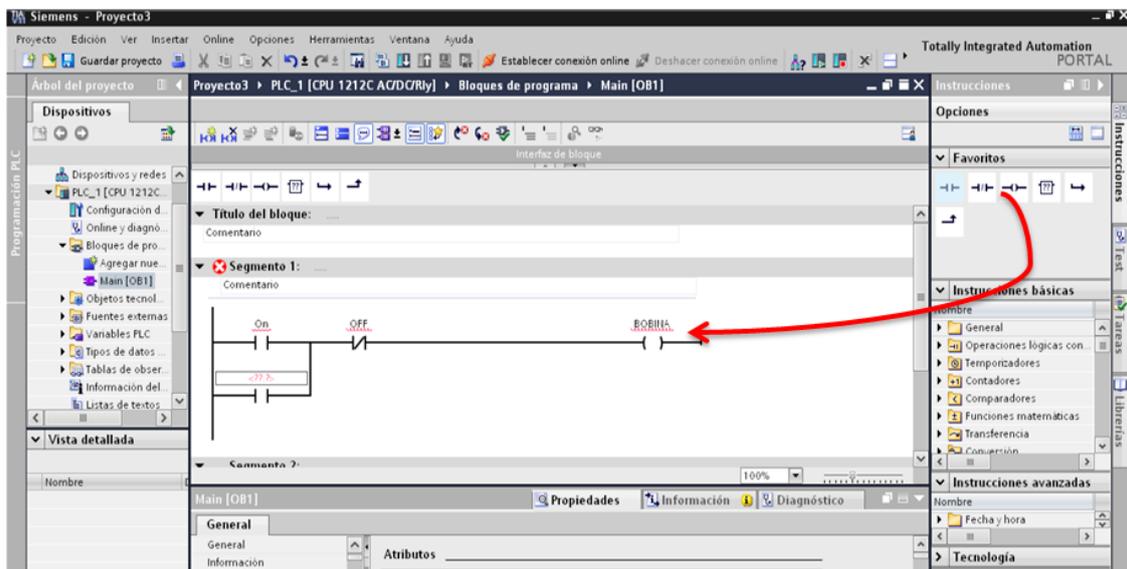


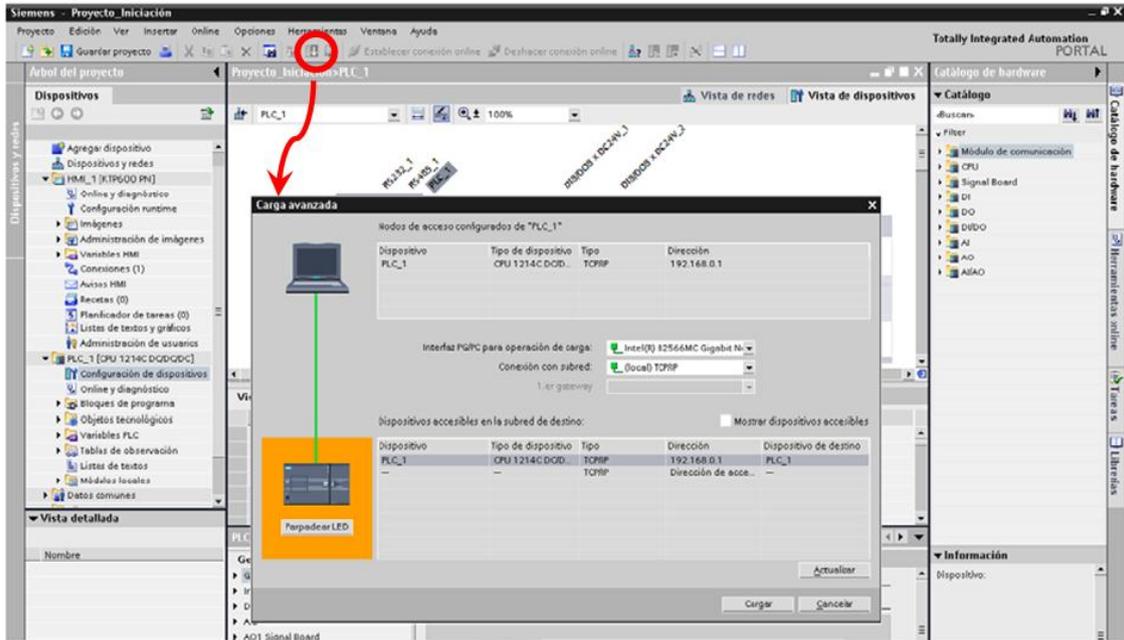
Figura 51. Insertar instrucciones en el bloque del programa

Fuente: El autor

### k.1.4 Cargar la configuración en el PLC

Ahora se puede cargar el programa de usuario dentro del PLC, para ello se da clic en el botón "Cargar en dispositivo" (figura 52).

Tras establecer la conexión con la CPU del PLC, se muestra el cuadro diálogo "Cargar vista preliminar". Haga clic en "Cargar" para insertar el programa de usuario en la CPU, luego clic en "Finalizar".



**Figura 52.** Cargar configuración en el PLC

**Fuente:** El autor

Tras cargar las configuraciones a la memoria del PLC, éste queda listo para poderlo utilizar dentro del proceso, restando solo el cableado de las entradas y salidas utilizadas, tal como se muestra en el anexo 3.

## k.2 ANEXO 2: Pasos para crear una aplicación SCADA mediante el software Movicon 11.3

### k.2.1 Crear un nuevo proyecto

Para crear un proyecto, utilice el comando "nuevo" en el menú archivo (figura 53), al realizar esto, aparecerá un asistente que le guiará en la creación del nuevo proyecto.



**Figura 53.** Crear un nuevo proyecto en Movicon

**Fuente:** El autor

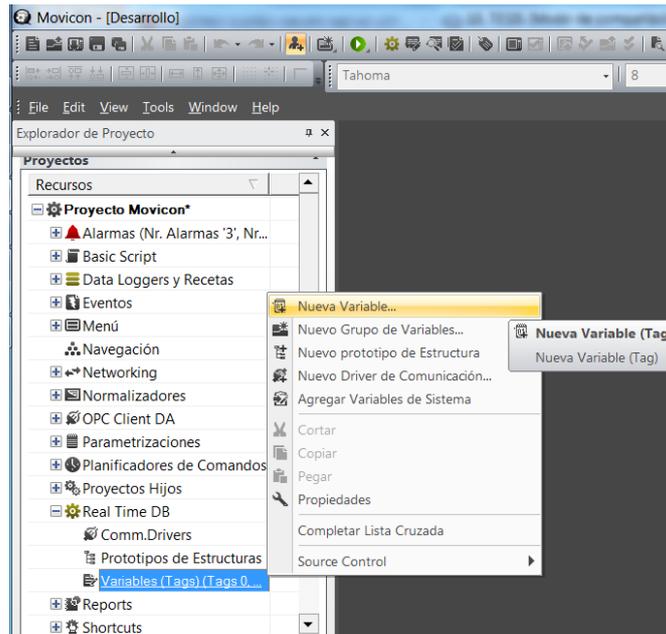
En primer lugar es necesario seleccionar el tipo de plataforma en la que se debe ejecutar el proyecto, se selecciona plataforma Win 32/64 para utilizarlo en un computador con sistema operativo Windows de 32 o 64 bits. Confirmada esta operación aparecerá la ventana de configuración donde se introduce el nombre deseado del proyecto, se hace clic en el botón Siguiente.

Las siguientes ventanas que irán apareciendo se harán clic en el botón siguiente, donde se pueden hacer ajustes de usuarios, sinópticos, drivers, alarmas, pero por el momento no configura nada eso ya que se lo puede hacer posteriormente.

Al aparecer la última ventana donde se pulsa el botón finalizar, el asistente pasará la creación del proyecto de acuerdo con los ajustes realizados, y se podrá visualizar el área de trabajo (figura 24) para desarrollar una aplicación.

### k.2.2 Crear variables

Para introducir una nueva variable (tag) nos ubicamos en la ventana de comandos y se hace clic en *Nueva variable*, también es posible desde la ventana del proyecto haciendo clic derecho en la opción variables (figura 54).



**Figura 54.** Crear una variable desde Movicon

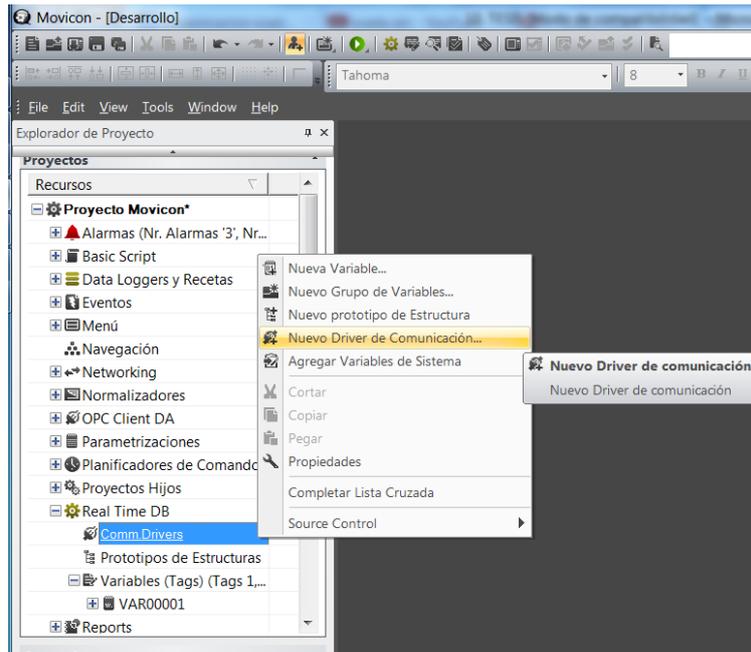
**Fuente:** El autor

Ahora se tiene que asignar las propiedades que se consideren necesarias, especialmente las propiedades generales, a través de la “ventana de propiedades” (figura 24), donde a cada variable creada se le asigna el nombre, tipo de dato y dirección física, esta que es necesaria para la comunicación con el dispositivo de control.

### **k.2.3 Insertar drivers de comunicación en el proyecto**

Los drivers de comunicación o llamados también controladores se pueden insertar en el proyecto en cualquier momento, antes de asignar una dirección física a las variables; estos controladores tienen la función de establecer la comunicación entre el puesto de trabajo responsable de la supervisión y los dispositivos externos (PLC, reguladores, etc.) para la gestión de la planta, a través de los puertos serie del ordenador o una tarjeta de red.

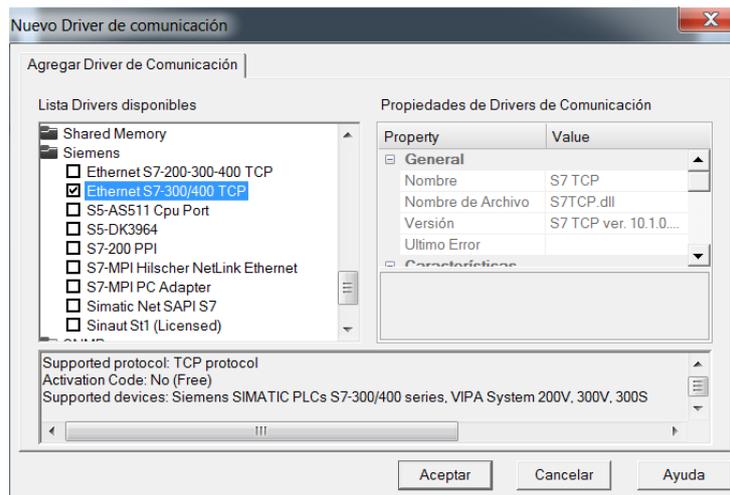
Para ello es necesario ubicarse en la ventana de comandos, seleccionar nuevo driver de comunicación. También se lo puede hacer desde la ventana del proyecto (figura 55), luego se ubica en Real Time DB de la ventana del proyecto, se hace clic derecho en Comm Drivers y se selecciona Nuevo Driver de Comunicación.



**Figura 55.** Agregar nuevo driver de comunicación al proyecto de Movicon

**Fuente:** El autor

Aparecerá una ventana con de la lista de controladores disponibles, por lo que se debe elegir el que se necesita. En este caso se busca los driver Siemens y se selecciona Ethernet S7 400/300 TCP, que es el que permite la comunicación con el PLC s7 1200 (figura 56). Al confirmar la operación, el driver es insertado en el proyecto y se añade al proyecto.



**Figura 56.** Drivers de comunicación para Siemens

**Fuente:** El autor

## k.2.4 Configuración de driver

Ahora se procede con la configuración necesaria a través de la ventana de propiedades del driver. Lo primero que se debe hacer es agregar una nueva estación haciendo clic en Add, para que aparezca una ventana de las propiedades de la estación creada, luego se ingresa el nombre deseado para la estación creada y la dirección IP del PLC en este caso es 192.168.0.204 (figura 57). Las demás configuraciones que vienen por defecto son aceptadas.

Al llegar a este punto, el driver se encuentra configurado y listo para la comunicación con el PLC. Para verificar que este procedimiento se lo ha realizado correctamente, se conecta el PLC con el computador MTU a través un cable Ethernet, luego se hace una prueba con el botón Test Cable/Comm (figura 57), cuando la prueba es satisfactoria se muestra el mensaje succeeded! de lo contrario aparece el texto “failed!” de error.

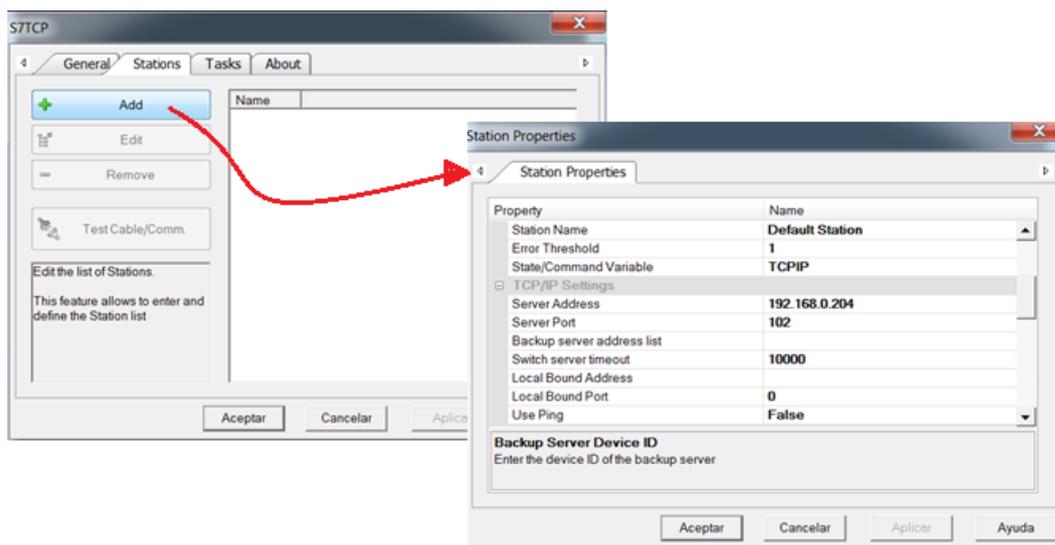


Figura 57. Configuración de driver S7 TCP

Fuente: El autor

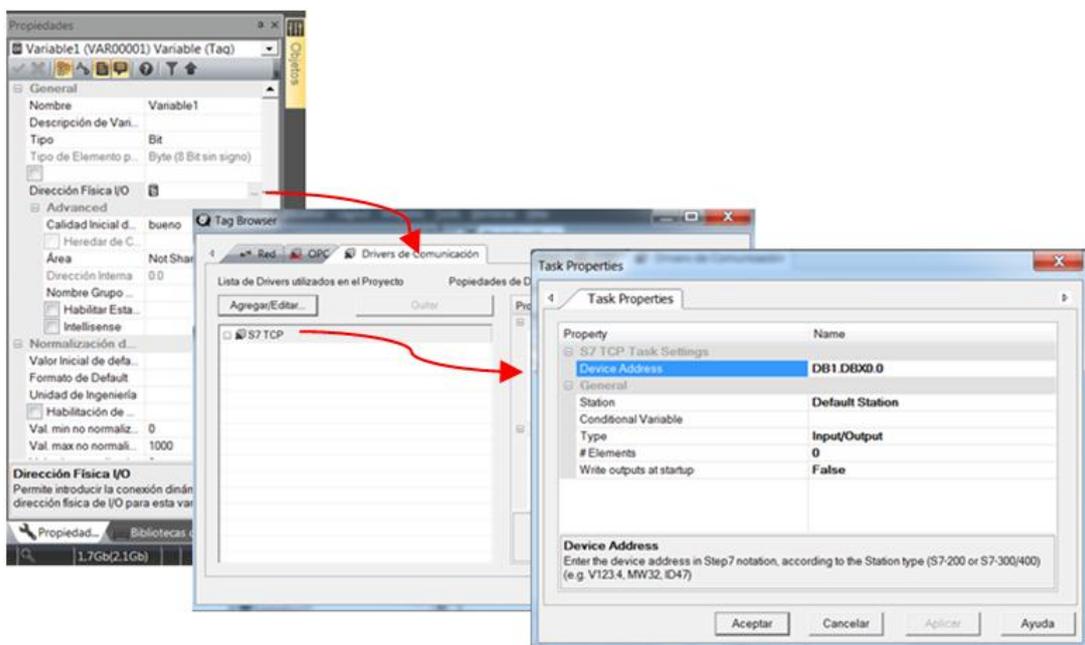
## k.2.5 Asignar direcciones físicas a las variables

Luego de haber creado una estación, lo siguiente es asignar las direcciones físicas a las variables (direccionamiento de variables) de la siguiente forma (figura 58):

1. Seleccionar la variable insertada previamente en el proyecto.
2. Hacer doble clic en él para abrir la ventana propiedades.

3. Hacer clic en *Dirección física I/O*, en la opción de propiedades generales.
4. Se abrirá la ventana Tag Browser, donde se da clic en *driver de comunicación*.
5. Seleccionar la estación creada en este caso S7 TCP, y se da clic en el botón *Agregar/Editar*.
6. Se abrirá una ventana donde se asignará la dirección física en *Device Adress*, en este ejemplo se va a conectar la variable de tipo BOOL (bit) llamada Variable1.

Con esto se establecerá comunicación con el dispositivo de lectura-escritura de datos del PLC en la variable correspondiente durante el tiempo de ejecución del proyecto, para ello las direcciones de las variables del PLC con las direcciones asignadas en Movicon deben ser las mismas.



**Figura 58.** Asignar dirección física a una variable

**Fuente:** El autor

### k.2.6 Crear nueva pantalla o sinóptico

Para crear un nuevo sinóptico primero se coloca en la ventana de comandos y se da clic en nuevo *Sinóptico*. También se lo puede hacer desde la ventana del proyecto, ubicándose en *Sinópticos*, y haciendo clic derecho en él, se abrirá un menú donde se selecciona *Nuevo Sinóptico*.

### k.2.7 Inserción de objetos en las pantallas

Esta operación consiste en tomar objetos y símbolos del área de herramientas e insertarlos dentro de la pantalla creada para desarrollar la interfaz gráfica. Los objetos de las herramientas incluyen gráficos predefinidos como botones, selectores, reguladores, medidores, etc. También posee una librería de símbolos que contiene un sinnúmero de gráficos ya hechos como tanques, bombas, válvulas, motores, ventiladores tuberías y más. La biblioteca de gráficos se puede visualizar desde la opción "visualizar biblioteca de Símbolos" del área de herramientas. Para esto solamente se arrastran los gráficos y objetos a la pantalla creada como lo muestra la figura 59.

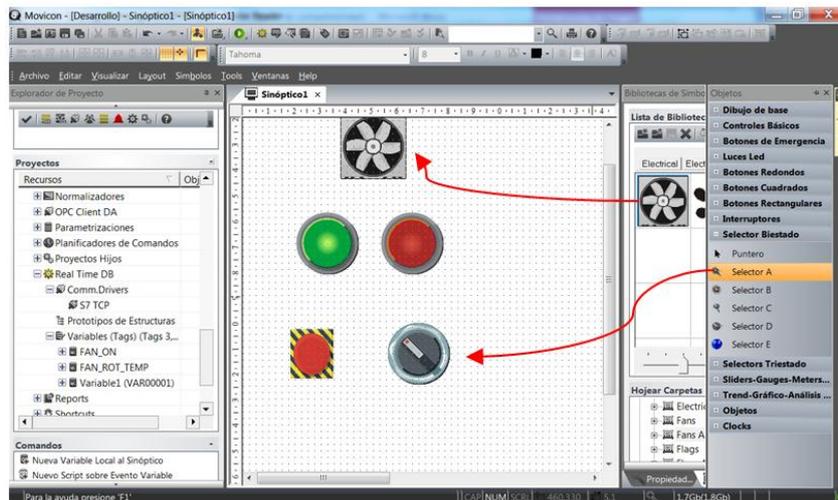


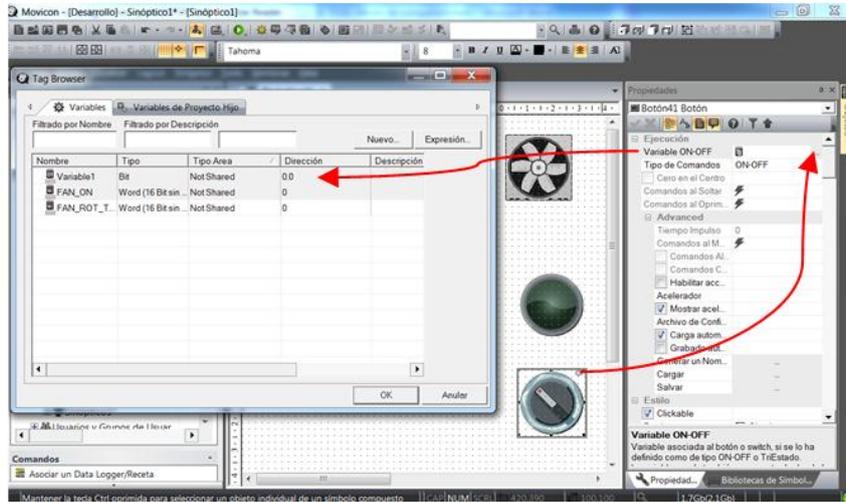
Figura 59. Inserción de símbolos y objetos a una pantalla

Fuente: El autor

### k.2.8 Asignación de las variables a los objetos.

Después de insertar símbolos u objetos, se puede acceder a la ventana de propiedades para configurarlo, que también puede ser activado haciendo doble clic en el objeto. Para un hacer dibujo o símbolo más dinámico necesita utilizar sus "propiedades de animación", donde se pueden asignar variables para la función gráfica deseada junto con otros ajustes dinámicos como colores o cambios de color, los umbrales para los rellenos o visibilidad en tanques, etc. Para ello primero se selecciona el objeto, se da clic en *Variables ON/OFF* de la ventana de propiedades, luego aparecerá la ventana "Tag

Browser" (figura 60), que le permite seleccionar las variables de lista de variables del proyecto. En este ejemplo se asignado la “Variable1” a un selector biestado.

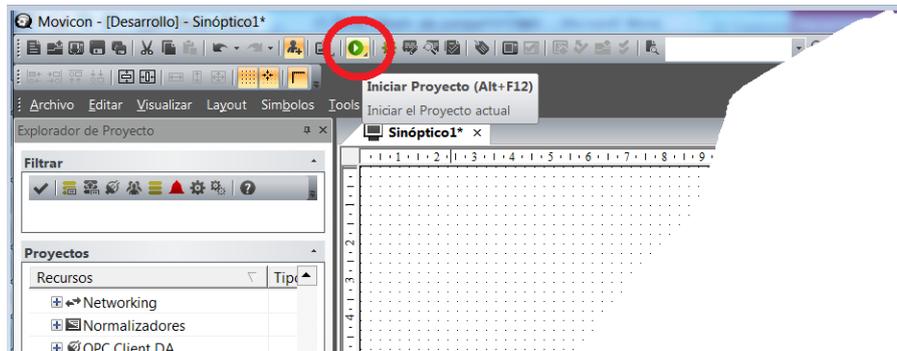


**Figura 60.** Asignar una variable a un objeto

**Fuente:** El autor

### k.2.9 Iniciar Runtime

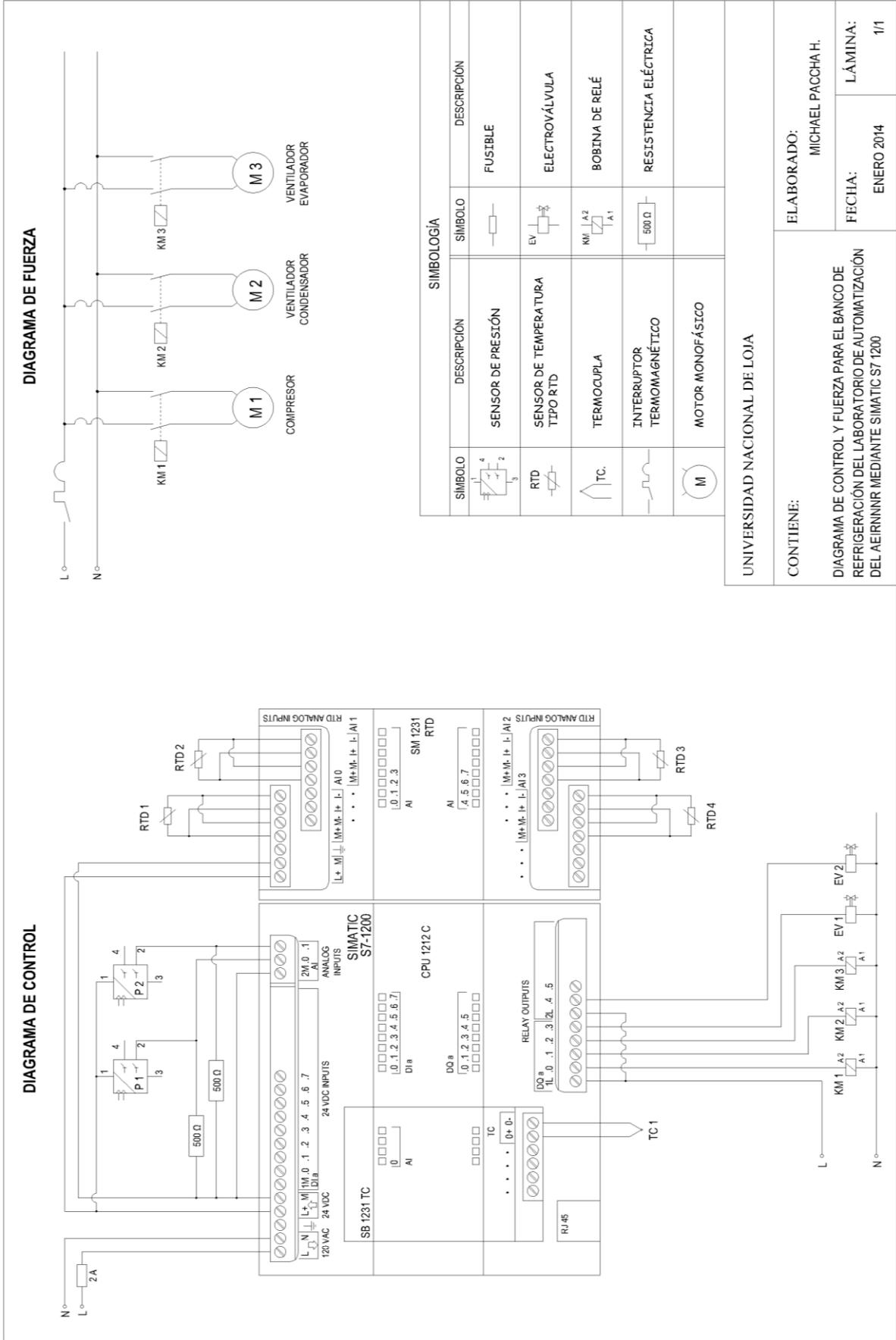
En este punto, con la configuración de los objetos se puede ejecutar el proyecto para verificar su comportamiento, para esto se pulsa el botón que se resalta en la figura 61.



**Figura 61.** Botón para iniciar el modo de runtime en Movicon

**Fuente:** El autor

### **k.3 ANEXO 3: Diagrama eléctrico de control y fuerza del banco de refrigeración**



## k.4 ANEXO 4: Ejemplo de un reporte de alarmas



### REPORTE DE ALARMAS

Periodo de tiempo: 04/12/2013 20:06:5 hasta 04/12/2013 20:24:2

Pag. 1/1

ALARMA	FECHA/ HORA	ESTADO	DURACION DE ALARMA HH / MM / SS
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:24:27	ALARM ON	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:23:07	ALARMA OFF	Duración total0,00:00:26
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:22:41	ALARM ON	
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:22:41	ALARMA OFF	Duración total0,00:00:53
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:21:48	ALARM ON	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:21:38	ALARMA OFF	Duración total0,00:00:27
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:21:11	ALARM ON	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:47	ALARMA RESET	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:45	ALARMA ACK	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:37	ALARMA OFF	Duración total0,00:00:02
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:35	ALARM ON	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:35	ALARMA RESET	
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:35	ALARMA RESET	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:34	ALARMA ACK	
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:34	ALARMA ACK	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:10	ALARM ON	
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:18:10	ALARMA OFF	Duración total0,00:09:34
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:08:36	ALARM ON	
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:08:06	ALARMA OFF	Duración total0,00:00:08
Presión_baja - Presión por debajo del valor normal	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:07:58	ALARM ON	
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:07:58	ALARMA OFF	Duración total0,00:01:05
Error_PLC - Fallo en sensores	miércoles, 04 de diciembre de 2013 20:06:53	ALARM ON	

Reporte desarrollado mediante Report Designer. Movicon. jmph.

ALARM ON  
ALARM OFF  
ALARM ACK  
ALARM RESET

Alarma activada  
Alarma desactivada  
Alarma reconocida  
Alarma reseteada

Figura 62. Reporte de alarmas del sistema SCADA

Fuente: El autor

## k.5 ANEXO 5: Ejemplo de un reporte de históricos (T1, T2, T3, T4)



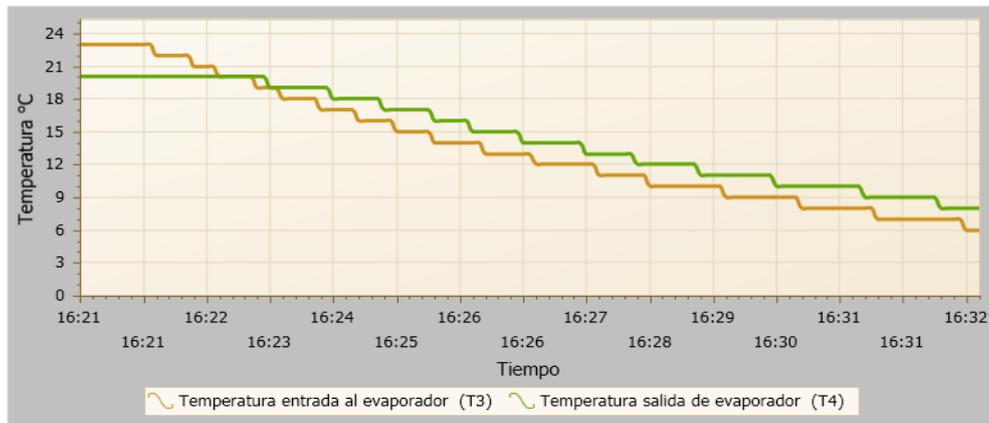
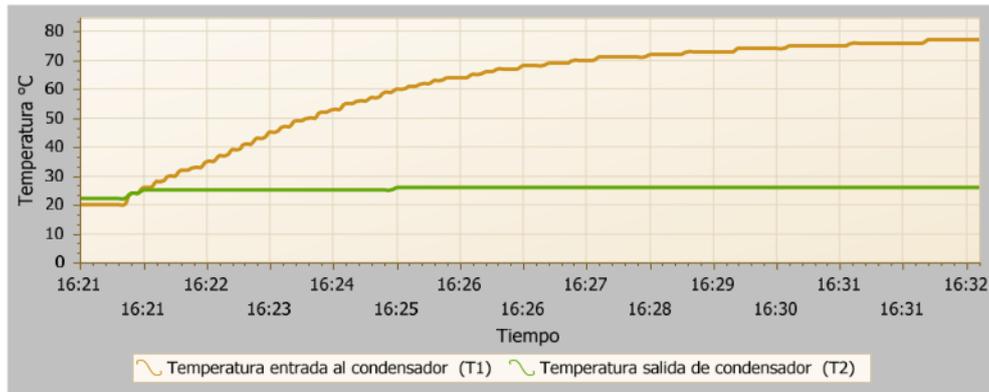
### HISTÓRICOS DE T1, T2, T3 Y T4

T1 : Temperatura a la entrada del condensador      T3 : Temperatura a la entrada del evaporador  
 T2 : Temperatura a la salida del condensador      T4 : Temperatura a la salida del evaporador

Periodo de tiempo del reporte: 06/12/2013 16:21:05 hasta 06/12/2013 16:32:55

Pag. 1/1

	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura promedio (°C)
T1	20	77	59,9
T2	22	26	25,4
T3	6	23	13,6
T4	8	20	14,5



Reporte desarrollado mediante Report Designer de Movicon- JMPH

**Figura 63.** Reporte de temperatura (T1, T2, T3, T4) del sistema SCADA

**Fuente:** El autor

## k.6 ANEXO 6: Ejemplo de un reporte de históricos (T5)

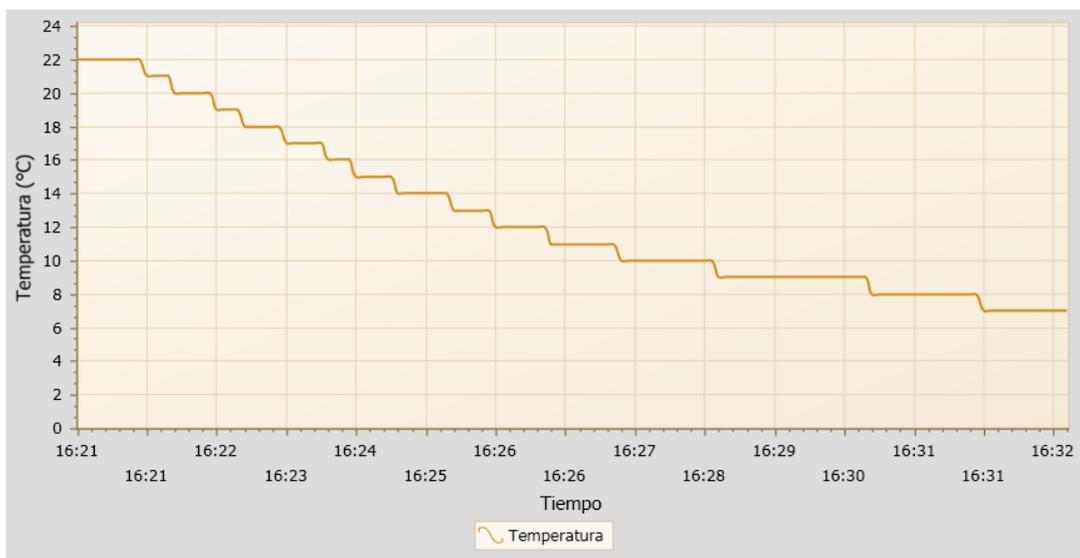


### HISTÓRICOS DE T5 ( TEMPERATURA EN CÁMARA DE REFRIGERACIÓN)

Periodo de tiempo del reporte: 06/12/2013 16:21:05 hasta 06/12/2013 16:32:55

Pag. 1/1

Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura promedio (°C)
7	22	12,70



**Figura 64.** Reporte de temperatura (T5) del sistema SCADA

**Fuente:** El autor

## k.7 ANEXO 7: Ejemplo de un reporte de históricos (P1, P2)



SISTEMA SCADA PARA EL BANCO DE REFRIGERACIÓN DEL AEIRNNR



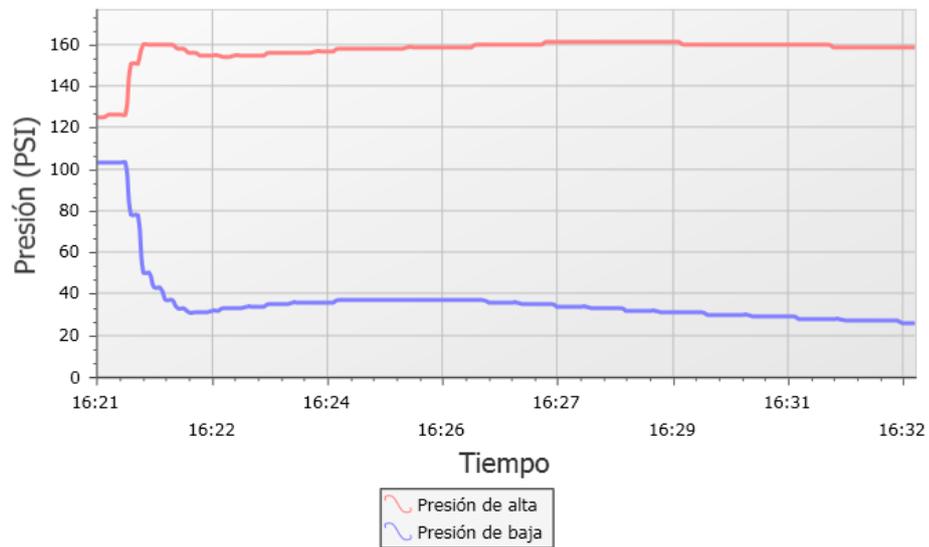
Fecha de creación: domingo, 15 de diciembre de 2013

**HISTÓRICOS DE PRESIÓN**

P1: Presión de alta      P2: Presión de baja

Periodo de tiempo del reporte: 06/12/2013 16:21:05 hasta 06/12/2013 16:32:55 Pag. 1/1

	Presión mínima PSI	Presión máxima PSI	Presión promedio PSI
P1	125	161	157,4
P2	26	103	36,76



**Figura 65.** Reporte de datos de presión del sistema SCADA

**Fuente:** El autor

## **k.8 ANEXO 8: Manual de operación del sistema**

### **Introducción**

La presente guía muestra el manejo del sistema SCADA para el banco de refrigeración por compresión ubicado en el laboratorio de automatización del AEIRNNR, el sistema consta de una computadora central MTU la cual administrará toda la información proveniente del PLC s71200, en una tipología punto a punto, todo esto mediante una comunicación inalámbrica a través del módem D-link Dir 610.

El sistema permite realizar las siguientes acciones:

- Seleccionar el trabajo del sistema de refrigeración mediante tubo capilar o válvula de expansión.
- Controlar automáticamente la temperatura de la cámara de refrigeración mediante un control “todo o nada”.
- Seleccionar la presión de trabajo del lado de alta y baja en el banco de refrigeración.
- Supervisar la temperatura a la entrada y salida del condensador y evaporador.
- Visualizar el estado de las electroválvulas, compresor, ventiladores del condensador y evaporador.
- Generar reportes con los valores de presión y temperatura supervisadas para luego imprimirlas (datos históricos).
- Visualizar gráficas en tiempo real de las variables (tendencias).

Además se deben generar señales de alarma en el HMI cuando se presenten las siguientes condiciones:

- Fallo en la comunicación entre MTU y RTU.
- La presión dentro del banco de refrigeración se encuentre por debajo de 10 PSI.
- La presión de alta supere los 160 PSI.
- Al activar un botón de paro de emergencia desde el HMI
- En caso de rotura de hilo o simple desconexión de los sensores a las entradas analógicas del dispositivo de control.

## Consideraciones previas

Antes de iniciar el modo de runtime del proyecto de Movicon se deben tener en cuenta algunas consideraciones, la primera es que las direcciones IP del módem, PLC, y MTU se encuentren de la siguiente manera:

- IP PLC: 192.168.0.204
- IP MTU: 192.168.0.200
- IP Módem: 192.168.0.1

La distancia entre estos dos últimos no debe ser mayor a 45m, de lo contrario se presentará falla en la comunicación. El computador (MTU) donde se encuentra el archivo de tipo Movicon11.Document (necesario para iniciar el modo de runtime del proyecto de Movicon) debe estar habilitado la conexión de red inalámbrica (red **SCADAwlan**) como se muestra en la figura 66, para ello se debe ingresar con la clave de seguridad: *clavedlink*.



**Figura 66.** Conexión a la red inalámbrica SCADAwlan

**Fuente:** El autor

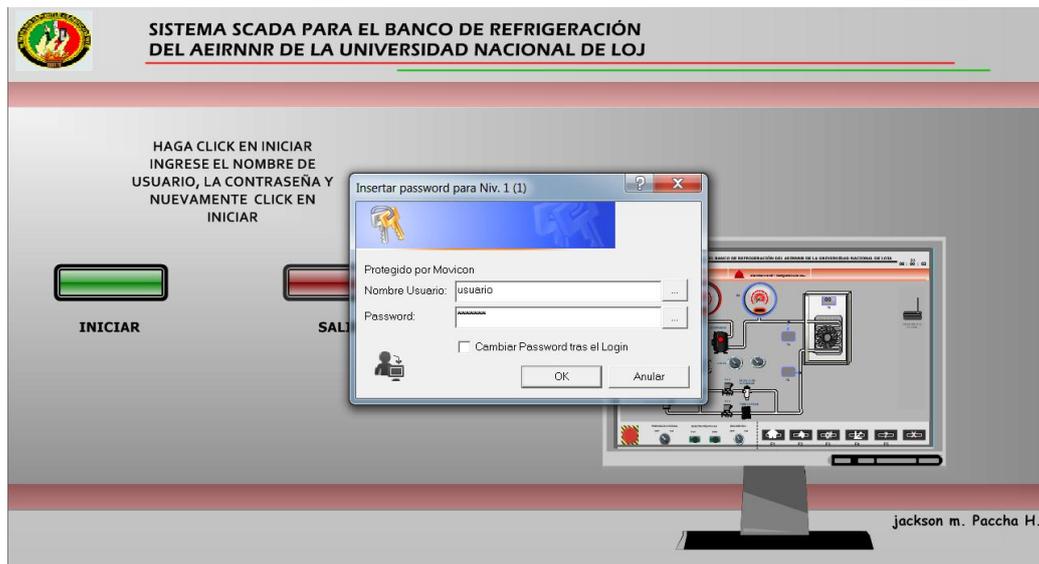
Adicionalmente se debe tener en cuenta que el interruptor termomagnético y el selector de encendido del tablero de control deben estar en la posición ON, con esto los actuadores se encuentran listos para ser controlados por el PLC, y el módem dispuesto para comunicarse con la MTU. Además para poner en funcionamiento el banco

didáctico, es necesario que las presiones de alta y baja se encuentren igualadas aproximadamente entre 100 y 110 PSI.

## Ingreso a sistema

El ingreso al sistema se lo realiza desde la MTU de la siguiente manera:

- Abrir la carpeta nombrada SISTEMA SCADA, donde se encuentra toda la información del proyecto.
- Abrir el archivo de tipo Movicon11.Document
- Iniciar el modo de runtime (figura 61)
- Aparecerá la pantalla de inicio, aquí se da clic en el botón *Iniciar*
- Aparecerá una ventana de dialogo (figura 67) donde se ingresa el nombre de usuario y la contraseña. Para este caso se escribe “usuario” en ambos casilleros
- Dar nuevamente en el botón *Iniciar*, para que aparezca la ventana de monitoreo



**Figura 67.** Ingresar al sistema

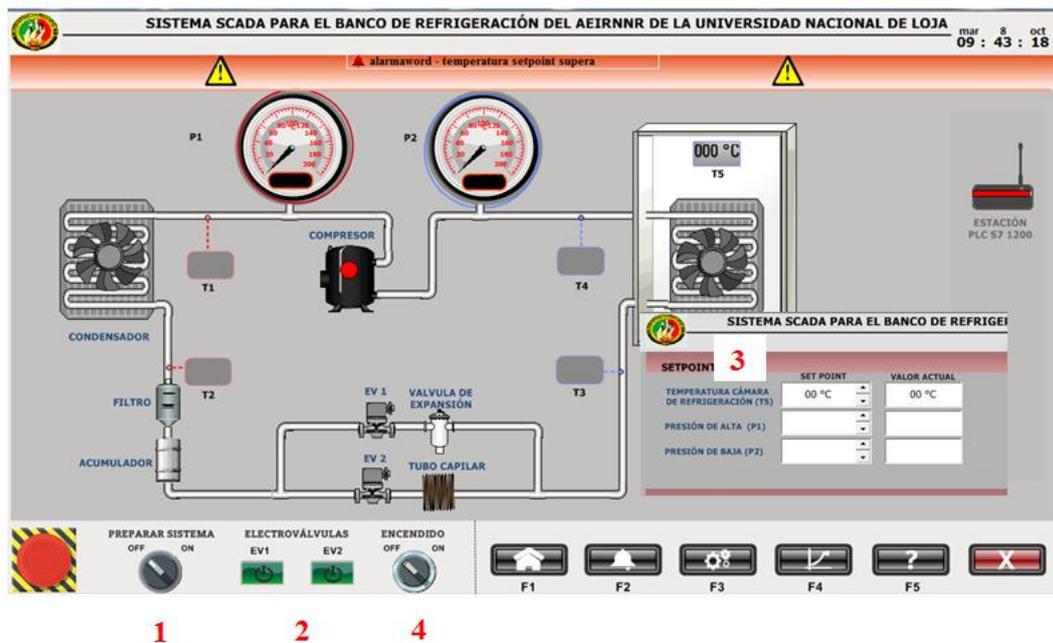
**Fuente:** El autor

## Encender el banco de refrigeración

Dentro de la pantalla principal se realiza lo siguiente (figura 68):

1. Dar clic en el selector preparar sistema, hasta que se ubique en la posición ON

2. Seleccionar un dispositivo de expansión: tubo capilar o válvula de expansión, haciendo clic en el botón correspondiente, hasta que una luz verde en éste se encienda (solo se puede seleccionar un dispositivo de expansión a la vez).
3. Ubicarse en la pantalla de configuraciones, donde en el setpoint se selecciona la temperatura deseada en la cámara de refrigeración (desde 2°C a 15 °C).
4. Se establece en la pantalla de configuraciones la presión de alta y baja. Para la presión de alta se da un valor de 160 PSI y para la de baja 10 PSI.
5. Establecer el tiempo mínimo de funcionamiento del compresor cuando la temperatura deseada haya llegado a la cámara de refrigeración. Este valor debe de estar de 30 segundos a 2 minutos.
6. Regresar de nuevo a la pantalla principal y dar clic en el botón Encendido



**Figura 68.** Pasos para el encendido del banco de refrigeración

**Fuente:** El autor

Una vez realizado los pasos anteriores se puede visualizar que el compresor, ventiladores, y electroválvula seleccionada se encienden.

## Tendencias e históricos

Las tendencias permiten archivar, imprimir y analizar gráficamente el comportamiento de las variables en el sistema, las tendencias pueden ser dinámicas o históricos, las

primeras que se visualizan en tiempo real y los históricos que se archivan (máximo 30 días) con el propósito de poder utilizarlos cuando se los requiera.

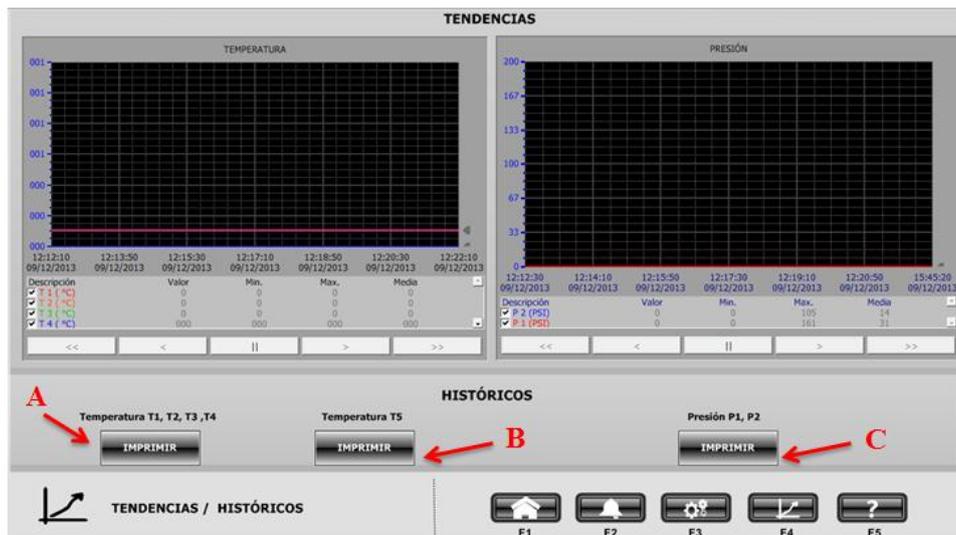
Las variables las cuales se registran cada 5 segundos en un tiempo máximo de 30 días son las siguientes:

- T1: Temperatura entrada de condensador
- T2: Temperatura salida de condensador
- T3: Temperatura entrada de evaporador
- T4: Temperatura salida de evaporador
- T5: Temperatura cámara de refrigeración
- P1: Presión de alta
- P2: Presión de baja

Para visualizar las gráficas de tendencias de estas variables simplemente se ubica en la pantalla de tendencias e históricos y estas aparecerán automáticamente en la parte superior (figura 69).

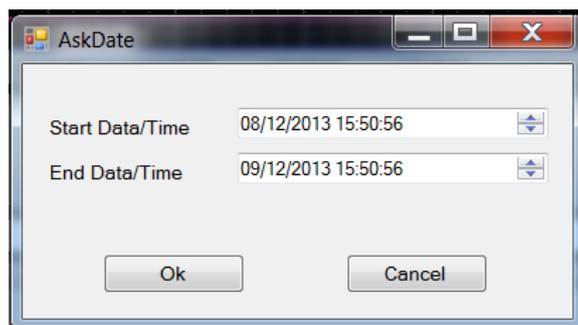
Para crear reportes de datos históricos se procede de la siguiente manera:

1. Se ubica en la pantalla de tendencias e históricos (figura 69)
2. Para crear un reporte de T1, T2, T3 y T4 pulsa el botón A
3. Para crear un reporte de T5 pulsa el botón B
4. Para crear un reporte de P1 y P2 pulsa el botón C
5. Al pulsar cualquiera de los botones antes mencionados aparecerá una ventana donde se tiene que seleccionar la fecha y hora de inicio y final para la creación del reporte (figura 70). En los anexos 4, 5, 6 y 7 se muestran algunos ejemplos de reportes creados.



**Figura 69.** Botones para crear reportes de datos históricos

**Fuente:** El autor



**Figura 70.** Ventana para seleccionar la fecha y hora para la creación de reportes

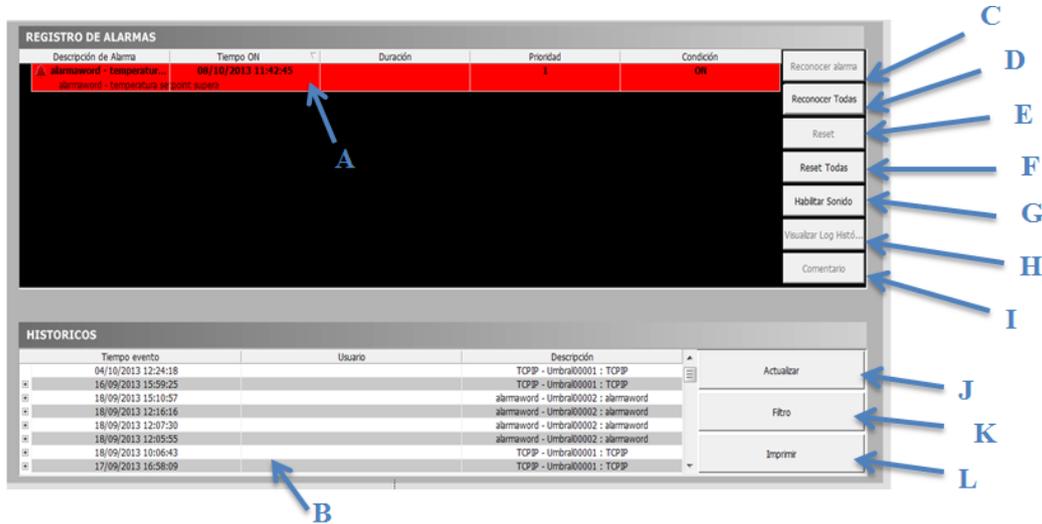
**Fuente:** El autor

## Manejo de alarmas

Cuando una alarma se activa aparecerá en la parte superior de la pantalla principal, para tomar las acciones correspondientes a cada alarma se debe ir a la sección de *diagnóstico de alarmas y fallas* de este manual.

En la pantalla de alarmas (figura 71), al activarse una alarma y una vez tomada la acción para corregirla se tiene que pulsar el botón C para reconocer la alarma seleccionada y D para reconocer todas las alarmas que aparecen en el área A, con ello se logra que en la pantalla principal no se muestren estas alarmas además de que ya no se muestre señales acústicas característico cuando una alarma esta activa.

Cuando se pulsa en resetear (E ó F) se resetean las alarmas que no se encuentren activas, de esta manera ya no se pueden visualizar en la zona de alarmas (zona A). Al realizar esta acción no significa que se borra del registrador de datos de Movicon.

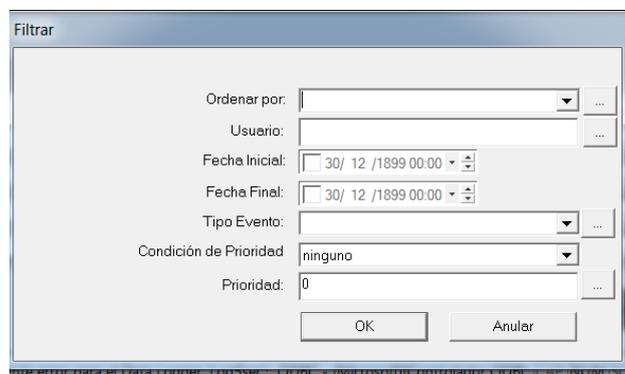


**Figura 71.** Pantalla de alarmas

Fuente: El autor

Para imprimir un reporte con un registro del estado de las alarmas activadas hasta 30 días desde la última sesión iniciada se realiza lo siguiente:

1. Se pulsa el botón Filtro (K) donde aparecerá la ventana de la figura 72, para especificar el intervalo de tiempo que se visualizará en el reporte de las alarmas que se han generado.
2. Pulsar el botón Imprimir (L), dado esto se crea el reporte en un archivo PDF
3. Aparecerá una ventana para ubicar la dirección y guardar el archivo nuevo.
4. Imprimir el reporte desde el archivo PDF que se ha creado.



**Figura 72.** Ventana para seleccionar fecha y hora para crear reporte de alarmas

Fuente: El autor

## Diagnóstico de alarmas y fallas en el sistema

Se ha elaborado la tabla 14 para analizar las alarmas que se pueden activar durante el funcionamiento del sistema, donde el usuario determine las causas y tome las debidas acciones para dar una solución a estos problemas.

**Tabla 14.** Diagnóstico de fallas para el sistema SCADA

<b>Falla</b>	<b>Posible causa</b>	<b>Acción a tomar</b>
Error en comunicación PLC-MTU	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirección IP del computador (MTU) no es compatible con la del PLC</li>   <li>• Conector RJ 45 de módem o PLC flojo.</li> <li>• Distancia inadecuada entre módem - MTU</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el computador Ir a panel de control &gt; Redes e internet &gt; Centro de redes y recursos compartidos &gt; Cambiar configuración del adaptador &gt; Conexión de red inalámbrica&gt; Propiedades &gt; En la opción protocolo de internet verificar que la dirección IP sea compatible con la del PLC, esto es escribir la misma dirección IP del PLC, excepto el último número que tiene que ser diferente y menor a 255.</li> <li>• Revisar que la red inalámbrica del computador este activada</li> <li>• Sujetar bien el conector al dispositivo.</li> <li>• No alejarse más de 30m entre módem y MTU.</li> <li>• Redireccionar la antena del módem.</li> </ul>
La temperatura dentro de la cámara de refrigeración no se mantiene a la asignada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura sobrepasa los valores normales de setpoint.</li>   <li>• Puerta de cámara de refrigeración abierta</li> <li>• No existe alimentación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentro de la pantalla de configuraciones establecer una temperatura de setpoint entre 2 y 10°C.</li> <li>• Revisar y corregir.</li>   <li>• Verificar que el</li> </ul>

	eléctrica para los actuadores.	dispositivo de seguridad eléctrico (relé electromagnético) dentro del tablero de control este en posición ON.
Alarma activa: sensor desconectado No se muestran los valores de temperatura en la pantalla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminales de sensores no están bien fijadas a las entradas del PLC.</li> <li>• Cable roto de uno o más sensores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y corregir.</li> <li>• Corregir si es posible, caso contrario reemplazar sensor.</li> </ul>
No se puede imprimir reportes de alarmas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se ha seleccionado la fecha inicial y final para la generación del reporte</li> <li>• La impresora predeterminada es incorrecta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asignar una fecha inicial y final para la creación del reporte, por defecto aparece la misma hora y fecha en las dos opciones, por lo que no permite generar los reportes.</li> <li>• Ubicarse en la pantalla de configuraciones y corregir.</li> </ul>
Led de Diagnostico encendido en Módulo de señal para RTD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No posee alimentación (12 VDCC) el módulo de señal para RTD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y corregir.</li> </ul>
Presión de baja no se encuentra entre los límites normales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuga de gas refrigerante</li> <li>• Sensor de presión desconectado a la entrada analógica del PLC</li> <li>• Sensor defectuoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y corregir.</li> <li>• Revisar y corregir.</li> <li>• Revisar la presión con un manómetro en el lado de baja, si el valor mostrado en el HMI no es el mismo, sustituir sensor por uno nuevo</li> </ul>
Presión de alta no se encuentra entre los límites normales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de gas refrigerante</li> <li>• Sensor de presión desconectado a la entrada analógica del PLC</li> <li>• Sensor defectuoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y corregir.</li> <li>• Revisar y corregir.</li> <li>• Revisar la presión con un manómetro en el lado de alta, si el valor mostrado en el HMI no es el mismo, sustituir sensor por uno nuevo</li> </ul>

**Fuente:** El autor