



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y
MONITOREO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL
SISTEMA DE BARRA SEGURA Y SISTEMA DIGITAL DE SUPERVISIÓN Y
CONTROL (SDSC) DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN
FRANCISCO”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: ALDO JAIR GAMBOA CEDEÑO
TUTOR: ING. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba-Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajos de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y MONITOREO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL SISTEMA DE BARRA SEGURA Y SISTEMA DIGITAL DE SUPERVISIÓN Y CONTROL (SDSC) DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO”, de responsabilidad del señor Aldo Jair Gamboa Cedeño, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO FIE
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR EIE-CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Jorge Luis Paucar S. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.
Ing. Edwin Altamirano S. MIEMBRO DEL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Aldo Jair Gamboa Cedeño, soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Proyecto de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ALDO JAIR GAMBOA CEDEÑO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de seguir vivo, a mis queridos padres quienes con su dedicación y su amor han estado conmigo guiándome y dándome fortaleza para continuar y han sido pilares fundamentales en mi formación académica. A mi abuelito Eulogio Gamboa por apoyarme en todos los pasos que eh realizado a lo largo de mi trabajo de titulación y a mi abuelita Juanita Vargas que, aunque ya no este conmigo ha sido un de las personas más importantes en esta nueva etapa de mi vida por sus consejos y su amor incondicional para poder logra cumplir mis metas. A mis hermanas por estar siempre dando palabras de apoyo y fuerza para cumplir mi propósito. A mis amigos, a mis maestros y a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado en alcanzar esta meta.

ALDO GAMBOA.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para lograr superar mis obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida, adquirir conocimientos y experiencia para servir a nuestro país y la sociedad. A mi familia que siempre me apoyo sin importar las dificultades que he pasado, por el aliento y el ánimo brindado a lo largo de este arduo camino de aprendizaje. A los Ing. Jorge Luis Paucar y Ing. Edwin Altamirano por brindarnos su ayuda y sus conocimientos de una manera muy desinteresada, de igual manera a todos nuestros maestros que siempre han dado lo mejor de sí para formar profesionales de excelencia. De la manera un agradecimiento muy grande a la Central HIDROELECTRICA SAN FRANCISCO de la Ciudad de BAÑOS - TUNGUARAHUA en especial a los Ingenieros Juan Carlos Paredes y Carlos Molina Especialistas en Mantenimiento Electrónico quienes me colaboraron para que este proyecto sea exitoso

ALDO GAMBOA

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
ABREVIATURAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRAC	xvii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I	6
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1 Procesos Industriales	6
1.1.1 Conceptos Generales.....	6
1.1.1.1 Clasificación de los Procesos Industriales	7
1.1.1.2 Diagramas de procesos de instrumentación P&ID.....	8
1.2 Variables del proceso	9
1.2.1 Variables controladas.....	9
1.2.2 Variables manipuladas	10
1.2.3 Elementos de control.....	10

1.2.3.1	Sensores	10
1.2.3.1.1	Sensor de temperatura y humedad relativa	10
1.2.3.2	Actuadores	12
1.2.3.2.1	Módulo de ventilación	13
1.2.3.2.2	Compresor Copeland ZR125KCE	13
1.2.3.2.3	Resistencias de Calentamiento Electricfor	14
1.3	Tipo de control	14
1.3.1	Control ON-OFF	15
1.3.1.1	Control ON-OFF con Hysteresis.....	16
1.4	Controladores	17
1.4.1	Sistema de Control.....	17
1.4.2	Diseño del sistema de control	17
1.4.3	Hardware del sistema de control.....	17
1.4.3.1	Control Lógico Programable (PLC).....	17
1.4.3.2	Pantalla Táctil o Touch Panel	18
1.4.3.2.1	Pantalla táctil DELTA.....	18
1.4.4	Software del sistema de control	18
1.4.4.1	Software Proficy Machine Edition.....	19
1.4.4.2	Software DOPSoft 2.00.04.....	19
1.5	Interfaz Humano – Máquina (HMI)	20
1.5.1	Normas ISA101	20
1.5.1.1	Etapas para la creación de HMI	21
1.5.1.2	Estándar de creación de HMI.....	22
1.5.1.3	Factores de funcionamiento	22
1.5.1.4	Factores sensoriales	24
1.5.1.5	Colores de las palabras y alarmas	24
1.6	Aire Acondicionado	25
1.7	Enfermedades Ocasionales.....	26
1.7.1	Enfermedades por temperatura y humedad.....	26

CAPÍTULO II	27
2. MARCO METODOLÓGICO	27
INTRODUCCIÓN	27
2.1. Identificación de proceso	27
2.1.1. Diagrama de procesos de Instrumentación (P&ID)	29
2.1.2. Diseño de diagrama de bloques de control	30
2.1.3. Planos Eléctricos y Electrónicos	30
2.2. Elementos de control	30
2.2.1. Sensor de temperatura y humedad NOVUS	30
2.2.2. Ventilador (módulo de ventilación)	31
2.2.3. Compresor Copeland ZR125KCE	32
2.2.4. Resistencia de calentamiento Electricfor	33
2.2.5. Acondicionamiento de sensor	33
2.2.6. Acondicionamiento de actuadores	35
2.3. Algoritmo de control	35
2.3.1. Fórmula para el valor de Histéresis	35
2.3.2. Valores de histéresis para la temperatura	36
2.3.3. Valores de histéresis para la humedad relativa	36
2.4. Diseño del sistema de control	37
2.4.1. Hardware del sistema de control	38
2.4.2. Control Lógico Programable PLC	38
2.4.2.1. Datos Técnicos	38
2.4.2.2. Cableado de entradas y salidas PLC	39
2.4.3. Touch Panel o pantalla de control táctil	40
2.4.3.1. Pantalla DELTA vs GE FANUC	41
2.4.4. Comunicación HMI DELTA-PLC GE FANUC	42
2.4.5. Comunicación HMI DELTA-Sensor NOVUS	43
2.4.6. Software del sistema de control	44
2.4.6.1. Configuración y creación de un nuevo proyecto en el PLC	44

2.4.7.	Programación del sistema de control.....	50
2.4.7.1.	Diagrama lógico del sistema de control para el PLC.....	51
2.4.7.2.	Programación LADDER Aire Acondicionado	52
2.4.7.3.	Programación del control On-Off con Histéresis	52
2.5.	Direccionamiento y asignación de variables	55
2.5.1.	Direccionamiento de memorias y variables internas	55
2.5.2.	Direccionamiento de variables del PLC	56
2.5.3.	Direccionamiento de registros del Sensor NOVUS.....	57
2.6.	Interfaz Humano – Máquina (HMI)	58
2.7.	Análisis Económico.....	59
2.7.1.	Presupuesto del proyecto.....	59
CAPÍTULO III.....		61
3.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	61
	INTRODUCCIÓN	61
3.1.	Pruebas de elementos de campo	61
3.1.1.	Sensores.....	61
3.1.1.1.	Datos de temperatura del anterior sistema y el sistema actual	61
3.1.1.2.	Datos de humedad relativa del anterior sistema y el sistema actual	63
3.1.2.	Actuadores.....	65
3.1.2.1.	Análisis de las mejoras de los actuadores del sistema implementado	65
3.2.	Análisis del algoritmo de control	66
3.3.	Interfaz Humano – Máquina (HMI)	66
3.3.1.	Pantalla Principal.....	67
3.3.2.	Diagrama Unifilar.....	67
3.3.3.	Gráficas de temperatura y humedad relativa	69
3.3.4.	Historial de Eventos	69
3.3.5.	Configuraciones.....	71

3.4.	Análisis de relación COSTO / BENEFICIO	72
3.4.1.	Análisis costo/beneficio del sistema implementado	73
3.4.1.1.	El Valor Presente Neto (VPN).....	73
3.5.	Respuesta a las preguntas de sistematización.....	75
	CONCLUSIONES.....	80
	RECOMENDACIONES.....	81
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1-1 Elección del tipo de control.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 1-2 Características Aire Acondicionado</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2-2 Datos técnicos del sensor NOVUS</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3-2 Datos técnicos motor WEG</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4-2 Datos técnicos compresor Copeland.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5-2 Datos técnicos resistencias de calentamiento Electrifer.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 6-2 Datos Técnicos de la Fuente de alimentación PLC</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7-2 Datos módulo de Entradas del PLC.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8-2 Datos técnicos del módulo de salidas del PLC</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9-2 Datos técnicos Pantalla DELTA</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10-2 Datos técnicos Pantalla GE FANUC</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11-2 Presupuesto del proyecto</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 12-2 Recursos de la empresa.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 1-3 Datos temperatura.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 2-3 Datos humedad relativa</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3-3 Número de conmutaciones de los actuadores antes y después.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4-3 Conmutaciones y vida útil</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 5-3 Jerarquía de Usuarios.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 6-3 Gasto capacitación proyecto.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 7-3 Valor neto presente neto.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 8-3 Beneficio de la implementación del proyecto.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 9-3 Costo/Beneficio</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 10-3 Nuevos dispositivos tecnológicos implementados</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 11-3 OEE anterior sistema</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 12-3 OEE sistema actual</i>	<i>78</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1-1 Base de un Proceso de Control</i>	6
<i>Figura 2-1 Diseño de un Proceso</i>	7
<i>Figura 3-1 Diagrama P&ID</i>	8
<i>Figura 4-1 Variable manipulada</i>	10
<i>Figura 5-1 Sensor de Temperatura LISA</i>	11
<i>Figura 6-1 Humidostato REGIN</i>	12
<i>Figura 7-1 Sensor NOVUS</i>	12
<i>Figura 8-1 Módulo de ventilación</i>	13
<i>Figura 9-1 Compresores Copeland</i>	13
<i>Figura 10-1 Resistencias de calentamiento Electricfor</i>	14
<i>Figura 11-1 Control ON-OFF</i>	16
<i>Figura 12-1 Control ON -OFF con Hysteresis</i>	16
<i>Figura 13-1 Control ON -OFF con Hysteresis Temperatura vs Tiempo</i>	16
<i>Figura 14-1 Sistema de control</i>	17
<i>Figura 15-1 Software Proficy Machine Edition</i>	19
<i>Figura 16-1 Software DOPSoft</i>	20
<i>Figura 17-1 Colores para palabras</i>	24
<i>Figura 18-1 Colores para alarmas y eventos</i>	25
<i>Figura 1-2 Aire acondicionado HITACHI</i>	28
<i>Figura 2-2 Aire acondicionado HITACHI</i>	29
<i>Figura 3-2 Motor WEG</i>	31
<i>Figura 4-2 Clibración del sensor NOVUS</i>	34
<i>Figura 5-2 Calibración de error de sensor NOVUS</i>	34
<i>Figura 6-2 PLC GE FANUC</i>	38
<i>Figura 7-2 Conexiones de cableado para las entradas del PLC</i>	40
<i>Figura 8-2 Conexiones de cableado para las salidas del PLC</i>	40
<i>Figura 9-2 Touch Panel DELTA DOP-B</i>	41
<i>Figura 10-2 Comunicación HMI - PLC</i>	42
<i>Figura 11-2 Configuración del Sensor NOVUS</i>	43
<i>Figura 12-2 Creación de un nuevo proyecto</i>	46
<i>Figura 13-2 Configuración del hardware</i>	47
<i>Figura 14-2 Ventanas de módulos de expansión PLC GE Fanuc</i>	47
<i>Figura 15-2 Módulos agregados y configurados del PLC</i>	48
<i>Figura 16-2 Paso 1 transferencia del programa al PLC</i>	48
<i>Figura 17-2 Paso 2 transferencia del programa al PLC</i>	49
<i>Figura 18-2 Paso 3 transferencia del programa al PLC</i>	49
<i>Figura 19-2 Paso 4 transferencia del programa al PLC</i>	50
<i>Figura 20-2 Creación del programa en el PLC GE FANUC</i>	50
<i>Figura 21-2 Diagrama Lógico Simbología</i>	51
<i>Figura 22-2 Diagrama Lógico Funcionamiento del Aire Acondicionado ACI</i>	51
<i>Figura 23-2 Parámetro de listo para operar</i>	52
<i>Figura 24-2 Conectar ACI</i>	52

<i>Figura 25-2 Direccionamiento variables internas.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 26-2 Direccionamiento de las variables del PLC.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 27-2 Tipos de variables PLC.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura. 28-2 Direccionamiento de los registros sensor.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 29-2 Tipos de registros del sensor.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 30-2 Pantallas del anterior sistema.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 1-3 Pantalla Principal.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 2-3 Pantalla del Diagrama Unifilar.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3-3 Información Diagrama Unifilar.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4-3 Pantalla de gráficas de temperatura y humedad relativa.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 5-3 Historial de eventos.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 6-3 Pantalla de Configuraciones.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 7-3 Login pantalla Principal HMI.....</i>	<i>71</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1-3 Curva comparativa de temperatura</i>	<i>62</i>
<i>Gráfico 2-3 Diferencia de error temperatura.....</i>	<i>63</i>
<i>Gráfico 3-3 Curva comparativa de humedad relativa.....</i>	<i>63</i>
<i>Gráfico 4-3 Diferencia de error humedad relativa.....</i>	<i>64</i>

ABREVIATURAS

CELEC Corporación Eléctrica del Ecuador

SDSC Sistema Digital de Supervisión y Control

P&ID Diagramas de Procesos de Instrumentación

TSAC Tablero del Sistema de Aire Acondicionado

GE General Electric

AC Aire Acondicionado

VDC Voltaje Continuo

TCP Protocolo de Control de Transmisión

RTU Protocolo de comunicación maestro/esclavo

PLC Controlador Lógico Programable.

HMI Interfaz Máquina Humano.

DI Entrada Digital.

IP Protocolo de Internet.

HR Humedad Relativa.

LADDER Diagrama de Escalera.

VPN Valor Presente Neto

TIR Tasa interna de retorno

NC Normalmente Cerrado

NO Normalmente Abierto

RESUMEN

En el presente trabajo se modernizó el sistema de aire acondicionado de la Central Hidroeléctrica San Francisco. Se buscó mejorar del estado de elementos eléctricos y electrónicos que se encuentran en las diferentes zonas de trabajo que necesitan una temperatura estable y humedad adecuada, esta modernización logra evitar enfermedades de salud debido a que los operadores pasan varias horas de trabajo bajo tierra. El sistema que se encontraba implementado no permitía llevar un monitoreo de los datos y un control preciso de lo que ocurría. Para el Sistema de Barra Segura y el Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC) de la central, el acondicionamiento de aire del sistema funciona mediante controladores de temperatura y de humedad relativa del aire. Se realizaron diferentes cambios relacionados con la parte electrónica del sistema para obtener un mejor manejo del mismo, se realizaron los diagramas de procesos de instrumentación (P&ID), modificación de los planos eléctricos y electrónicos para un mejor manejo al momento del mantenimiento, se realiza la implementación de un nuevo sensor de temperatura y humedad relativa para el control de las dos unidades de aire acondicionado, la reprogramación en el controlador lógico programable (PLC), se instaló un nuevo touch panel y su respectiva interfaz humano-máquina (HMI), esto permitió aumentar la confiabilidad del sistema y mejorar su tecnología, para una correcta visualización de su funcionamiento en forma local y remota en tiempo real. Se concluyó que la modernización del sistema logró mejorar la interacción humano-máquina, se mejoró el mantenimiento de la parte electrónica y eléctrica y se solucionaron los problemas existentes en el anterior sistema de aire acondicionado. Se recomienda la adquisición de repuestos del sistema de aire acondicionado, para solucionar posibles fallas por mal funcionamiento de algunos elementos que se encuentren en mal estado.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL AUTOMATICO>, < SISTEMA DIGITAL DE SUPERVISIÓN Y CONTROL (SDSC)>, < PROCESOS DE INSTRUMENTACIÓN >, < CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) >, < PANEL TÁCTIL>, < INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA>, <NORMA ISA101>

ABSTRAC

In the present research, the air conditioning system of the San Francisco Hydroelectric Plant was modernized. It aims to improve the state of electrical and electronic elements which were found in the different work areas that need a suitable stable and wet temperature. This modernization is able to avoid health diseases because operators spend several hours of work underground. The prior system did not allow to carry out a monitoring of the data and a precise control of what happened. For the hydroelectric plant the safe Bar Code System and the Digital Supervision and Control System (DSCS), the air conditioning system works by temperature and relative air humidity controllers. Different changes related to the electronic part of the system were made to get a better management of the system. The process diagrams of instrumentation Piping and Instrumentation Diagram/Drawing (P&ID) and the modification of the electric and electronic planes were carried out for a better handling at the time of maintenance. The Implementation of a new temperature and relative humidity sensor for the control of the two air conditioning units, as well as reprogramming in the PLC (Programmable Logic Controller). A new touch panel and its human-machine interface (HMI) were installed. It allowed to increase system reliability and improve its technology in order to have a correct visualization of its operations in local form and remote in real time. It is concluded that the modernization of the system managed to improve the human-machine interaction, the maintenance of the electronic and electrical part and solve the current problems in the previous air conditioning system. The purchase of spare parts of the air conditioning system in order to solve possible faults due to incorrect functioning of some elements that are in bad condition.

KEYWRODS: <SCIENCES AND TECHNOLOGY>, <AUTOMATIC CONTROL>, <DIGITAL SUPERVISION AND CONTROL SYSTEM (DSCS)>, <PROCESS INSTRUMENTATIONS>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <TOUCH PANEL>, <HUMAN-MACHINE INTERFACE (HMI)>, <ISA 101 STANDARD>

INTRODUCCIÓN

En una central hidroeléctrica al existir varios procesos que ayudan a realizar un correcto funcionamiento para la generación de energía, procesos tanto eléctricos, electrónicos y mecánicos, para lo cual se necesita un constante mejoramiento de cada uno de los procesos de la planta de trabajo, en este proyecto se va modernizar el sistema de aire acondicionado de la empresa, por motivo de fallas y el deterioro de algunos dispositivos eléctricos y electrónicos, como también cuidando la salud de los operadores que pasan todo el tiempo bajo la superficie de la tierra y las condiciones deben ser las adecuadas para su trabajo.

Los cambios que se realiza mejorará la eficiencia del personal y de los equipos que integran el sistema, alargando su vida útil y logrando obtener un sistema de alta calidad y confiabilidad que trabaje de acuerdo a los requerimientos de la central Hidroeléctrica San Francisco. Todas las modificaciones que se realiza se detallan en cada capítulo de este proyecto de modernización.

ANTECEDENTES

La Central Hidroeléctrica San Francisco tiene una potencia instalada de 230 MW para la producción de energía hidroeléctrica y la demanda del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador.

La central San Francisco se construyó desde febrero de 2004 y dio inicio a la generación comercial la primera unidad (Unidad 02) el 03 de mayo del 2007, la otra Unidad U1 a principios de junio 2007. La central San Francisco está ubicada entre la cuenca media y baja del Río Pastaza, ciudad de Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua, región central del Ecuador. La central San Francisco tiene dos unidades generadoras de 115 MW cada una, con 230 MW de potencia instalada.

La Central San Francisco es una de las centrales hidroeléctricas más modernas del país ya que cuenta con muchos sistemas automáticos y de gran complejidad regidos con programación en PLC, supervisión y monitoreo en touch panels los cuales ayudan a llevar de una manera más eficiente la Central.

La central posee un sistema de aire acondicionado que permite mantener una temperatura y humedad relativa adecuada el sistema de barra segura y el Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC) ubicada en la sala de control, logrando de esta manera cuidar la salud de las personas que trabajan en estos lugares y tener en buen estado los dispositivos eléctricos y electrónicos, evitando la humedad y el deterioro de los mismos.

Actualmente el sistema de aire acondicionado posee un tablero de control automático dotado de un PLC de la marca GE Fanuc Versamax modelo IC200CPU002, relés auxiliares, demás elementos de control y un touch panel GE modelo ES0611 de 7 pulgadas que al momento ha presentado problemas en su funcionamiento, de acuerdo a los datos registrados en la bitácora de la sala de control en enero del 2013 en el touch panel se quemaron varias filas de led lo cual no permite una visualización correcta del estado del sistema. En junio 2013 el touch panel no responde, lo cual no permite interactuar con el sistema, por lo tanto, se procedió a cambiar de modo de operación automático a manual, con estas fallas presentes en el sistema actualmente el registro de datos operativos del sistema es limitado por lo tanto es necesario reemplazar el HMI lo más pronto posible.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La ausencia de un monitoreo en tiempo real provoca o genera un desconocimiento del sistema de aire acondicionado de la empresa Hidroeléctrica San Francisco, en el Sistema de Barra Segura y Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC).

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿En base al sistema instalado cuales son los elementos que componen el proceso y cuál es la lógica de control que me permite manejarlo de manera eficiente?

¿En base a tecnologías actuales que implementos o dispositivos, me permitirán hacer un monitoreo en tiempo real de las variables de proceso?

¿En qué porcentaje se logrará incrementar la vida útil de los dispositivos de campo con el nuevo sistema de aire acondicionado?

¿La automatización del proceso de aire acondicionado de la central Hidroeléctrica San Francisco, permitirá reducir el número de fallas generada en el sistema anterior?

JUSTIFICACIÓN

Justificación Teórica.

La mejor manera de llevar un monitoreo y control de un sistema es con pantallas HMI y programación en el PLC que nos ayuda al control del mismo, estos dispositivos son de gran importancia en el campo del control automático, el monitoreo de señales analógicas y digitales, para la visualización de procesos en tiempo real y todo tipo de proceso industrial.

Para que el sistema de aire acondicionado de la central mejore su confiabilidad es necesario realizar un rediseño completo del proceso de control, diseñando planos eléctricos y electrónicos, diagrama del proceso de instrumentación P&ID, pantallas del diagrama unifilar, el estado del sistema, comportamiento de la temperatura, historial de eventos, ingresos jerárquicos al sistema, lo cual permitirá monitorear, supervisar y controlar de manera eficiente el sistema.

Justificación Aplicativa.

En el contexto de utilizar pantallas táctiles para el monitoreo y control de un sistema es un gran recurso ya que permite a los operadores a realizar una supervisión más eficiente y uno de los puntos de este proyecto es implementar un nuevo HMI y realizar corrección de errores en el

sistema de aire acondicionado de la central para mantener en buen estado los dispositivos electrónicos.

Por los problemas que presenta el panel táctil GE FANUC es necesario realizar el cambio del HMI, adicional para mejorar el proceso de control es necesario instalar un nuevo sensor de temperatura y humedad en las unidades AC1 y AC2 permitiendo realizar un seguimiento de temperatura y humedad.

Con todos los cambios realizados a lo largo del rediseño y modernización del proyecto se garantiza una temperatura adecuada para todos los dispositivos electrónicos, mejor manejo de datos y una reducción en su totalidad de los problemas relacionados con el aire acondicionado de la central, obteniendo así un sistema de mejor confiabilidad para la operación de la central.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Modernizar el sistema de supervisión, control y monitoreo del sistema de aire acondicionado para el Sistema de Barra Segura y Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC) de la Central Hidroeléctrica San Francisco.

Objetivos Específicos:

- Levantar la información técnica actual del funcionamiento del sistema de aire acondicionado para su modernización.
- Diseñar planos eléctricos, electrónicos y de procesos de instrumentación P&ID para un mejor control y gestión del sistema
- Diseñar diferentes pantallas HMI para control y monitoreo del sistema por parte de los operadores.
- Programar el PLC GE FANUC para el monitoreo y control de temperatura de los equipos de aire acondicionado.
- Reducir el número de fallas existentes en el anterior sistema de aire acondicionado, para lograr un sistema más eficiente.
- Prevenir mediante el buen funcionamiento del sistema de aire acondicionado la salud de los operados de la central Hidroeléctrica San Francisco

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Procesos Industriales

En cada parte del planeta no se podría llevar condiciones de vida adecuadas sin la industria de transformación de materia prima, como son industrias textiles, alimenticias, generadoras de electricidad, farmacéuticas, constructoras, etc.

Estas industrias conllevan diferentes procesos industriales para el manejo de sus recursos para producir sus productos o servicios, los mismos que constan de una serie de pasos organizados y sistemáticos para modificar sus materias primas, con el fin de obtener productos que abastezcan las necesidades de nuestra sociedad.

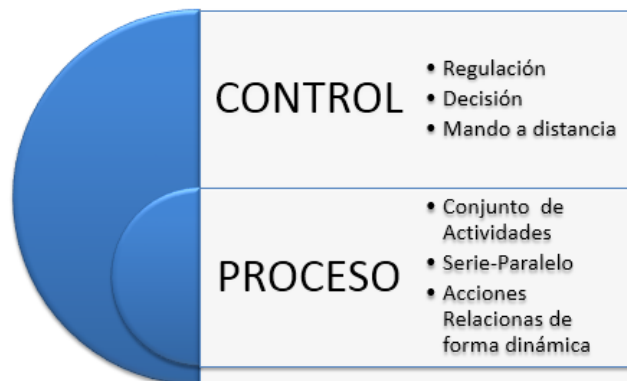


Figura 1-1 Base de un Proceso de Control
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.1.1 Conceptos Generales

Un proceso es comprendido como todo desarrollo sistemático que conlleva una serie de pasos ordenados u organizados, que se efectúan o suceden de forma alternativa o simultánea, los cuales se encuentran estrechamente relacionados entre sí y cuyo propósito es llegar a un resultado preciso. Desde una perspectiva general se entiende que el devenir de un proceso implica una evolución en el estado del elemento sobre el que se está aplicando el mismo hasta que este desarrollo llega a su conclusión. (E-Resources, 2012)



Figura 2-1 Diseño de un Proceso
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.1.1.1 Clasificación de los Procesos Industriales

En el informe realizado por (Santis, 2014), “Procesos Industriales”, se clasifica a los procesos de la siguiente manera:

- **Proceso batch o por lotes:** la alimentación es cargada al comienzo de la operación en un recipiente y luego de un cierto tiempo el contenido del recipiente es removido o descargado. En este modo de operación, no hay transferencia de materia a través de las fronteras sistema (entendiendo por sistema cualquier porción arbitraria o completa de un proceso establecido por el ingeniero para el análisis). Esta operación también es llamada cerrada, aunque no debe asociarse este término a que esté en contacto con la atmósfera, simplemente se los llama cerrados porque no hay ingreso de materia a ser procesada ni egreso de productos durante el tiempo en que ocurre la transformación. Ej. agregado rápido de reactivos a un tanque y extracción de los productos de reacción y de los reactivos no consumidos luego de un cierto intervalo de tiempo o una vez que el sistema alcance el equilibrio.
- **Proceso continuo:** hay un flujo permanente de entrada y de salida durante todo el tiempo que dura el proceso, siempre hay un flujo de materia que ingresa por las fronteras del sistema y otro que egresa por ellas mientras se lleva a cabo la transformación. Ej. bombeado de una mezcla líquida a un destilador y extracción permanente de los productos de cabeza y fondo de la columna.
- **Proceso semicontínuo o semibatch:** cualquier forma de operar un proceso que no sea continua ni batch. Ej. Permitir el escape de un gas presurizado en un contenedor a la atmósfera o introducir líquido en un tanque sin extraer nada de él, o sea, llenado de un tanque o vaciado del mismo.

De acuerdo a la variación del proceso con el tiempo, los mismos pueden ser clasificados en estacionarios o transitorios. Si en un proceso dado, los valores de las variables no cambian en el tiempo, entonces el proceso está operando en un estado estacionario. Por el contrario, si las variables del proceso cambian en el tiempo, el proceso es operado en estado transitorio o no estacionario. Por lo tanto, los procesos por lotes o semicontínuos por su propia naturaleza, siempre operan en estado transitorio mientras que los continuos pueden hacerlo en estado estacionario o no. Los procesos batch generalmente se usan cuando se procesan pequeñas cantidades de reactivos o cuando son operaciones ocasionales mientras que, si se desean obtener grandes cantidades de producto, se opera de modo continuo. Normalmente los procesos continuos se llevan a cabo en estado estacionario excepto en la puesta en marcha/parada de un proceso.

1.1.1.2 Diagramas de procesos de instrumentación P&ID

Los diagramas P&ID, permiten conocer la distribución de los elementos de instrumentación, mismo que ayudan a conocer la interconexión de equipos de proceso de instrumentación utilizados en el sistema. En el sistema de aire acondicionado estos planos muestran el diagrama de válvulas y tuberías que utilizan las unidades de AC, para realizar los procesos de acondicionamiento del ambiente, puesto que las unidades de aire trabajan con agua.

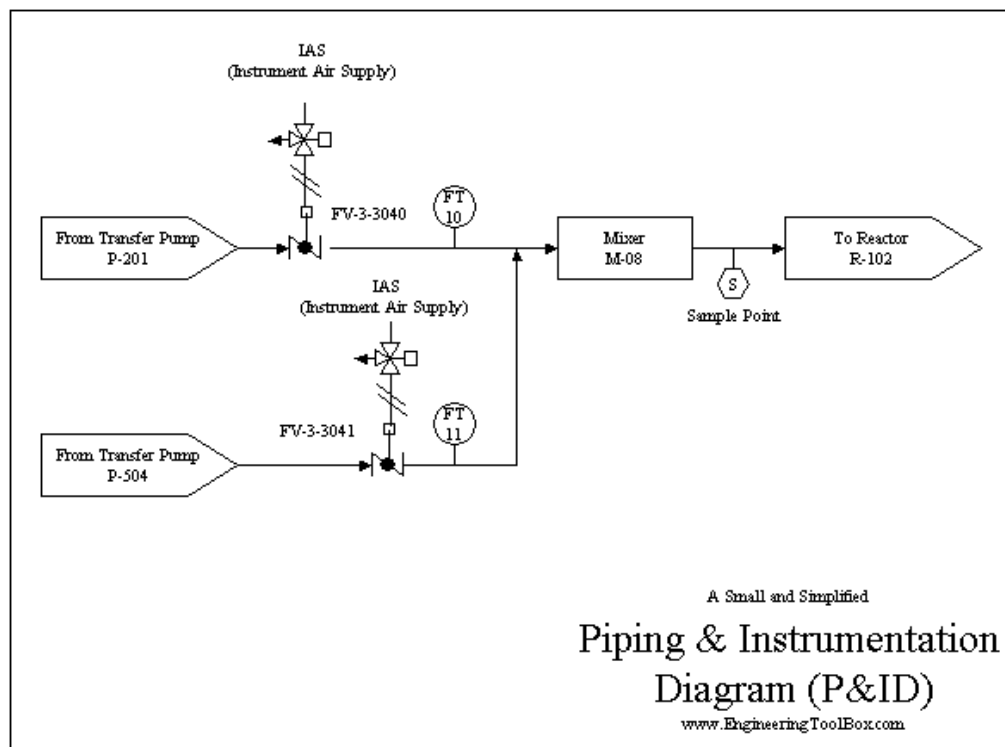


Figura 3-1 Diagrama P&ID

Fuente: http://www.engineeringtoolbox.com/p-id-piping-instrumentation-diagram-d_466.html

1.2 Variables del proceso

En cada uno de los procesos industriales existen diferentes variables las cuales influyen en las entradas o salidas del proceso, entre las cuales tenemos:

- Masa
- Densidad
- Presión
- Temperatura
- Humedad
- Torque
- Distancia

Estas variables son las más comunes en los procesos de una industria, los mismos que son controlados, supervisados y monitoreados por medio de la instrumentación del proceso y permiten realizar el control en sistemas tales como:

- Sistemas eléctricos
- Sistemas electrónicos
- Sistemas mecánicos
- Sistemas hidráulicos

Existen dos tipos de variables que permiten realizar un control eficiente las variables controladas y las variables manipuladas.

1.2.1 Variables controladas

Son variables físicas que se pueden controlar por medio de un sistema de control establecido, las variables controladas para este sistema son:

- **Temperatura.** – Propiedad física que nos refiere a la ausencia de calor o incremento de calor en el ambiente, esta variable es actúa en varios procesos industriales tales como: químicos, metalurgia, aire acondicionado, refrigeración, etc.
- **Humedad relativa.** – Propiedad física, que relaciona el vapor de agua que existe en el ambiente, esta variable es muy utilizado en procesos de condensado, refrigeración, aire acondicionado y procesos biológicos.

1.2.2 Variables manipuladas

Es la condición que varía por medio del tipo de control de manera que altere o afecte el valor de la variable controlada al final del sistema

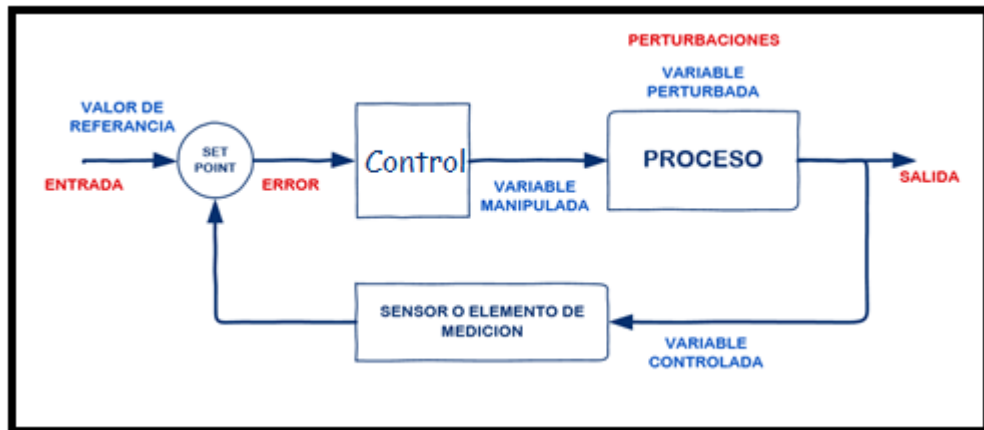


Figura 4-1 Variable manipulada
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.2.3 Elementos de control

1.2.3.1 Sensores

Un sensor es dispositivo que a través de los fenómenos físicos del medio que nos rodea, podemos obtener una señal de salida traducible en función de una variable medida, unas de las mayores características de los sensores nos permiten percibir cualquier anomalía física que los sentidos no captan como humedad, temperatura, presión, rigidez, distancia, etc.

Para la realizar este proyecto se utiliza dos diferentes tipos de sensores, para las distintas pruebas y logrando obtener así el sensor adecuado para la implementar la modernización del sistema, se puedo elegir de acuerdo a las especificaciones y a su funcionamiento. Lo sensores de humedad y temperatura que se encontraban instalados en el sistema descritos a continuación se encontraban en mal estado por ese motivo se realiza el cambio respectivo por un nuevo sensor de mejor calidad y de mejor uso.

1.2.3.1.1 Sensor de temperatura y humedad relativa

Como señala, (Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noruega, 2010, pág. 45), en su libro titulado “Guía Práctica de Sensores”.

Los sensores de temperatura son aquellos cuyo funcionamiento viene dado por la modificación de la resistencia eléctrica o conductividad de su material de función de las variaciones de temperatura. Esta función se puede medir a raíz de determinados fenómenos como la dilatación

de cuerpos sólidos, líquidos o gaseosa, emisión y de absorción de rayo infrarrojos, etc. Dichos elementos no funcionan únicamente como consecuencia de la variación de su resistencia en la temperatura, sino que experimentan determinados cambios de conductividad.

Como señala, (Serna Ruiz, Ros Garcia, & Rico Noruega, 2010, pág. 69), en su libro titulado “Guía Práctica de Sensores”.

Los sensores de humedad se utilizan para expresar la cantidad de agua que existe en un medio determinado, ya sea líquido, solido o gaseoso. Conocer esta cantidad o concentración puede ser muy útil para determinados propósitos, ya que podría influir en el funcionamiento de procesos industriales, alimentarios, agrícolas, o en la duración de ciertos elementos incorporados a electrodomésticos, vehículos, telefonía, etc.

Estos son los sensores que la Hidroeléctrica San Francisco proporciono el proyecto, los mismo que se analizó para la utilización del mejor modelo en el sistema implementado.

- Sensor de temperatura LISA NT 3950, ver **Figura 5-1**

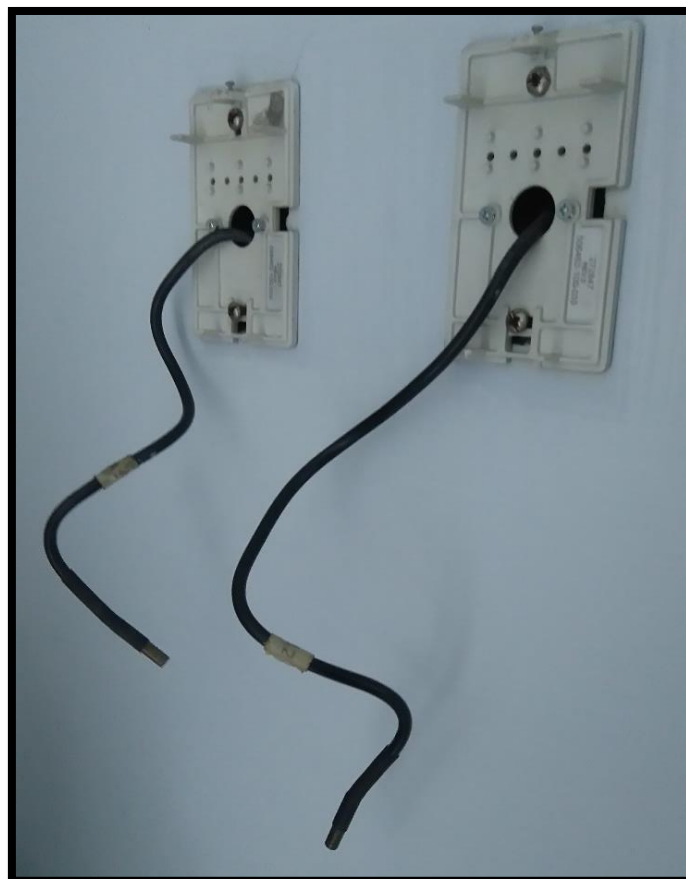


Figura 5-1 Sensor de Temperatura LISA
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

- Sensor de humedad relativa REGING HR2, ver **Figura 6-1**



Figura 6-1 Humidostato REGIN
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

- Sensor de temperatura y humedad NOVUS RHT-DM-485-LCD, ver **Figura 7-1**

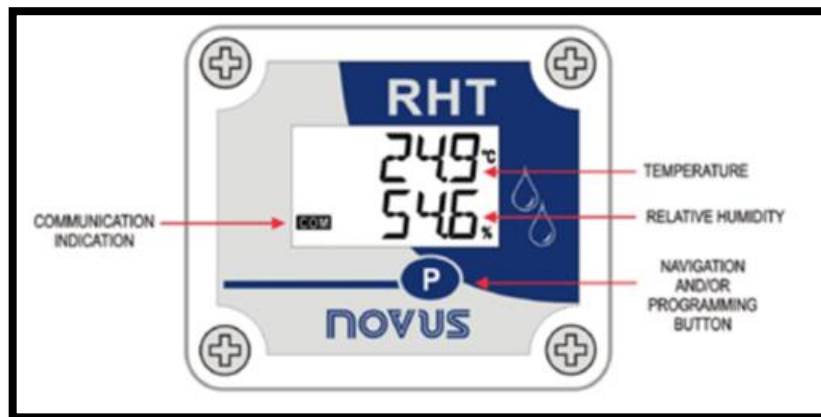


Figura 7-1 Sensor NOVUS

Fuente: http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/v10x_b_manual_rht

1.2.3.2 Actuadores

Los actuadores son los elementos finales de control, que funcionan como órganos de mando de unos compresores, motores etc. Entre ellos podemos citar los interruptores y relés capaces de obedecer a una señal eléctrica o neumática procedente del regulador y de actuar sobre la planta o proceso modificando alguno de sus parámetros fundamentales de funcionamiento.

1.2.3.2.1 Módulo de ventilación

El módulo de ventilación parte más importante de las unidades de aire acondicionado, puesto que ayudan a tener un flujo de aire constante, logrando así un ambiente cómodo en los lugares de trabajo, este módulo de ventilación consta de un ventilador y un motor de 3.7W y 4 polos de la marca WEG como se muestra en la **Figura 8-1**.



Figura 8-1 Módulo de ventilación
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.2.3.2.2 Compresor Copeland ZR125KCE

Compresores de acción simple, con partes móviles balanceadas estática y dinámicamente, equipado con un sistema de lubricación, dispositivos de sellado de los ejes a prueba de fugas y tipo de refrigerante R-407 ecológico. Construcción rígida, durable y confiable, con pequeño desgaste por operación continua, ver **Figura 9-1**.



Figura 9-1 Compresores Copeland
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.2.3.2.3 Resistencias de Calentamiento Electricfor

Las resistencias de calentamiento son las que permiten secar el aire y mantener una humedad baja, puesto que las unidades de AC que se encuentran instaladas funcionan con agua y por motivo de la condensación que producen los compresores, existe humedad en el ambiente, se puede conocer a este actuador como la unidad evaporadora de las unidades de AC, ver **Figura 10-1**.



Figura 10-1 Resistencias de calentamiento Electricfor
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.3 Tipo de control

El tipo de control se basa en el funcionamiento que se necesita en la empresa y los requerimientos del mismo, para esto se realiza un análisis con de cada uno de los tipos de control en base a los siguientes parámetros, ver **Tabla 1-1**:

Entre los tipos de control tenemos:

- Control ON-OFF
 - Control ON-OFF con histéresis
- Control proporcional integral
- Control integral
- Control proporcional integral

Dependiendo de los beneficios del control que se necesita se estableció que el sistema que se va a utilizar es el control ON-OFF con histéresis.

Tabla 1-1 Elección del tipo de control

ELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL EN BASE A REQUERIMIENTOS DE CELEC HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO				
Control / Parámetros	Control On-Off con Hysteresis	Control Proporcional Integral	Control Integral	Control Proporcional Integral
Control de fácil implementación	√	x	x	x
Programación de fácil entendimiento y realización	√	x	x	x
Fácil Mantenimiento	√	x	x	x
Recomendable para proceso de poco riesgo	√	√	√	√
Procesos con tiempo de retardo mínimo y velocidad de relación lenta.	√	x	x	x
Tiene un simple mecanismo de construcción	√	x	x	x
Utilizados en sistemas de regulación de temperatura y humedad con precisión mínima	√	√	√	√
Control dependiente del signo del error.	√	x	x	x
Variación cíclica continua de la variable controlada.	√	x	√	√
Mínimo desgaste de los equipos de controlados	√	√	√	√
Facilidad para tomar resultados	√	√	√	√
Inmunidad al ruido	√	x	x	√
Recomendable en sistemas de aire acondicionado industrial	√	√	√	√
Sistema sin compensadores	√	x	x	x

Realizado por: Gamboa, A. 2017.

1.3.1 Control ON-OFF

El control ON-OFF es el sistema de regulación más simple y económico, se lo utiliza en aplicaciones con oscilación continua entre dos límites, consiste en activar el mando de control cuando el valor medido de un transductor está por debajo del valor predeterminado en el set point y desactivarlo cuando este valor está por arriba del valor preestablecido en el set point o viceversa.

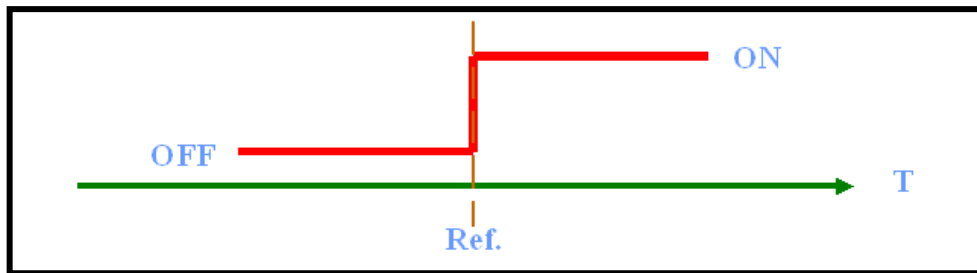


Figura 11-1 Control ON-OFF

Fuente: <http://ospid.com/blog/what-is-pid-control/>

1.3.1.1 Control ON-OFF con Hysteresis

Uno de los problemas que presenta este sistema de control es el excesivo número de conmutaciones en un proceso, puesto que no tiene un rango de amortiguamiento para evitar las conmutaciones excesivas, para esto se utiliza una zona de tolerancia llamada histéresis, las misma que es como una oposición a experimentar cualquier cambio, su respuesta es de tipo ON-OFF, de forma que se conecta cuando la variable regulada ha descendido hasta un valor por debajo de la variables de consigna y solo se desconecta cuando dicha variable supera el límite superior de la variable de consigna, como se muestra en la **Figura 12-1** y **Figura 13-1**

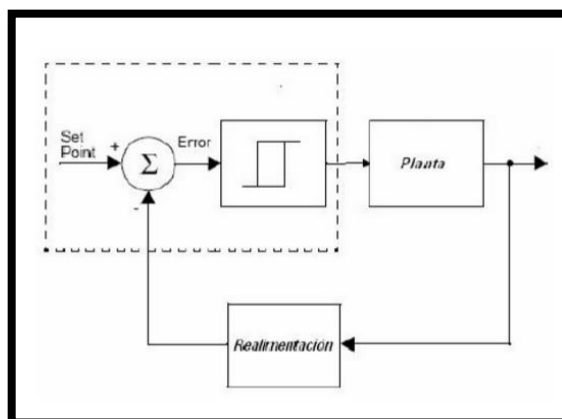


Figura 12-1 Control ON -OFF con Hysteresis

Fuente: <http://es.slideshare.net/alejandra03maldonado/32-control-on-off-y-proporcional>

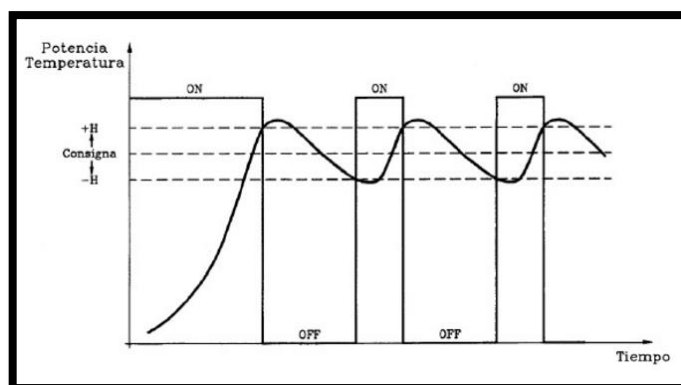


Figura 13-1 Control ON -OFF con Hysteresis Temperatura vs Tiempo

Fuente: <http://es.slideshare.net/alejandra03maldonado/32-control-on-off-y-proporcional>

1.4 Controladores

Conjunto de dispositivos encargados de gestionar, decidir y regular el funcionamiento de sistema o proceso industrial, cumpliendo así un objetivo de control, reduciendo fallas y obteniendo buenos resultados.

1.4.1 Sistema de Control

“Un sistema de control es un conjunto de conocimientos, métodos, herramientas, tecnologías, dispositivos, y experiencia que se necesita para medir y regular automáticamente las variables que afectan a un sistema o proceso de producción , logrando así mejoras en el control, calidad, la productividad y la seguridad de un proceso industrial.” (SOFTWARE, ATP, 2013)

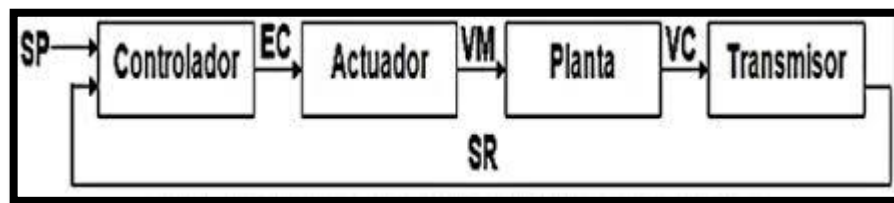


Figura 14-1 Sistema de control
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

Controlar un proceso es manejar señales externas previamente establecidas en un sistema las misma que deben ejecutar un proceso de una manera eficaz, eficiente y coherente.

1.4.2 Diseño del sistema de control

El diseño de un sistema de control es un ejemplo de diseño en la parte de la ingeniería, la meta del diseño del sistema de control es obtener las especificaciones y configuraciones de todos los parámetros más relevantes de un sistema que se desea mejorar o implementar para satisfacer una necesidad.

1.4.3 Hardware del sistema de control

1.4.3.1 Control Lógico Programable (PLC)

Los controladores lógicos programables son dispositivos que ayudan a controlar un proceso o una máquina, estos dispositivos constan con terminales tanto para entradas que reciben señales de transductores y salidas que proporcionas órdenes para conectar indicadores luminosos, acústicos, entre otras.

Un controlador lógico programable (PLC) es el cerebro de un proceso ya que este realiza todas las funciones de control para que el proceso sea automático y lleve una lógica, logrando así dar solución a un problema.

Una de las partes más importantes de un PLC son las entradas y salidas analógicas o digitales las cuales permiten el manejo de variables o señales externas para un control adecuado.

1.4.3.2 Pantalla Táctil o Touch Panel

Los touch panel o pantallas táctiles son dispositivos de monitoreo, supervisión y control, que permiten conocer el funcionamiento de un proceso industrial de una forma visual, puesto que en estos dispositivos por medio de un software propio de la pantalla se programa una interfaz gráfica humano - máquina (HMI), la misma que permite que la pantalla interactúe con el personal de supervisión y control de un empresa o industria.

1.4.3.2.1 Pantalla táctil DELTA

“La pantalla táctil color DELTA de la serie DOP-B, permite la introducción de parámetros intuitiva y una gran variedad de formas de mostrar los datos variables, incluyendo gráficos de tendencias y elementos de alarma. La pantalla LCD de alta resolución visualiza operaciones, la monitorización y el control eficiente en tiempo real. Además, el software de edición fácil de usar guía a los usuarios a crear rápidamente iconos visuales fáciles de navegar y fácil diseñar pantallas de control intuitivo para aplicaciones, mientras hace los ajustes, la programación y la programación de secuencias operativas que mejoran la flexibilidad y ahorrar tiempo de desarrollo. Esto logra un desarrollo rápido del sistema que simplifica el cableado y la instalación, ahorra gastos de explotación, y hace que los sistemas más eficientes, lo que elimina el ajuste de tiempo y costes de mantenimiento adicionales”. (Delta, 2016)

1.4.4 Software del sistema de control

Como señala (Laboda, Galimany, Pena, & Gual, 1985) en su libro “La Biblioteca Practica de la Computación”, que:

Es el proceso de diseñar, codificar, depurar y mantener el código fuente de programas computacionales. El código fuente es escrito en un lenguaje de programación. El propósito de la programación es crear programas que exhiban un comportamiento deseado. El proceso de escribir código requiere frecuentemente conocimientos en varias áreas distintas, además del dominio del lenguaje a utilizar, algoritmos especializados y lógica formal. Programar no involucra necesariamente otras tareas tales como el análisis y diseño de la aplicación, aunque sí suelen estar fusionadas en el desarrollo de pequeñas aplicaciones.

1.4.4.1 Software Proficy Machine Edition

Proficy Machine Edition es software propio de la marca General Electric GE que nos permite la programación de la gran gama de PLC propios de esta empresa como son VersaMax Professional, Standard, Nano/Micro, Series 90-30, Series 90-70, PACSystems RXi, RX7i y RX3i., para la automatización y control de procesos industriales, este software consta un interfaz para la programación robusta ya que se necesita conocer bien este programa para empezar a realizar la respectiva programación, en este entorno de programación también se puede realizar HMI en pantallas touch de la misma marca General Electric GE.

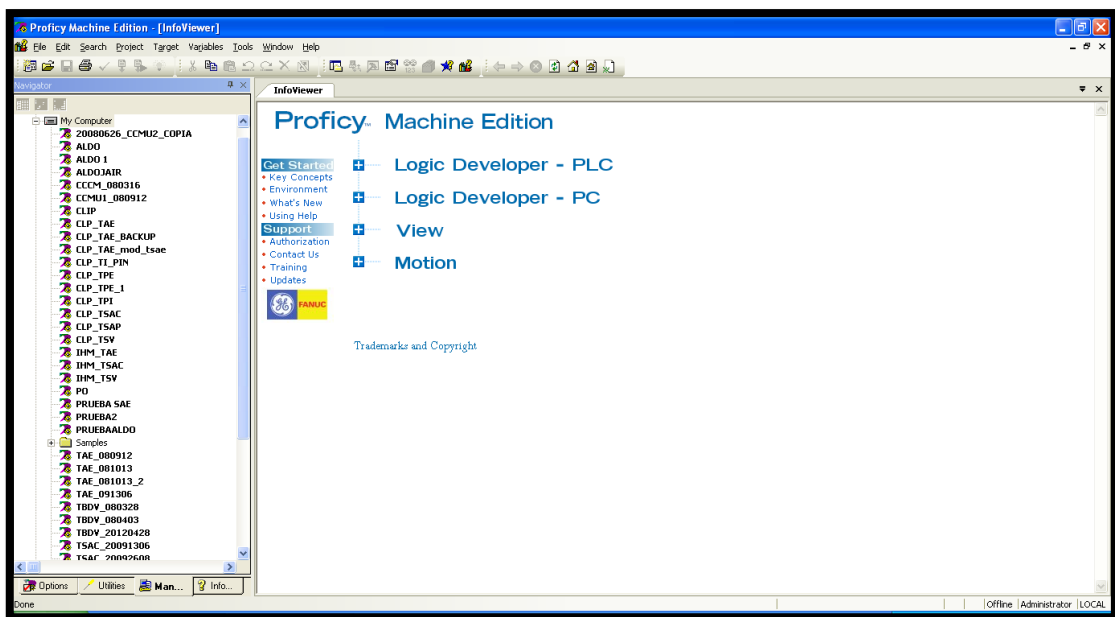


Figura 15-1 Software Proficy Machine Edition

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

1.4.4.2 Software DOPSoft 2.00.04

El software DOPSoft es el nuevo entorno de programación del departamento de interfaz HMI (HMI) de Delta Electronics. Este programa cuenta con la integración de los componentes y funciones de los editores de pantalla convencionales, los mismos que nos brindan:

- Mayor comodidad al momento de aprovechar su funcionamiento.
- De fácil entendimiento para el programador de pantallas HMI.
- Tipo de respuesta mucho más rápida que algunos otros softwares de programación de interfaces HMI
- Programación interactiva para el uso de las herramientas propias del sistema, para la creación de pantallas HMI.
- Programa multifuncional para manejo de dispositivos de control.

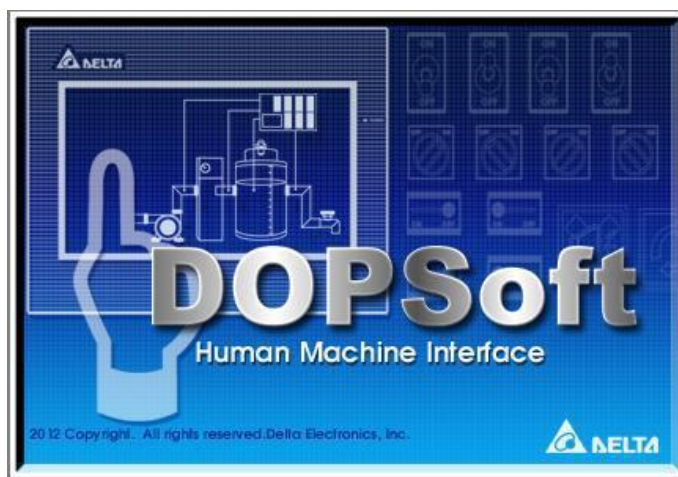


Figura 16-1 Software DOPSoft

Fuente: Software DOPSoft

1.5 Interfaz Humano – Máquina (HMI)

HMI o interfaz humano máquina es una herramienta muy importante para poder monitorear, supervisar y control un proceso industrial ya que permite saber cómo está funcionando el sistema de manera gráfica, logrando así saber en qué estado se encuentra cada uno de los elementos previamente direccionados a mi HMI.

Los diferentes HMI realizadas en diferentes procesos industriales buscan cumplir un propósito, que es permitir el diálogo entre el operario y la máquina, logrando de esta manera una interacción dinámica y permitiendo llevar un monitor y una superviso adecuada en tiempo real y permitiendo cualquier tipo de fallas o anomalías en sistema.

1.5.1 Normas ISA101

Las normas ISA101 son conjuntos de acuerdos y normas al momento de realizar el diseño y la jerarquía de la creación de la Interfaz Humano-Máquina, mismo que se utilizan en la automatización de procesos, la utilización de esta norma debe:

- Proporcionar orientación para diseñar, construir, operar y mantener HMI que resulten en un control más seguro, eficaz y eficiente del proceso en condiciones normales y anormales.
- Mejorar las habilidades del usuario para detectar, diagnosticar y responder adecuadamente a situaciones anormales.

El alcance de la norma pretende incluir jerarquías de menú, convenciones de navegación de pantalla, convenciones de colores y gráficos, elementos dinámicos, convenciones de alarmas, métodos de seguridad y atributos de firma electrónica, interfaces con la programación de

antecedentes y bases de datos de históricos, convenciones emergentes, pantallas de ayuda, y métodos utilizados para trabajar con alarmas, interfaces de objetos programa, y las interfaces de configuración en las bases de datos, servidores y redes

Al momento de realizarla una HMI esta debe cumplir ciertos criterios:

- Fácil de entender
- Permite evitar errores a los usuarios finales
- Aumentar la productividad el operador
- Reducir el estrés
- Prevenir pérdidas significativas a una empresa en términos de tiempo y recursos materiales.

Un HMI que es fácil de entender y da opciones claras a los usuarios finales, produce menos errores, aumenta la productividad del operador y reduce el estrés. Los elementos necesarios para realizar las Interfaces Humano-Máquina HMI son:

- Consola
- Estación de trabajo
- Teclado
- Monitor
- Software (DOPSoft DELTA)
- Elementos gráficos
- Simbología gráfica

1.5.1.1 Etapas para la creación de HMI

Las siguientes etapas que se describen a continuación ayudan a la creación de una interfaz humano - máquina bien diseñada

- **Estándares del sistema.** - Documentos que establecen las bases para todas las decisiones de diseño HMI.
- **Diseño.** - Diseñar de todos los aspectos de hardware y software de la HMI
- **Implementación.** - Creación del HMI en la plataforma de destino y hardware de construcción a través de las pruebas.
- **Operación.** - Incluye el funcionamiento normal y el mantenimiento, así también como el desmantelamiento del mismo
- **Gestión del cambio.** - Auditoría y validación

1.5.1.2 Estándar de creación de HMI

1. Filosofía de HMI

- **Objetivo:** Proporciona principios y fundamentos conceptuales para el diseño de una HMI, esto incluye detalles sobre la HMI
- **Inicio:** Experiencia del usuario, conceptos funcionales de diseño, práctica de creación, normas, reglas y consideraciones de ingeniería
- **Resultado:** Documento de la filosofía de creación de HMI's

2. Guía de estilo de creación de HMI's

- **Objetivo:** Utiliza los principios de la filosofía de HMI y convierte en ejemplos de implementación y orientación, esto incluye todos los detalles técnicos, la guía de estilo debe ser factible en todas las plataformas de destino.
- **Inicio:** Experiencia en plataformas de creación y experiencia para confirmar la viabilidad y desarrollo de pruebas tempranas de diseños.
- **Resultado:** Documento de guía de creación de HMI's

3. Creación de la HMI

- **Objetivo:** Generar todos los requerimientos gráficos, símbolos y otros elementos de soporte, requeridos en la guía de estilo de creación de la HMI.
- **Inicio:** Documentación conceptual de la guía de estilos de creación de la HMI
- **Resultado:** Interfaz Humano Máquina

1.5.1.3 Factores de funcionamiento

Estos factores son muy importantes a la hora de parametrizar cada uno de los elementos del HMI.

1. Detección

- Experiencia del operador
- Formación y experiencia
- Fatiga cansancio
- Codificación redundante (por ejemplo, color, forma y ubicación)

- Efectividad de la alarma
- Mecanismos de detección
- Eficacia de visualización (qué tan bien se presenta la información)
- Consola, estación y diseño de pantalla
- Factores ambientales
- Densidad de visualización

2. Diagnóstico

- Consola, estación y diseño de pantalla
- Organización y navegación de la pantalla
- Niveles de visualización
- Formación y experiencia
- Tendencia
- La dependencia de la memoria a corto plazo
- Modelo mental del operador en correlación con el proceso
- Mostrar horarios de llamada
- Factores ambientales
- Fatiga
- Mostrar el tiempo de cambio

3. Respuesta

- Procedimientos de operación
- Formación
- Fatiga cansancio
- Mensajería del operador
- Pantalla de Ayuda
- Sistemas expertos
- Respuesta del sistema
- Tripulación
- Factores ambientales

4. Evaluación

- Tiempo
- Tiempo de actualización
- Estrategia de control

- Modelo mental del operador
- Tiempo de respuesta del proceso

1.5.1.4 Factores sensoriales

1. Consideraciones visuales

- Iluminación ambiental y luminancia de pantalla
- Color
- Densidad de la información
- Dinámica visual (animación)

2. Condiciones auditivas

- Conceptos básicos del diseño
- Consideración de discapacidad auditiva parcial y condiciones locales

1.5.1.5 Colores de las palabras y alarmas

Los colores elegidos deben ser distinguibles unos de otros, generalmente con pruebas de usabilidad. Como regla general, se debe usar el color para enfatizar la información clave, tales como alarmas y condiciones anormales:

- Los colores utilizados para el diseño de la pantalla deben ser consistentes con la alarma de la instalación, ver **Figura 17-1**.

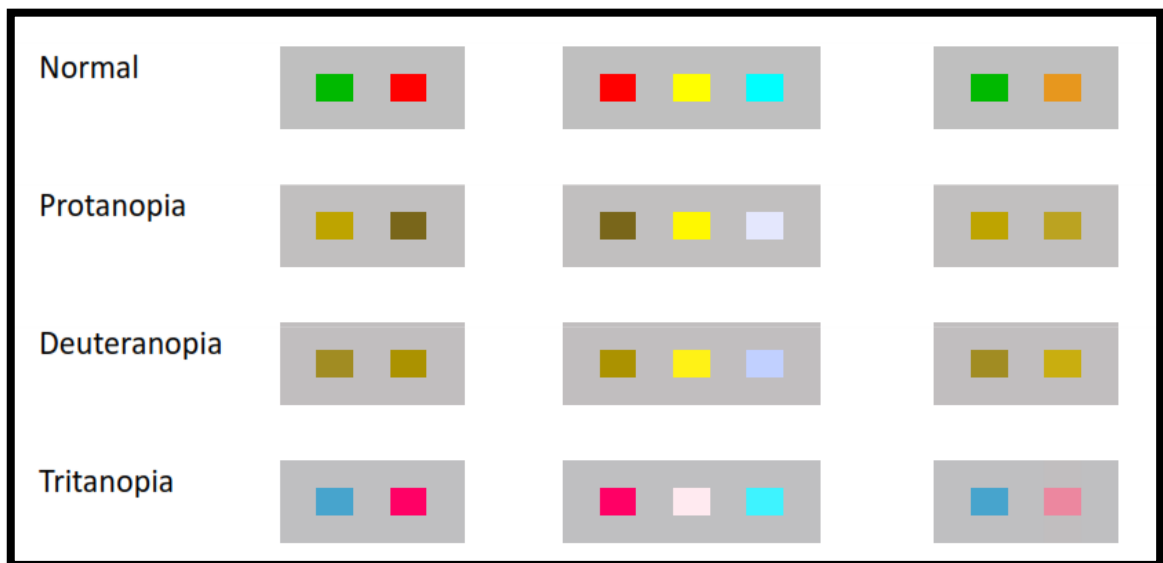


Figura 17-1 Colores para palabras

Fuente: ISA-Applying-ISA101-to-Existing-HMIs_MikeHawrylo.pdf

- Los colores utilizados para la presentación de la alarma deben reservarse con el fin de reforzar su sentido cognitivo y acelerar la respuesta del operador a las alarmas, ver **Figura 18-1**.

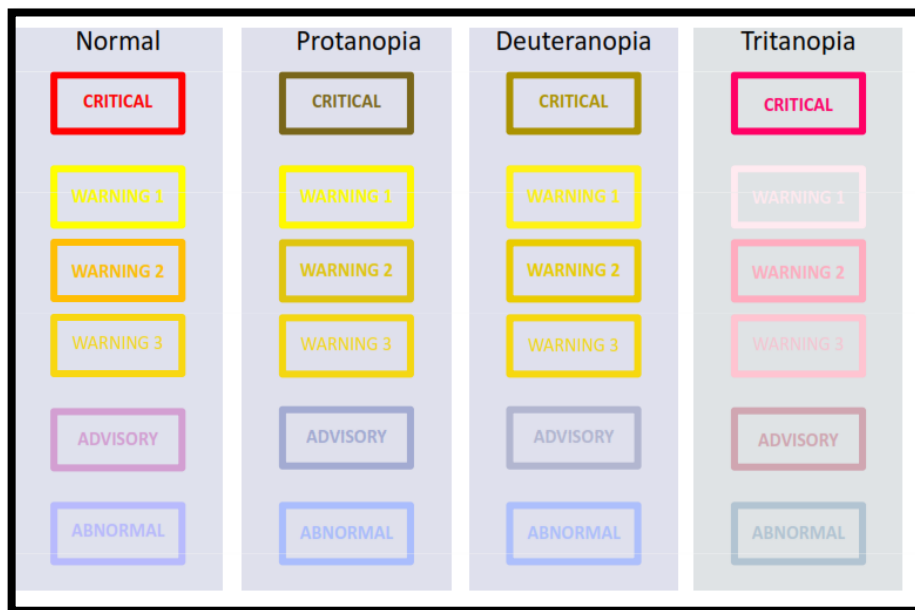


Figura 18-1 Colores para alarmas y eventos

Fuente: ISA-Applying-ISA101-to-Existing-HMIs_MikeHawrylo.pdf

La importancia de los colores utilizados en una pantalla debe reflejar la presentación de la información presentada.

1.6 Aire Acondicionado

El aire acondicionado es un proceso de tratamiento del aire que nos permite modificar las condiciones ambientales para mantener un buen confort en un espacio laboral o doméstico, permitiendo bienestar ambiental a las personas que se encuentran en estos lugares. El acondicionamiento del aire se realiza por diferentes módulos o equipos que permiten hacer este proceso de modificar el aire, entre estos módulos tenemos:

- Ventilación
- Filtrado
- Calentamiento Sensible
- Mezcla
- Enfriamiento sensible
- Enfriamiento y des humificación
- Enfriamiento y humidificación

1.7 Enfermedades Ocasionales

Las enfermedades ocupacionales son enfermedades producidas por el trabajo sin ser propias del mismo trabajador, es decir por cuenta ajena. Estas enfermedades se dan por diferentes factores propios del entorno laboral, como pueden ser tiempo de exposición, concentración de agentes contaminantes en el ambiente, ruido, características personales del trabajador, condiciones de seguridad, diseño del área de trabajo, factores ambientales temperatura y humedad, entre otros.

En la central Hidroeléctrica San Francisco por su ubicación en la parte del oriente del País y debido a que la mayor parte del personal trabaja bajo tierra, se tiene una temperatura y humedad cambiantes en los puestos de trabajo, por este motivo se debe tener una buena distribución de Aire Acondicionado para evitar enfermedades laborales que afecten al personal, en especial a los operadores que trabajan todo el día en la central.

1.7.1 Enfermedades por temperatura y humedad

Para evitar este tipo de enfermedades la humedad optima en un ámbito de trabajo es de 22°C y 23°C, el aumento de temperatura produce sudores, deshidratación y trastornos que pueden provocar fatiga y accidentes, fiebre, lesiones cerebrales, también una de las enfermedades ocupacionales, por cambios de temperatura es el estrés térmico; que es por la exposición a frio y calor excesivo.

La humedad adecuada en un puesto de trabajo se debe encontrar en un 60%HR y 65%HR, el aumento o disminución de la humedad produce un desequilibrio entre la producción de calor metabólico y perdida de calor produciendo: rinitis, sinusitis, asma y neumonitis.

En nuestro proyecto las labores de trabajo que realiza el personal se encuentran bajo tierra debido a esto, la temperatura y la humedad que se tiene en condiciones normales no son adecuadas, los datos medidos en condiciones normales son como máximo 31.5°C con una humedad relativa de 58%HR y como mínimo de 9°C con una humedad relativa de 87%HR. La temperatura de diseño será como máximo 22°C y mínimo 19°C y la humedad relativa entre 60% y 65%. Logrando así un entorno laboral adecuado para las personas que trabajan en central hidroeléctrica San Francisco.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detalla la metodología que se utiliza para realizar el proceso de modernización, el funcionamiento del sistema requerido, en los que consta el rediseño del sistema de control, planos eléctricos, electrónicos, procesos de instrumentación y diagrama de bloques de control, componentes del tablero de control, programación del PLC, programación de la HMI, comunicación entre elementos de control y monitoreo.

Todos los cambios que se realiza para la modernización se detallan a continuación en este capítulo.

2.1. Identificación de proceso

La central San Francisco para su sistema de aire acondicionado consta con dos unidades HITACHI las cuales se describen en la **Tabla 1-2**, que son las encargadas de mantener a una temperatura adecuada la central y todos los dispositivos que necesitan estar a una temperatura normal evitando el sobrecalentamiento y su desgaste excesivo. Las unidades AC1 y AC2 Hitachi constan de un compresor de acción simple con partes móviles balanceadas estática y dinámicamente. Equipado con sistema de lubricación adecuada, dispositivos de sellado de los ejes a prueba de fugas. Construcción rígida, durable y confiable, con pequeño desgaste derivado de operación continua. Conteniendo dispositivos de protección, para control de la elevación de la temperatura de condensación o caída de la temperatura de evaporación, control de las presiones de aceite del compresor.

También constan de un condensador del tipo resfriado por agua; cuerpo en acero con espesor suficiente, que sometido a las presiones máximas del gas refrigerante ecológico R470C, provisto de tubos de cobre con aletas en número suficiente para un óptimo funcionamiento. Una de las partes importantes de estas unidades es el serpentín de enfriamiento el mismo que es de construcción robusta, equipada con aletas y dispositivo para captación del agua condensada, tubería correctamente dimensionada considerándose las presiones de trabajo, ofreciendo pequeña resistencia al flujo de aire y agua.

El acondicionamiento de los ambientes se hace a través de red de conductos fabricados en chapa galvanizada, con dimensiones específicas del sistema de aire acondicionado. El suministro de aire para los ambientes se hace a través de “bocas de aire” denominadas “difusores”, que son los responsables por la difusión del aire, estando los mismos previstos con “registros” para el debido balance de los caudales de aire del sistema.



Figura 1-2 Aire acondicionado HITACHI

Fuente: 07-Catalogo de los Acondicionadores de aire Hitachi.pdf

Tabla 1-2 Características Aire Acondicionado

AIRE ACONDICIONADO HITACHI	
MODELO	RVP 200 AP S (2 ciclos)
CAUDAL DE AIRE INSUFLAR	14.250 m ³ /h
CAUDAL DE AIRE DE RETORNO	13.180 m ³ /h
CAUDAL DE AIRE DE EXTRACCION	1.070 m ³ /h
PRESION ESTATICA	20mmca
TENSION/FRECUENCIA	460/60/3F
MOTOR/POLOS	3.7KW(50KV)/4 Polos
PESO	1.610 KG
CAPACIDAD	18.86 TR
CONSUMO ELECTRICO	28.8 KW

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

2.1.1. Diagrama de procesos de Instrumentación (P&ID)

P&ID describe el funcionamiento de los elementos de instrumentación del sistema de aire acondicionado de la central Hidroeléctrica San Francisco, de la misma manera se describe la posición de cada una de las válvulas, llaves, diferentes presóstatos que ayudan a el funcionamiento de las unidades de aire acondicionado, revisar **ANEXO A**

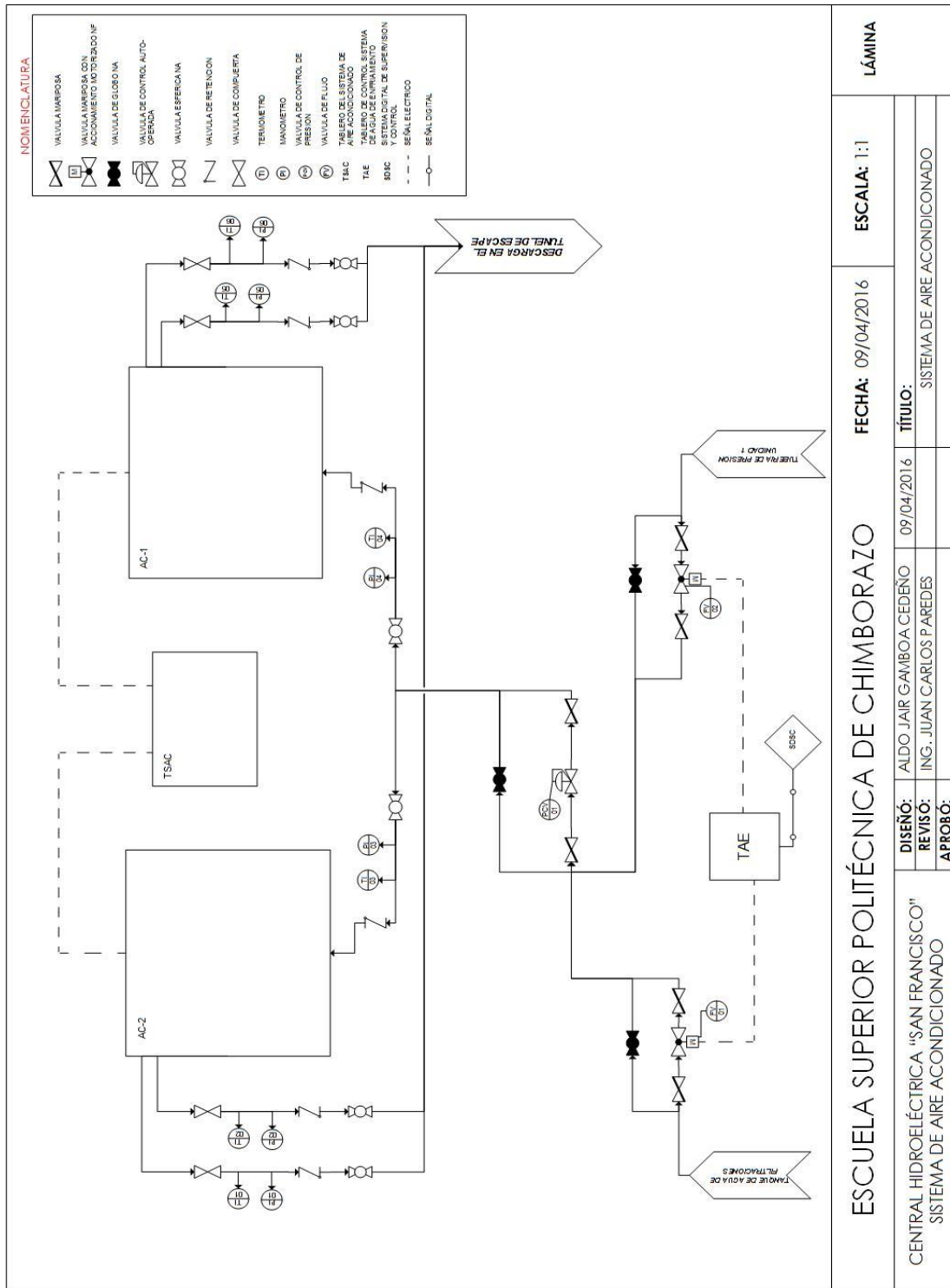


Figura 2-2 Aire acondicionado HITACHI
Realizado por: Gamboa. A. 2017

2.1.2. Diseño de diagrama de bloques de control.

El diagrama de control diseñado permitió conocer la parte la interconexión de los elementos de control de una forma gráfica y sencilla. En el anterior sistema carecía de estos planos y no se lograba tener un punto de partida del proceso de control que realiza el sistema.

Los diagramas se encuentran detallados en el **ANEXO B**.

2.1.3. Planos Eléctricos y Electrónicos

El diseño de los planos es fundamental al momento de realizar la repotenciación del sistema, estos planos describen gráficamente todas las conexiones y detallan la ubicación de cada elemento de manera ordenada

Para el diseño se tomó como punto de partida los antiguos planos que se encontraban en el anterior sistema previo a la modernización, los mismos que se fueron corrigiendo en el transcurso del proyecto, logrando de esta manera tener planos eléctricos y electrónicos de fácil entendimiento y de mejor comprensión.

Se realiza los planos debido a que en un futuro el sistema necesitará de mantenimiento, los planos se encuentran debidamente descrito en el **ANEXO C**.

2.2. Elementos de control

Se detallas todos los elementos que se utilizaron al realizar el proceso y porque se elige este tipo de elemento, por sus características y funcionalidad, los elementos utilizados para el control son:

- Sensor de temperatura y humedad NOVUS
- Ventilador (módulos de ventilación)
- Compresor Copeland ZR125KCE
- Resistencias de calentamiento

2.2.1. Sensor de temperatura y humedad NOVUS

Uno de los roles más importantes de este proyecto es la adecuación de las señales de humedad y de temperatura, que permiten mantener un ambiente adecuado en los sistemas de barra segura y de adquisición de datos, para ello se ha dispuesto de un único sensor de temperatura y humedad para el control.

Los sensores de humedad y temperatura instalados en el anterior sistema se encontraron en mal estado y era necesario un cambio inmediato de los mismos. Para la selección del nuevo sensor de

temperatura y humedad relativa se realiza una comparación con sensores que la empresa tenía en stock en sus bodegas y se encuentra con un sensor de muy buenas características y de mejor calidad, este sensor fue de la marca NOVUS, ver **Figura 7-1**, sus características se detallan a continuación en la **Tabla 2-2**.

Tabla 2-2 Datos técnicos del sensor NOVUS

SENSOR NOVUS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	
MODELO	RHT-DM-485-LCD
VOLTAJE DE ALIMENTACION	24 VDC
RANGO MEDICION DE TEMPERATURA	-40.0°C a 100.0°C
RANGO MEDICION DE HUMEDAD	0 a 100% RH
CARCASA	Policarbonato
DIEMENSIONES	60 x 70 x 35 mm
PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	MODBUS
PUERTO DE COMUNICACIÓN	RS-485

Realizado por: Gamboa. A. 2017

- Mayor rango de medición de temperatura
- Para usos industriales
- Protocolo de comunicación MODBUS
- Posee pantalla de visualización de temperatura y humedad relativa

2.2.2. Ventilador (módulo de ventilación)

Conformado de un motor WEG con las siguientes características, mismas que se describen en la **Tabla 3-2**.



Figura 3-2 Motor WEG

Fuente: <https://www.weg.net/catalog/weg/SV/es/Motores-Eléctricos/Motor-de-Inducción>

Tabla 3-2 Datos técnicos motor WEG

MOTOR WEG (Modulo de ventilación)	
CARCASA	112M
POTENCIA	3.7 kW (5 HP)
NUMERO DE POLOS	4
FRECUENCIA	60 Hz
ROTACIÓN NOMINAL	2900 rpm
RESBALAMIENTO	3.33 %
TENSIÓN NOMINAL	220/440 V
CORRIENTE NOMINAL	22.0/11.0 A
CORRIENTE DE ARRANQUE	143/71.5 A
CORRIENTE EN VACÍO	6.00/3.00 A
TORQUE NOMINAL	8.99 ft.lb
TORQUE DE ARRANQUE	240 %
TORQUE MÁXIMO	220 %
TIEMPO DE ROTOR BLOQUEADO	10s (frío) 6s (caliente)
MOMENTO DE INERCIA (J)	0.2088 sq.ft.lb
TEMPERATURA AMBIENTE	-20°C hasta 40°C
ALTITUD	1000 m
GRADO DE PROTECCIÓN	IP55
REFRIGERACIÓN	IC411 - TEFC
FORMA CONSTRUCTIVA	B3R(E)
DIRECCIÓN DE ROTACIÓN	Ambos
MASA APROXIMADA	105 lb

Realizado por: Gamboa. A. 2017

2.2.3. Compresor Copeland ZR125KCE

Compresor encargado de la variación de temperatura para el Sistemas de Barra Segura y el Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC) de la central, los detalles técnicos se detallan en la **Tabla 4-2**.

Tabla 4-2 Datos técnicos compresor Copeland

COMPRESOR COPELAND ZR125KCE	
EVAP(°F)/COND(°F)	45/130
RG(°F)/LIQ(°F)	65/115
CAPACIDAD (BTU/HR):	103000
POTENCIA (WATTS):	8950
CORRIENTE (AMPS)	16
FLUJO DE MASA (LBS/HR)	1500.0
POTENCIA DE SONIDO(DBA)	74
VIBRACION (PICO-PICO):	3.0

Realizado por: Gamboa. A. 2017

2.2.4. Resistencia de calentamiento Electricfor

Conjunto de 5 resistencias de calentamiento por unidad de aire acondicionado, ver **Figura 10-1**, encargadas del secado del aire para reducir la humedad relativa, para el Sistema de Barra Segura y el Sistema Digital de Supervisión y Control (SDSC) de la central, los detalles técnicos se detallan en la **Tabla 5-2**.

Tabla 5-2 Datos técnicos resistencias de calentamiento Electricfor

RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO ELECTRICFOR	
MODELO	DRHAL100
ALETA ALUMINIZADA	25x50
TUBO	INOX D8X200
POTENCIA	100W
VOLTAJE	230VAC

Realizado por: Gamboa. A. 2017

2.2.5. Acondicionamiento de sensor

El acondicionamiento del sensor depende de cómo las señales físicas que son captadas, muestran los valores de acuerdo al fenómeno físico que actúa en el proceso en tiempo real, en este caso la variación de temperatura y humedad relativa en el sistema de aire acondicionado.

Al momento de realizar una medición con dispositivos de humedad y temperatura de la marca FLUKE y EXTECH se nota que el sensor NOVUS se encontraba con un rango de error tanto para temperatura como para humedad relativa, los valores de error encontrados fueron:

- Temperatura: +4°C
- Humedad relativa: -10 %HR

El acondicionamiento del sensor NOVUS RHT, se lo realiza por medio de un software propio del sensor el cual permite corregir el error y ser calibrado de acuerdo a valores exactos de temperatura y humedad medidos, los valores de corrección, ver **Figura 4-2** y **Figura 5-2**, para obtener un sensor acondicionado de la mejor manera son:

- Temperatura: -4°C
- Humedad relativa: 10 %HR

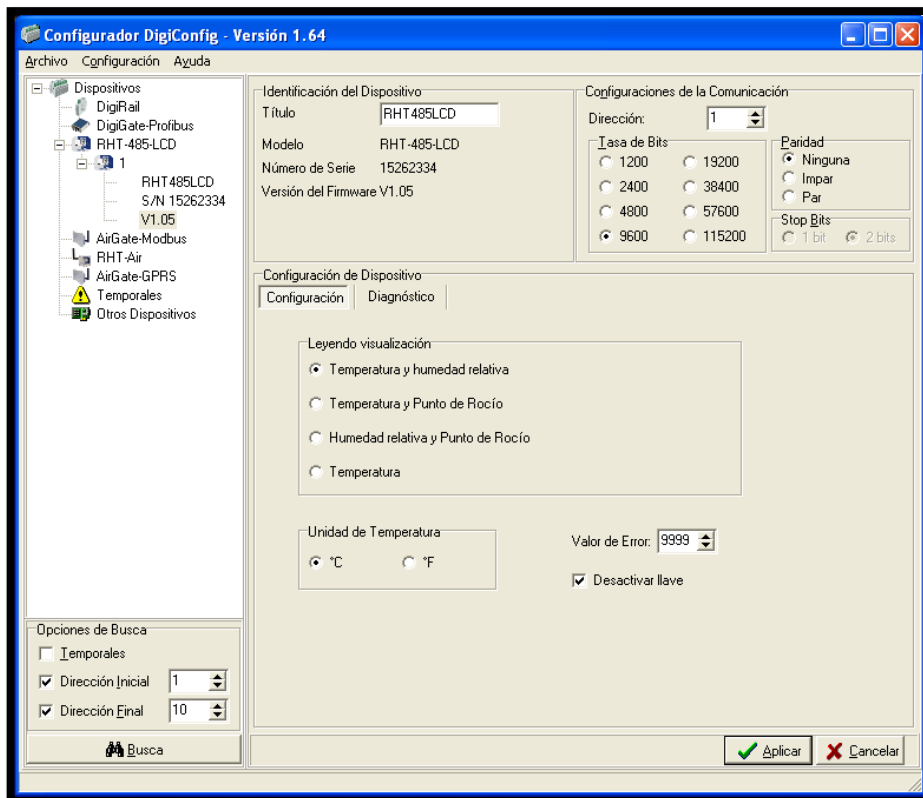


Figura 4-2 Clibración del sensor NOVUS
Realizado por: Gamboa, A. 2017

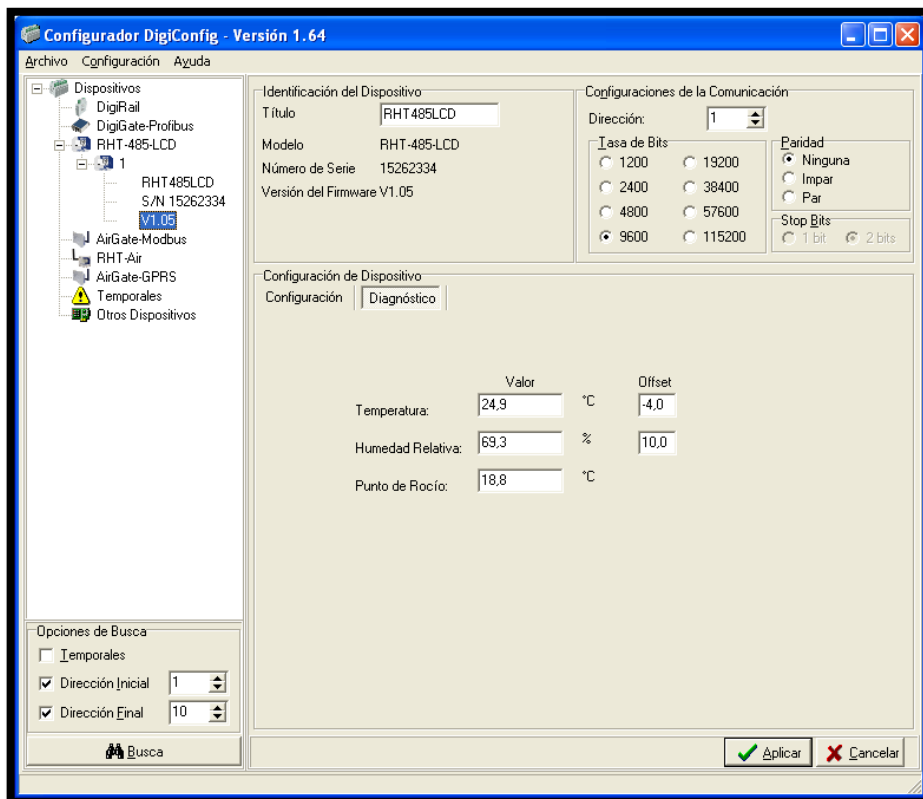


Figura 5-2 Calibración de error de sensor NOVUS
Realizado por: Gamboa, A. 2017

2.2.6. Acondicionamiento de actuadores

Se realiza un acondicionamiento de actuadores en base al estado que se encontraban con el anterior sistema, se realiza la revisión de cada uno de los parámetros técnicos actuador, para verificar si estaban en correcto funcionamiento.

- Ventiladores
 - Revisión del módulo de ventilación (MFE)
 - Revisión del contactor del motor del ventilador (CMFE)
 - Revisión del relé de sobrecarga del motor del ventilador (OCRE)
 - Limpieza de todo el sistema de ventilación
- Compresores
 - Revisión del compresor (MC)
 - Revisión del contactor motocompesor (CMC)
 - Revisión del relé de sobrecarga del compresor (OR)
 - Revisión del gas refrigerante R470C
 - Limpieza de los compresores
- Resistencias de Calentamiento
 - Revisión de las resistencias de calentamiento (AQ)
 - Revisión del contactor de la resistencia de calentamiento (CAQ)
 - Revisión del interruptor de las resistencias de calentamiento (DAJQ)
 - Limpieza de las resistencias de calentamiento

2.3. Algoritmo de control

El algoritmo de control implementado en el proyecto de la modernización del aire acondicionado que se realiza es un control ON-OFF con histéresis, que para este tipo de sistemas de aire acondicionado es uno de los más factibles, ya que no se necesita trabajar con valores extremadamente precisos, sino mantener una temperatura estable y adecuada en las áreas donde se desee.

2.3.1. Fórmula para el valor de Histéresis

Esta fórmula permite programar el nuevo algoritmo de control, para así obtener los valores de histéresis que se ingresarán en la programación del control.

VP = Variable de Proceso

VR = Valor de Referencia

$$HT = \text{Histéresis}$$

Cálculo del Error (E) y referencia para el valor de Histéresis

$$E = VR - VP \text{ Ecuación 1}$$

$$\text{Si } -\frac{1}{2}HT < 0 \quad \text{OFF Ecuación 2}$$

$$\text{Si } \frac{1}{2}HT > 0 \quad \text{ON Ecuación 3}$$

2.3.2. Valores de histéresis para la temperatura

Para los valores que se utilizaran en la programación se toma como valor de referencia (VR) el valor del setpoint (VSet) y el valor de proceso (VP) como el valor de medida del sensor (VSen). Este valor permite trabajar con el error y lograr dar valores de histéresis razonables para el control.

$$VSet = 23^\circ C ; \text{temperatura adecuada en una área de trabajo}$$

$$VSen = \text{Valores de temperatura leídos por el sensor}$$

Cálculo del Error (E):

$$E = VSet - VSen \text{ Ecuación 4}$$

$$E = 23^\circ C - VSen$$

Valores de Histéresis (H):

Los valores se asignaron por pruebas realizadas de acuerdo al tiempo de respuesta de variación de temperatura, para lograr trabajar de manera individual en los compresores de cada unidad de aire acondicionado.

$$H = 1 ; \text{Si el valor } E < 0 ; \text{OFF (Compresores 1 ó 2)}$$

$$H = 1 ; \text{Si el valor } E > 0 ; \text{ON (Compresor 1)}$$

$$\text{Si el valor } E > 1 ; \text{ON (Compresor 2)}$$

2.3.3. Valores de histéresis para la humedad relativa

Los valores para la humedad relativa (%HR.) toma como valor de referencia (VR) el valor del Setpoint (VSet) y el valor de proceso (VP) como el valor de medida del sensor (VSen).

$VSet = 65 \%HR$; Humedad relativa en una area de trabajo

$VSen =$ Valores de humedad leidos por el sensor

Cálculo del Error (E):

$$E = VSet - VSen \text{ Ecuación 5}$$

$$E = 65\%HR - VSen$$

Valores de Histéresis (H):

Los valores se asignaron por pruebas realizadas de acuerdo al tiempo de cambio de humedad relativa, para obtener un trabajo de las resistencias de manera adecuada y reducir la condensación que producen los compresores.

$H = 5$; Si el valor $E < 0$; OFF (Resistencias de calentamiento 1 ó 2)

$H = 5$; Si el valor $E > 0$; ON (Resistencia de calentamiento 1)

$H = 5$; Si el valor $E > 5$; ON (Resistencia de calentamiento 2)

2.4. Diseño del sistema de control

Se realiza un control totalmente programado, eliminando las tarjetas electrónicas que controlaban las unidades de aire acondicionado, con el PLC GE FANUC y la pantalla touch DELTA.

El control que se implementa es ON-OFF con histéresis, tanto la HMI, como el PLC cumplen funciones que interactuando entre si forman un sistema de control confiable, la programación en la pantalla nos ayuda a trabajar con los valores de temperatura y humedad relativa en tiempo real, puesto que en las macro propias de la pantalla se realiza el control ON-OFF con histéresis y algunas funciones más, por medio de la comunicación MODBUS entre la HMI y el PLC, el control del HMI en conjunto con la programación del PLC enciende o apaga las memorias permiten el funcionamiento de cada uno de los actuadores de las unidades de aire acondicionado de forma automática dependiendo del valor de setpoint, de histéresis y del selector que prioriza cualquiera de las unidades de aire acondicionado.

2.4.1. Hardware del sistema de control

Para el manejo de las distintas señales en el tablero es necesario diseñar el sistema hardware de control que consta del PLC GEFANUC modelo IC200CPU002, la pantalla táctil o tocu panel DELTA modelo DOP-B10E615 y un sensor NOVUS RHT. Los mismos que trabajan en conjunto para realizar un control preciso para todos los requerimientos que necesita la empresa en esta modernización.

2.4.2. Control Lógico Programable PLC

El PLC que se está utilizando en este momento en el sistema actual es de la marca GENERAL ELECTRIC VERSA MAX IC200CPU002, ver **Figura 6-2** que consta de diferentes componentes: una fuente de alimentación modelo IC200PWR002G y tres módulos de ampliación dos para entradas y uno para salidas digitales con sus respectivos modelos IC200MDL650F Y IC200MDL750J, en este PLC se realizaran los nuevos cambios en la parte de control para realizar la modernización sin inconvenientes, las características del PLC se detalla en la **Tabla 6-2**, **Tabla 7-2** y **Tabla 8-2**.

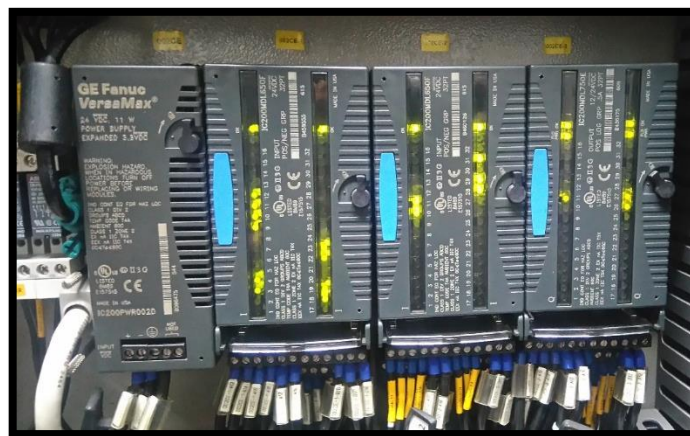


Figura 6-2 PLC GE FANUC
Realizado por: Gamboa. A. 2017.

2.4.2.1. Datos Técnicos

Tabla 6-2 Datos Técnicos de la Fuente de alimentación PLC

GE FANUC VERSAMAX	
MODELO	IC200PWR002
VOLTAJE DE ENTRADA	24VDC
POTENCIA DE ENTRADA	11W
CORRIENTE DE ENTRADA	20A
VOLTAJE DE SALIDA	5VDC-3,3VDC
CORRIENTE DE SALIDA	1.5A MAX

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

Tabla 7-2 Datos módulo de Entradas del PLC

GE FANUC VERSAMAX MODULO DE ENTRADAS	
MODELO	IC200MDL650
VOLTAJE DE ENTRADA	24 VDC
NUMERO DE ENTRADAS	32 Entradas
VOLTAJE EN ESTADO ON	15 a 30 VDC
VOLTAJE EN ESTADO OFF	0 a 5 VDC
CORRIENTE EN ESTADO ON	2 A 5.5 mA
CORRIENTE EN ESTADO OFF	0 A 0.5 mA
TIEMPO DE RESPUESTA	0.5 ms maximo
IMPEDANCIA DE ENTRADA	10K Ohms

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

Tabla 8-2 Datos técnicos del módulo de salidas del PLC

GE FANUC VERSAMAX MODULO DE SALIDAS	
MODELO	IC200MDL750
VOLTAJE DE ENTRADA	24 VDC
NUMERO DE SALIDAS	32 Salidas
VOLTAJE DE SALIDA	24 VDC
CAIDA DE VOLTAJE	0.3V MAX
COORIENTE EN LA CARGA	0.5 a 2.0 A MAX
TIEMPO DE RESPUESTA	0.2/1.0 ms
PROTECCION	No fusibles

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

2.4.2.2. Cableado de entradas y salidas PLC

El siguiente diagrama muestra la forma correcta de conectar las entradas digitales del PLC GE FANUC, ver **Figura 7-2**.

- Consta de 32 entradas digitales divididas en dos conjuntos de borneras A y B.
- Tanto las borneras del grupo A y del B, constan de 16 entradas digitales.
- Las entradas digitales se las identifica con la letra **I** y su respectivo número
- Se encuentran numeradas de la **I1-I16** conjunto respectivamente.
- Las borneras **17** y **18** son para alimentación del módulo de entradas digitales

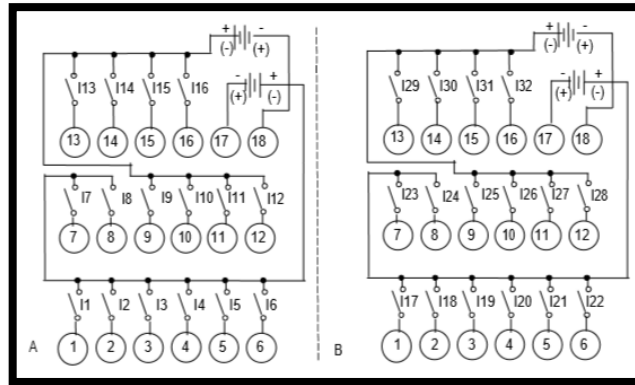


Figura 7-2 Conexiones de cableado para las entradas del PLC
 Realizado por: Gamboa. A. 2017.

El siguiente diagrama muestra la forma correcta de conectar las salidas digitales del PLC GE FANUC, ver **Figura 8-2**.

- Consta de 32 salidas digitales divididas en dos conjuntos de borneras **A** y **B**.
- Tanto las borneras del grupo **A** y del **B**, constan de **16** entradas digitales.
- Las salidas digitales se las identifica con la letra **Q** y su respectivo número.
- Se encuentran numeradas de la **Q1-Q16** conjunto respectivamente.
- Las borneras **17** y **18** son para alimentación del módulo de entradas digitales

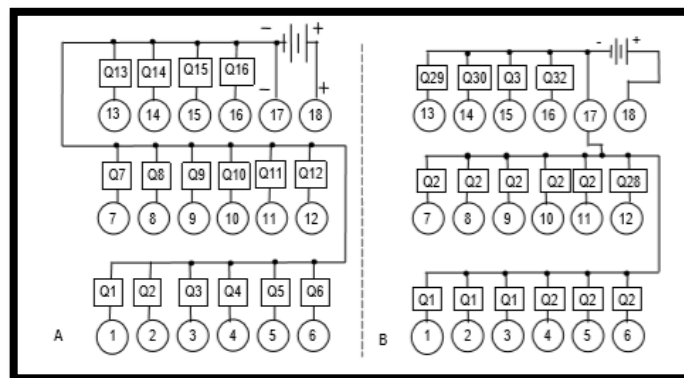


Figura 8-2 Conexiones de cableado para las salidas del PLC
 Realizado por: Gamboa. A. 2017.

2.4.3. Touch Panel o pantalla de control táctil

En el sistema de aire acondicionado la pantalla de control que se encontraba instalada antes de la modernización de la marca GE FANUC modelo IC754VSI06STD-AB, ES0611, se encuentra en un mal funcionamiento y no permitía observar cómo se encuentra el proceso, interactuar con el usuario y no se comunicaba con el sistema de supervisión y control, se investigo acerca de una nueva pantalla con mejores datos técnicos y mejores prestaciones.

La nueva pantalla táctil que se instala en el proyecto de modernización es de la marca DELTA modelo DOP-B10E615, ver **Figura 9-2**, permite una mejor interacción humano-máquina.



Figura 9-2 Touch Panel DELTA DOP-B

Fuente: <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=ALL&hl=en-US>

2.4.3.1. Pantalla DELTA vs GE FANUC

En la **Tabla 9-2** y la **Tabla 10-2** se muestra cada una de las características de las dos pantallas táctiles, de manera que se elige la pantalla DELTA DOP-B por su mayor número de prestaciones.

Tabla 9-2 Datos técnicos Pantalla DELTA

TOUCH PANEL DELTA DOP-B	
MODELO	DOP-B10E615
TAMAÑO DISPLAY	10.1" Widescreen TFT LCD
RESOLUCION	1024 X 600 Pixels
SISTEMA OPERATIVO	Delta Real Time OS
ALIMENTACION	24Vdc
CONSUMO DE ENERGIA	12w
INTERFAZ	ETHERNET
FLASH ROM	128MB
DRAM	64MB
MEMORIA DE SEGURIDAD	16MB
PUERTOS SERIAL COM	COM1 (RS232); COM2 (RS232/RS422/RS485); COM3(RS232/RS422/RS485)
OTROS PUERTOS	USB, SD CARD

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

Tabla 10-2 Datos técnicos Pantalla GE FANUC

TOUCH PANEL GE FANUC QUICKPANEL VIEW	
MODELO	IC754VSI06STD-AB, ES0611
TAMAÑO DISPLAY	6 Pulgadas
SISTEMA OPERATIVO	Windows CE V4.10
ALIMENTACION	24Vdc
CONSUMO DE ENERGIA	24W
INTERFAZ	ETHERNET
FLASH ROM	32MB
DRAM	32MB
PUERTOS SERIAL COM	COM1 (RS232,RS485); COM2(RS232)
OTROS PUERTOS	USB, CF CARD SLOT

Realizado por: Gamboa. A. 2017.

2.4.4. Comunicación HMI DELTA-PLC GE FANUC

Para establecer comunicación entre la pantalla HMI y el PLC GE FANUC, se toma en cuenta que ambos dispositivos hablen el protocolo de comunicación Modbus, para comunicarnos entre estos dispositivos se debe tomar en cuenta ciertos parámetros, los mismo que deben ser iguales tanto para el HMI como para el PLC, estos son:

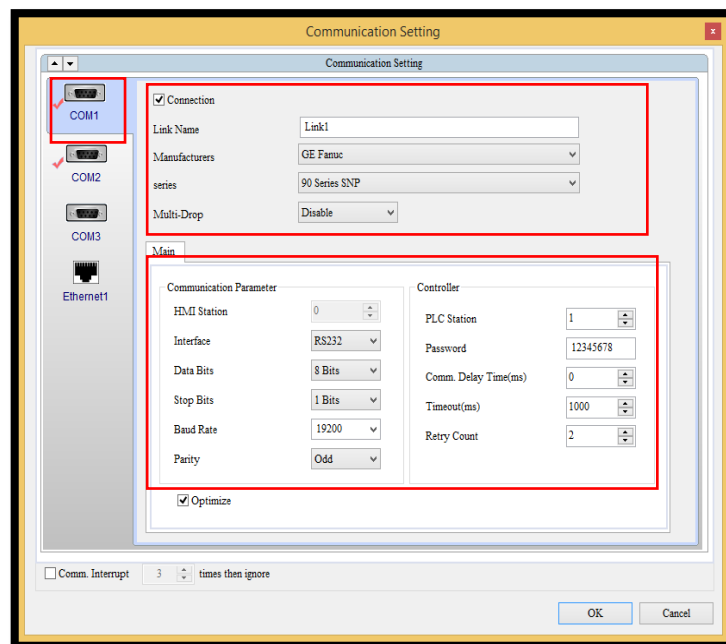


Figura 10-2 Comunicación HMI - PLC

Realizado por: Gamboa. A. 2017

- Interfaz o puerto de comunicación (RS232)
- Stop Bits o Bits de parada (1 Bits)
- Baud Rate o velocidad de transmisión (19200)
- Paridad (Odd ó Impar)

Para el ingreso a la configuración, en la barra de herramientas de la ventana de trabajo del software DOPSoft de DELTA: Options >>Communication Setting, luego de esto se abrirá la siguiente ventana, ver **Figura 10-2**.

Las características de la pantalla DOP-B10E615, es que tiene 4 puertos de comunicación 3 seriales y uno de Ethernet, para la comunicación entre el HMI-PLC utilizamos el COM1, como se muestra en la **Figura 10-2**.

2.4.5. Comunicación HMI DELTA-Sensor NOVUS

De la misma manera que se ingresa para configurar la comunicación HMI-PLC se ingresa para la comunicación con el sensor NOVUS, ver **Figura 11-2**, este se lo configura en el COM2 con los siguientes parámetros:

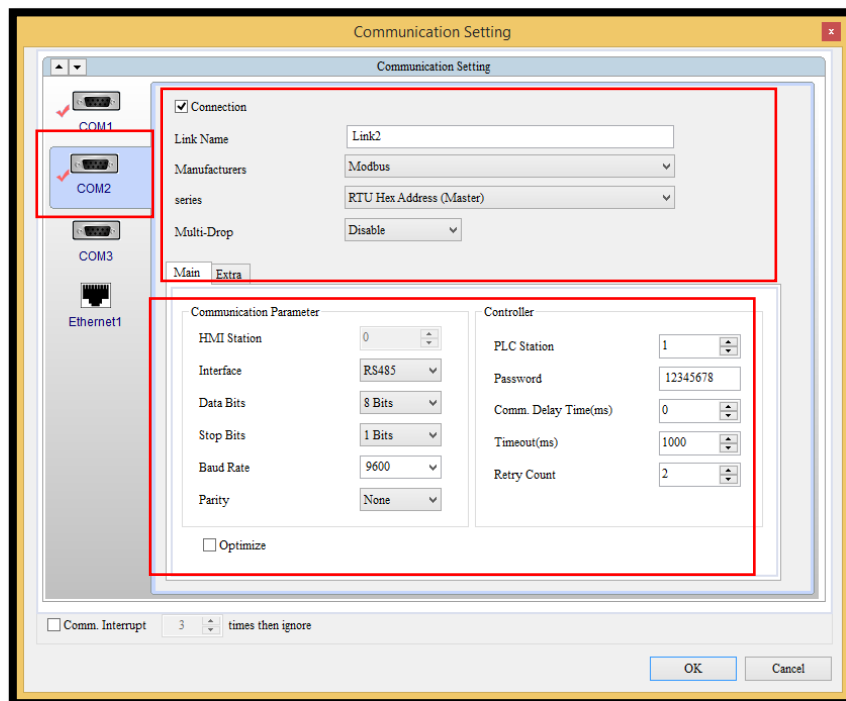


Figura 11-2 Configuración del Sensor NOVUS
Realizado por: Gamboa. A. 2017

- Interfaz o puerto de comunicación (RS485)
- Stop Bits o Bits de parada (1 Bits)
- Baud Rate o velocidad de transmisión (9600)

- Paridad (None ó ninguna)

Un punto importante al momento de comunicarnos con dispositivos que hablen Modbus y para que puedan interactuar con la pantalla HMI se sigue los siguientes pasos:

- Ventana **Communication Setting**
- **Manufacturers** se elige la opción MODBUS
- **Series** se elige RTU Hex Address (Master), como se muestra en la **Figura 11-2**.

2.4.6. Software del sistema de control

Para el diseño nuevo de automatización se realiza un análisis de la programación que se encontraba en el anterior sistema y se fue detallado las diversas variables a intervenir en nuestro nuevo sistema y como se desea que estos sean ejecutados al momento que entre en funcionamiento.

El sistema se basa en el control de las dos unidades de aire acondicionado de la marca Hitachi, las mismas que están dotadas de resistencias de calentamiento para el secado del aire y dos compresores para el enfriamiento del aire, cada uno, el control que se desea realizar en que cada una de las unidades de aire acondicionado es que trabajen de manera individual para dar un mejor manejo de los recursos de cada unidad, tanto compresores como resistencias , para lo cual se utilizado un selector que permite dar prioridad a la unidad que se desee que este como principal y el manejo de las señales de temperatura y humedad relativa se la realiza entre PLC, HMI y el sensor NOVUS, se utiliza el protocolo de comunicación Modbus para la interacción de equipos.

2.4.6.1. Configuración y creación de un nuevo proyecto en el PLC

Para la programación del PLC se utiliza el software Proficy Machine Edition que es propio de la marca GENERAL ELECTRIC, mismos que se encarga de ejecutar cada una de las instrucciones que fueron programadas según el funcionamiento deseado.

El PLC es el dispositivo encargado de manejar y controlar la máquina, el acceso a las entradas y salidas del dispositivo se realiza a través de direcciones, que a la vez controlan cada una de las variables del sistema.

Los programas realizados en Proficy Machine Edition siguen el siguiente proceso:

- Diseño del nuevo sistema de automatización.
- Creación de nuevos proyectos.
- Configuración de hardware.

- Creación, depuración y transferencia de los programas a la CPU.

Instrucciones y señales nuevas en la programación del PLC.

1. Selección de Aire Acondicionado Principal AC1 y AC2
2. Control manual con interacción del HMI y PLC
3. Señal de funcionamiento del relé contra inversión y falta de fase (RIFF) de AC1
4. Encender compresor 1 y 2 del aire acondicionado AC1
5. Encender resistencias 1 y 2 del aire acondicionado AC1
6. Señales para el historial de eventos de los compresores en funcionamiento AC1
7. Señales para el historial de eventos de las resistencias en funcionamiento AC1
8. Falla de sobrecarga del motor para la ventilación AC1
9. Falla de sobrecarga del compresor 1 y 2 AC1
10. Señal de funcionamiento del relé contra inversión y falta de fase (RIFF) de AC2
11. Encender compresor 1 y 2 del aire acondicionado AC2
12. Encender resistencias 1 y 2 del aire acondicionado AC2
13. Señales para el historial de eventos de los compresores en funcionamiento AC2
14. Señales para el historial de eventos de las resistencias en funcionamiento AC2
15. Falla de sobrecarga del motor para la ventilación AC2
16. Falla de sobrecarga del compresor 1 y 2 AC2

❖ **Creación del programa en Proficy Machine Edition,**

Se arranca el software de programación Proficy Machine Edition, y a continuación se realiza las configuraciones necesarias. La interfaz de acceso a la configuración y programación de PLC's de la marca GE, permiten:

1. La creación de proyectos
2. La configuración y parametrización de hardware
3. Configuración de redes hardware
4. Constatar la funcionalidad de los programas

Creación de un nuevo proyecto

Al momento de iniciar el software Proficy Machine Edition se despliega un interfaz de trabajo muy común, lo cual permite interactuar de una manera más fácil al crear un nuevo proyecto.

Al crear un nuevo proyecto es importante escribir un nombre para la identificación y para la creación de un nuevo programa se selecciona el modelo del PLC GE que se va a utilizar como se muestra en la **Figura 12-2**.

En la barra de herramientas nos dirigimos a File/New Project

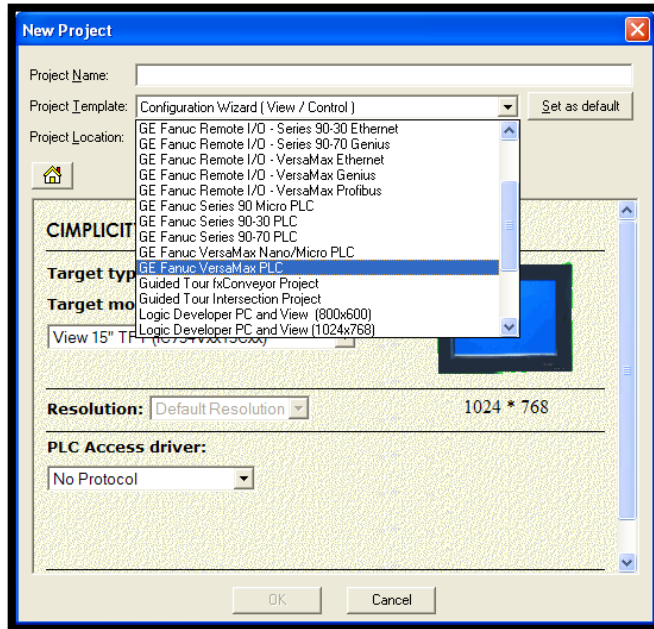


Figura 12-2 Creación de un nuevo proyecto
Fuente: Software Proficy Machine Edition

Configuración del hardware

El PLC conforma una de los principales componentes de sistema de aire acondicionado, por el hecho de que es el que gobierna las funciones que debe llevar a cabo el sistema a través del programa principal. El modelo utilizado es un PLC GE Fanuc VersaMaxx, este controlador tiene las siguientes características:

- Fuente de alimentación
- Módulo CPU individual
- Módulos de expansión para E/S
- Módulos para E/S digitales y analógicas de control de alta velocidad
- Puertos de comunicación RS232 y RS485
- Instalación sencilla y cómoda

Se ha determinado el uso de 38 variables de entradas y 17 salidas digitales, por el cual es necesario el uso de módulos de expansión.

Se procede con la configuración del hardware para permitir así elegir las direcciones de los elementos, esta asignación se lo realiza virtualmente, modificando los parámetros de entrada y salida.

Comandos de configuración hardware: Click derecho Main Rack/Replace Module, **Figura 13-2**.

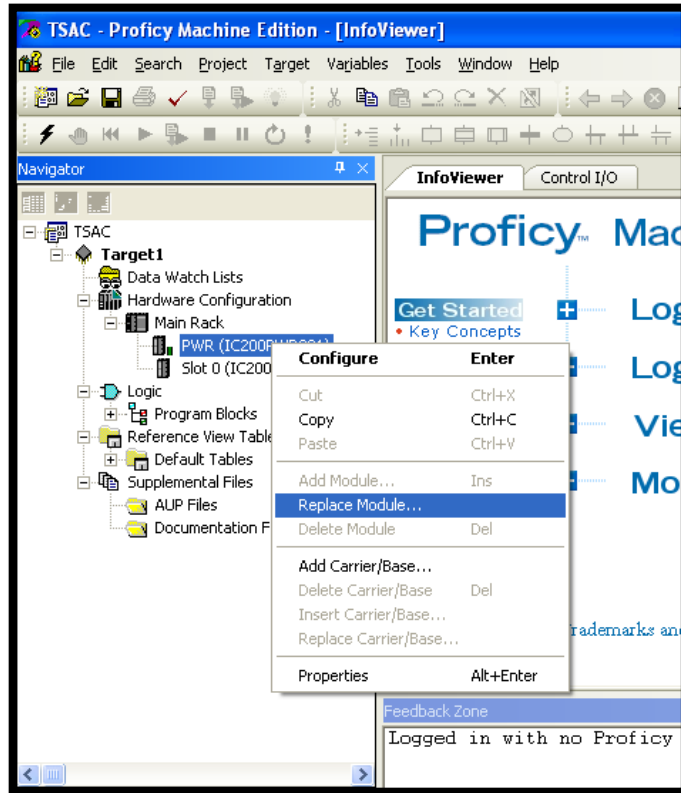


Figura 13-2 Configuración del hardware
Fuente: Software Proficy Machine Edition

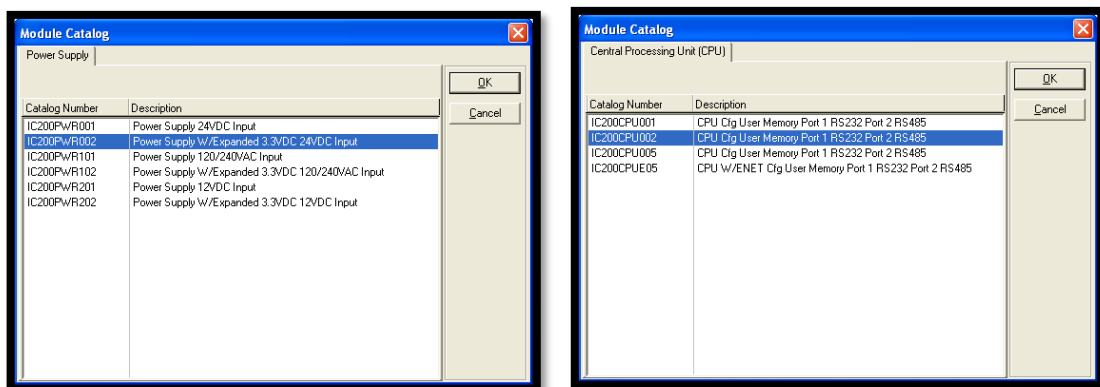


Figura 14-2 Ventanas de módulos de expansión PLC GE Fanuc
Fuente: Software Proficy Machine Edition

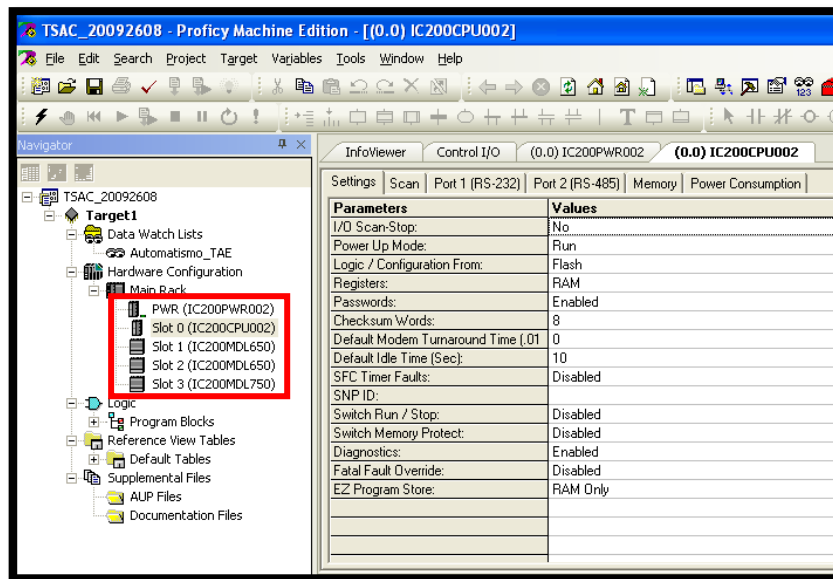


Figura 15-2 Módulos agregados y configurados del PLC
Fuente: Software Proficy Machine Edition

Transferencia del programa al PLC

Para la correcta transferencia del programa se sigue los siguientes pasos:

- Alimentar el PLC
- Abrir el software Proficy Machine Edition
- Abrir el programa que se desea cargar en el PLC GE FANUC
- Clic en “Offline” y “Online”, ícono en forma de rayo, ver **Figura 16-2**.

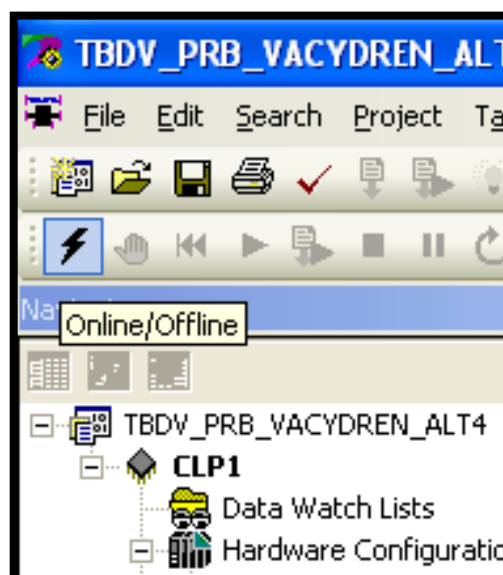


Figura 16-2 Paso 1 transferencia del programa al PLC
Fuente: Software Proficy Machine Edition

- Clic en “Toggle Online Mode”, ícono en forma de mano, ver **Figura 17-2**.

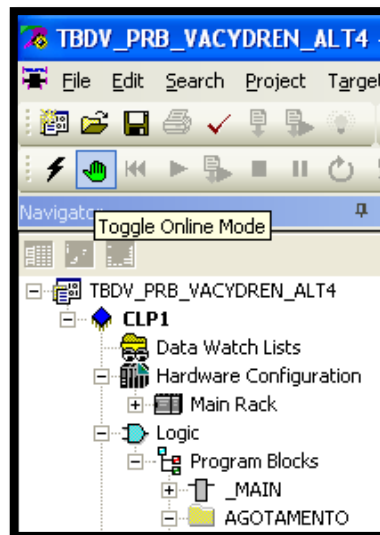


Figura 17-2 Paso 2 transferencia del programa al PLC
Fuente: Software Proficy Machine Edition

- Clic en “Download and Start Active Target”, ícono de lista con play, ver **Figura 18-2**.

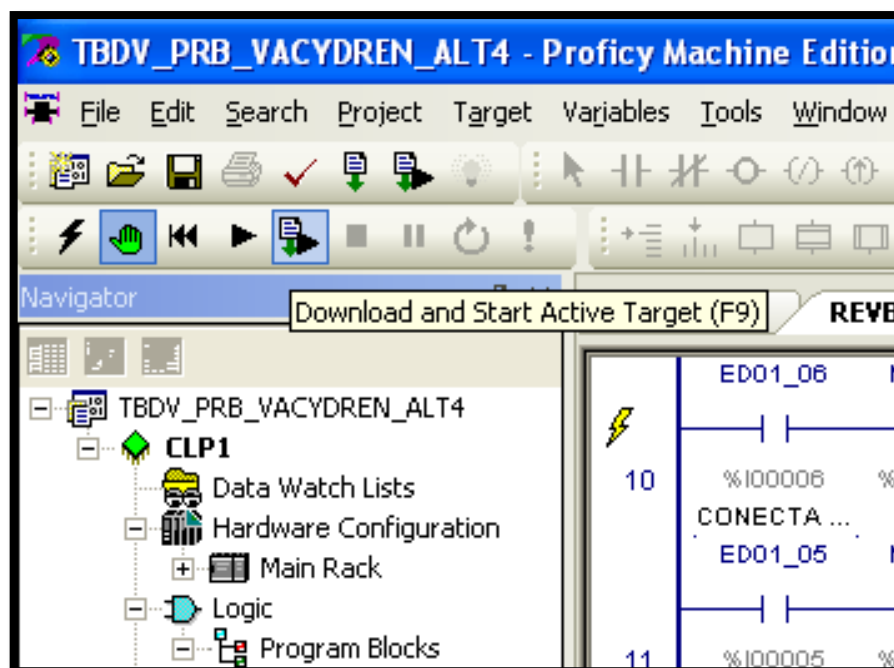


Figura 18-2 Paso 3 transferencia del programa al PLC
Fuente: Software Proficy Machine Edition

- La CPU esta lista para correr el programa cargado
- Se abrirá una ventana para descargar el programa seleccionar “OK”, ver **Figura 19-2**

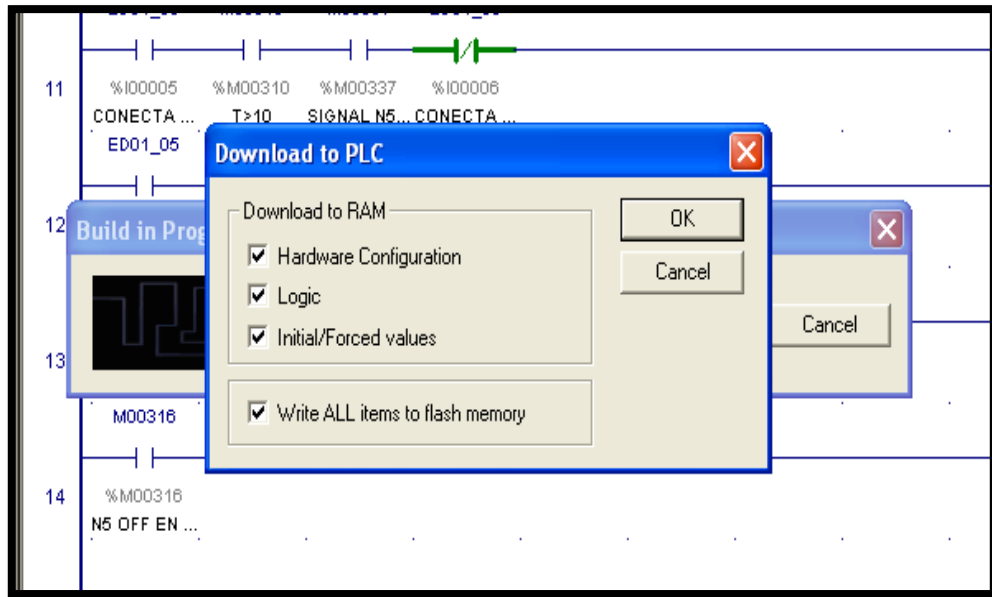


Figura. 19-2 Paso 4 transferencia del programa al PLC
Fuente: Software Proficy Machine Edition

- Se confirmará que el programa se transfiere de manera correcta al ver que en el PLC se enciende el LED de color verde
- En caso de haber sucedido algún error en la transferencia del programa un LED de color rojo nos avisará.

Seguir estos pasos aseguran que el programa sea transferido y se ejecute correctamente.

2.4.7. Programación del sistema de control

Una vez concluido la configuración de los parámetros del hardware se continúa con la creación del programa, ver **Figura 20-2**. La programación a utilizar fue en LADDER por ser de fácil manejo y es un lenguaje de conocimiento de todo técnico.

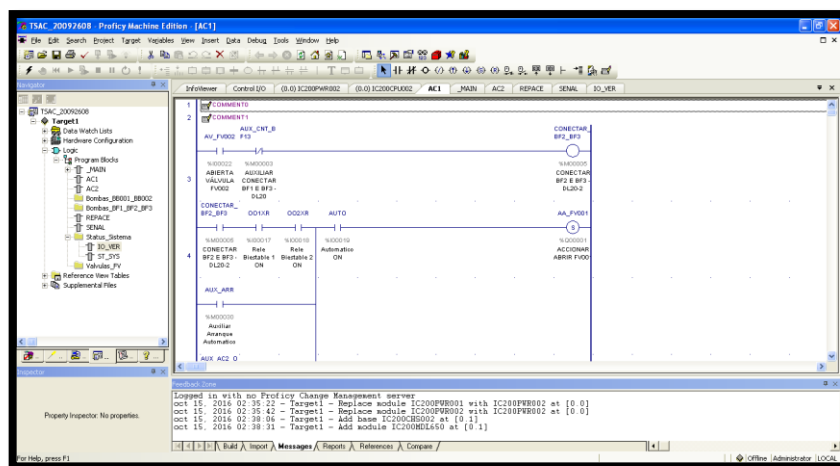


Figura 20-2 Creación del programa en el PLC GE FANUC
Fuente: Software Proficy Machine Edition

Se realiza la programación del PLC en base a diagramas lógicos de control los mismos que ayudaron en la creación del programa en LADDER

2.4.7.1. Diagrama lógico del sistema de control para el PLC

Se realiza un diagrama del funcionamiento lógico del sistema, mismo que permite conocer el funcionamiento de cada una de las unidades de aire acondicionado, permitiendo realizar la una programación más sencilla en el software propio del PLC.

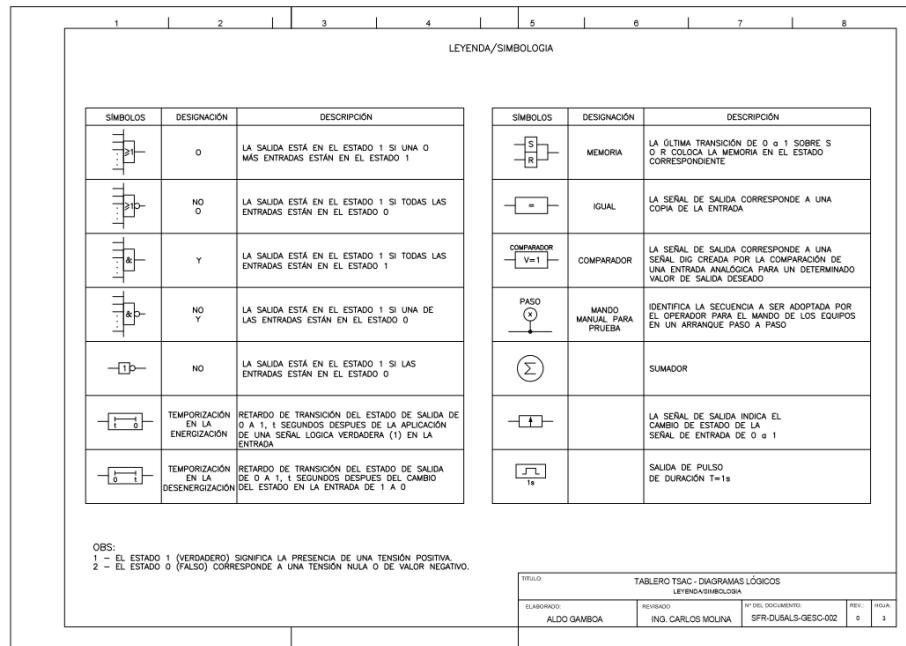


Figura 21-2 Diagrama Lógico Simbología
 Realizado por: Gamboa. A. 2017

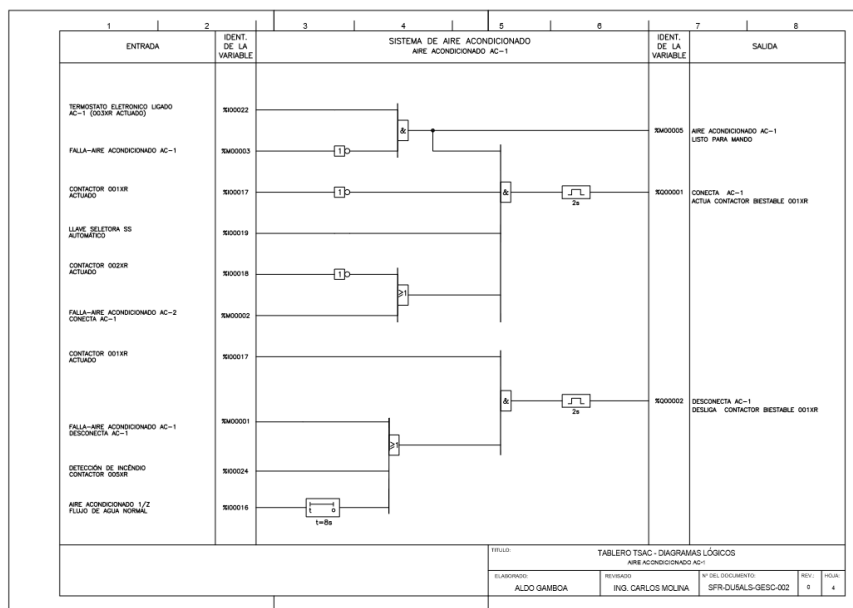


Figura 22-2 Diagrama Lógico Funcionamiento del Aire Acondicionado AC1
 Realizado por: Gamboa. A. 2017

En la **Figura 22-2**, se muestra el funcionamiento de la unidad AC1, el diagrama permite conocer los parámetros que se deben cumplir para lograr la operación de la unidad de AC1, estos parámetros permiten realizar la programación LADDER del PLC GEFANUC.

Los diagramas completos se encuentran detallados en el **ANEXO D**.

2.4.7.2. Programación LADDER Aire Acondicionado

Se realiza la programación LADDER en base a los diagramas lógicos que permitieron conocer la forma de funcionamiento de las unidades de aire acondicionado, la programación de la unidad de AC1 se describe en la **Figura 23-2** y **Figura 24-2**.

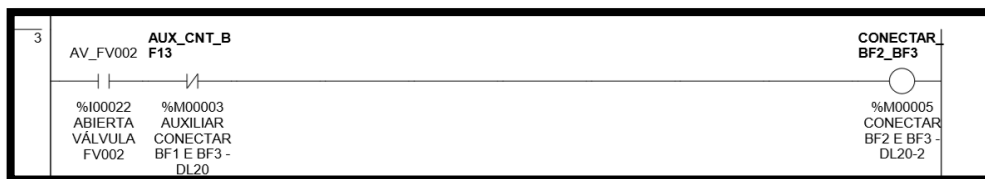


Figura 23-2 Parámetro de listo para operar
Realizado por: Gamboa. A. 2017

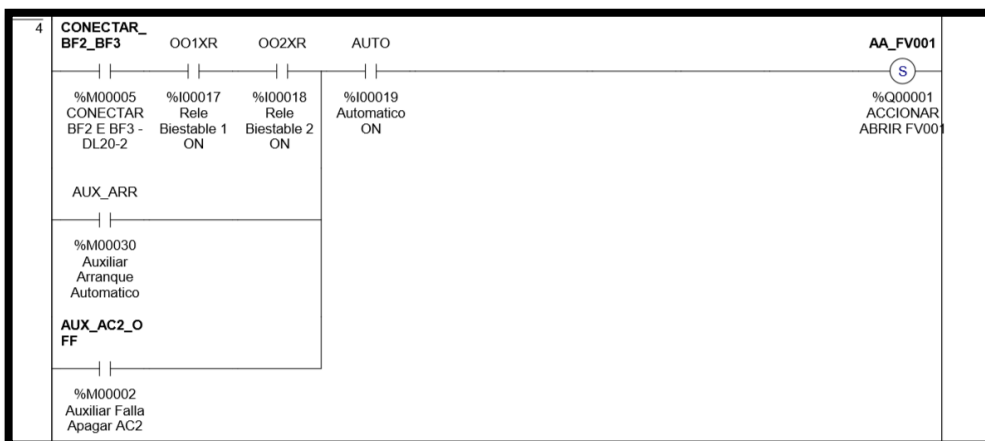


Figura 24-2 Conectar AC1
Realizado por: Gamboa. A. 2017

La programación LADDER completa se encuentran detallada en el **ANEXO E**.

2.4.7.3. Programación del control On-Off con Histéresis

Se realiza la programación del control ON – OFF con histéresis para las variables de temperatura y humedad relativa en la pantalla DELTA, misma que trabaja en conjunto con el PLC y el sensor NOVUS, debido a su protocolo de comunicación MODBUS.

La programación en las macros propias de la pantalla HMI, realizan operaciones para cada uno de los elementos que se desea controlar, modificaciones en el historial de eventos, trabajo con mapas de registros MODBUS. En cada una de las pantallas se realiza programo comandos que

ayudan a un trabajo adecuado de cada elemento para la supervisión, control y monitoreo del sistema de aire acondicionado.

Programación del control ON-OFF con histéresis:

❖ Control ON –OFF con histéresis de temperatura

```
#####
###TEMPERATURA###
#####
##PARAMETROS DE ENTRADA SETPOINS $69=SET POINT, $169, $269, $360=
VARIABLES AUXILIARES
IF $69 == 0
$69 = 23
ENDIF
$169= $69*10
$269=$69*10
$369= $269/10
#LEER REGISTROS TEMPERAURA
DELAY 250
$180 = ({Link2}1@RW-7)
$80 = ({Link2}1@RW-7 )/10
$84 = ({Link2}1@RW-7) (DW)
#DEFINICION CONSTANTES
$94 = 0
$96 = 0
$88 = 0
$91 = 0
#HISTERISIS (°C) $90= PRENDER 1er COMPRESOR y APAGA COMPRESORES, $92=
PRENDER 2do COMPRESOR
$90 = 1
$195 = 1
$92 = 2
$95= 1
#FMUL ($90,10)
#APAGAR COMPRESORES
IF $180 <= $169
$94= $169-$180
$96=$95-$94
    IF $96 <=0
        BITOFF({LINK1}1@%M40)
        BITOFF({LINK1}1@%M41)
    ENDIF
ELSE
$94 = 0
$96 = 0
ENDIF
#ENCENDER COMPRESORES
IF $369 < $80
$88= $80-$369
$91= $88-$90
##COMPRESOR 1 ENCENDIDO
    IF $91 >= 0
        BITON({LINK1}1@%M40)
    ENDIF
#COMPRESOR 2 ENCENDIDO
$93= $92-$88
    IF $93 <=0
```

```

        BITON ({LINK1}1@%M41)
    ENDIF
ENDIF

```

❖ Control ON –OFF con histéresis de la humedad realtiva

```

#####
###HUMEDAD#####
#####
IF $71 == 0
    $71 = 65
ENDIF
$205 = $71
$218 = $71
$210= $205 * 10
#LEER REGISTROS %H
DELAY 250
$222 = ({Link2}1@RW-8)
$226 = ({Link2}1@RW-8 )/10
$86 = ({Link2}1@RW-8) (DW)
$232 = 0
$234 = 0
#HISTERISIS $205=APAGAR R y $246= ENCENDER 1ra R, $238= ENCIENDE 2da R
$205 = 5
$246 = 5
$238 = 10
$236=$205 * 10
#APAGAR RESISTENCIAS
IF $222 <= $210
    $228= $210-$222
    $230= $228-$236
    $250 = 0
        IF $228 < $236
            $250 = $228+ $250
        ELSEIF $230 >=0
            BITOFF ({LINK1}1@%M44)
            BITOFF ({LINK1}1@%M45)
        ENDIF
    ELSE
        $230 = 0
    ENDIF
    #ENCENDER R
    IF $218 <= $226
        $232= $226-$218
        $234= $246-$232
        ##R1 ENCENDIDO
        IF $234 <= 0
            BITON ({LINK1}1@%M44)
        ENDIF
        #R2 ENCENDIDO
        $244= $238-$232
        IF $244 <=0
            BITON ({LINK1}1@%M45)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF

```

2.5. Direccionamiento y asignación de variables

El direccionamiento y la asignación de variables identifica cada elemento y permite poder trabajar con cada uno de ellos para la parte del control del sistema, el direccionamiento puede ser interno y externo, depende de los dispositivos con los cuales el HMI establezca comunicación, tenemos direccionamiento interno, PLC y sensor, cada listado de variables tanto del PLC, como el sensor NOVUS se detallan en el ANEXO F y ANEXO G

2.5.1. Direccionamiento de memorias y variables internas

Cada elemento que se utiliza para la realizar la HMI necesita una dirección para poder trabajar con ese elemento en algunos casos se direcciona con variables propias del software.

Para realizar el direccionamiento de memorias internas se realiza los siguientes pasos:

- Click en la herramienta que se desea direccionar (botones, contadores, gráficos, etc.)
- Se despliega una ventana como se muestra en la **Figura 25-2**.
- Se configura el **Link**, en el cual se selecciona **Internal Memory** (memorias internas)
- En la parte de **Type** se elige el tipo de dato con el que se va a trabajar sea:
 - Word/Bit/Constante
- En la parte de **Content** se direcciona la herramienta con la nomenclatura del software.
 - Registro Interno (\$)
 - Registro Interno no Volátil (\$M)
 - Registro de direcciones Indirectas (*\$)
- **Adress/Value** numero de direccionamiento.

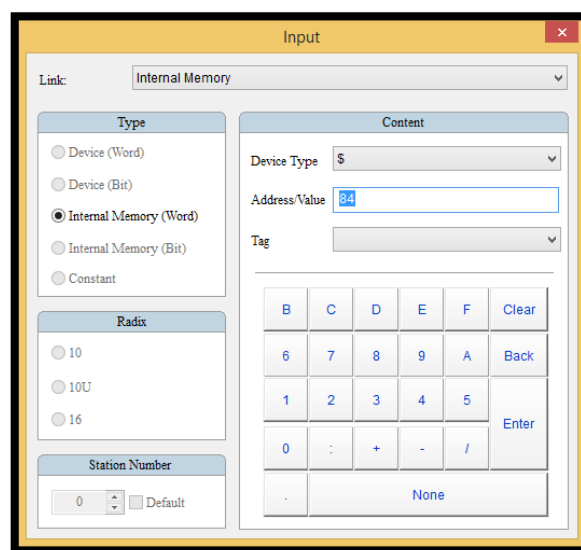


Figura 25-2 Direccionamiento variables internas
Fuente: Software DOPSoft

2.5.2. Direccionamiento de variables del PLC

Para realizar el direccionamiento de variables del PLC GE Fanuc se realiza los siguientes pasos:

- Click en la herramienta que se desea direccionar (botones, contadores, gráficos, etc.)
- Se despliega una ventana como se muestra en la **Figura 26-2**.
- Se configura el **Link**, en el cual se selecciona **Link 1** (Port: COM1/Controller: 90 Series SNP)

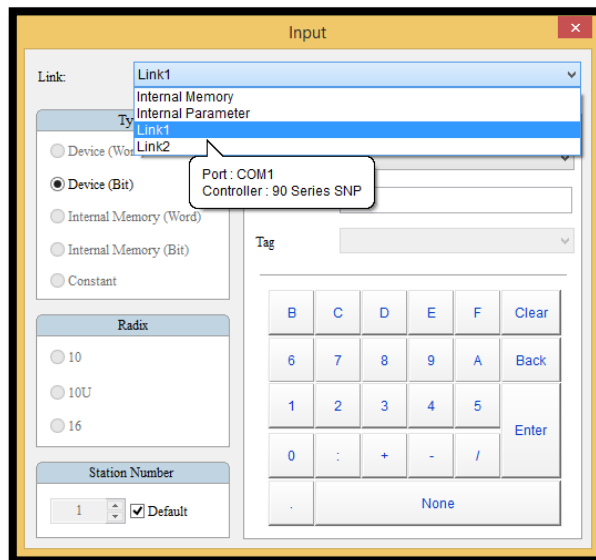


Figura 26-2 Direccionamiento de las variables del PLC
Fuente: Software DOPSoft

- En la parte de **Type** se elige el tipo de dato con el que se va a trabajar sea:
 - Word
 - Bit
 - Constante
- En la parte de **Content** se direcciona la herramienta con la nomenclatura propia del PLC GE Fanuc, ver **Figura 27-2**.
 - Entradas (%I)
 - Salidas (%Q)
 - Contadores (%T)
 - Memorias internas del PLC (%M)
- **Adress/Value** asignación del número con el cual se va a reconocer tanto el software DOPSoft y el software propio del PLC GE FANUC.

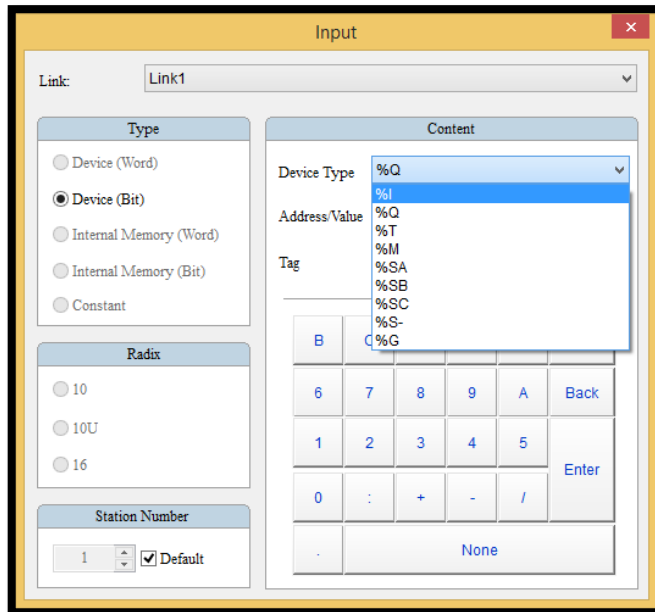


Figura 27-2 Tipos de variables PLC
Fuente: Software DOPSoft

2.5.3. *Direccionamiento de registros del Sensor NOVUS*

Para realizar el direccionamiento de registros Modbus del Sensor NOVUS se realiza los siguientes pasos:

- Click en la herramienta que se desea direccionar (botones, contadores, gráficos, etc.)
- Se despliega una ventana como se muestra en la **Figura 28-2**.
- Se configura el **Link**, en el cual se selecciona **Link 2** (Port: COM2/Controller: RTU HexAdress(Master))

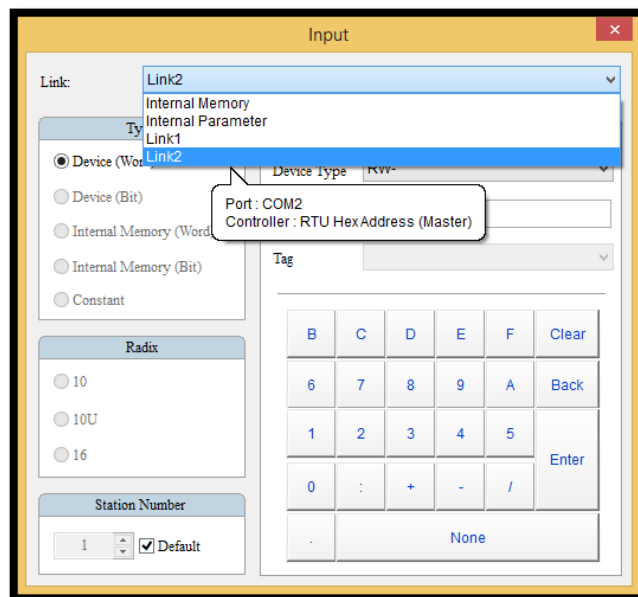


Figura. 28-2 Direccionamiento de los registros sensor
Fuente: Software DOPSoft

- En la parte de **Type** se elige el tipo de dato con el que se va a trabajar sea:
 - Word
 - Bit
 - Constante
- En la parte de **Content** se direcciona la herramienta con la nomenclatura propia del Sensor NOVUS, ver **Figura 29-2**.
 - Registro de lectura y escritura (RW-)
 - Registro solo de lectura (R-)
- **Address/Value** asignación del número con el cual se va a reconocer tanto el software DOPSoft y trabajar con el mapa Modbus del sensor.

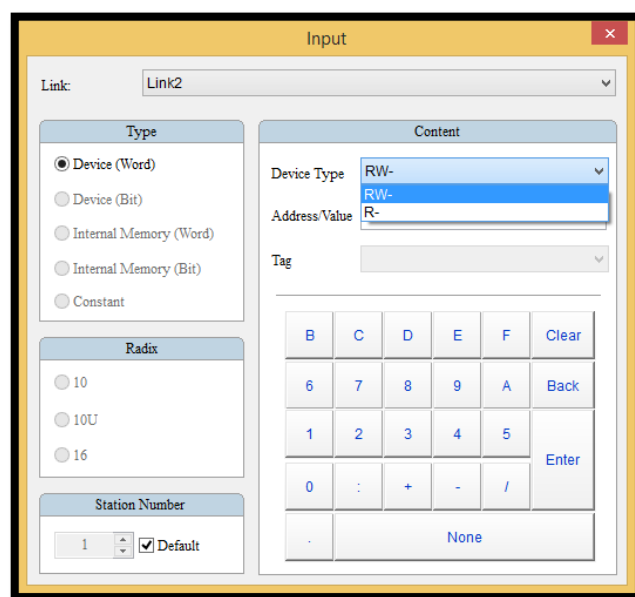


Figura 29-2 Tipos de registros del sensor
Fuente: Software DOPSoft

2.6. Interfaz Humano – Máquina (HMI)

La interfaz que se encontraba instalada anteriormente en el sistema de aire acondicionado y permitía el monitoreo del proceso se encontraba mal diseñada y de forma mal distribuida cada uno de los elementos necesarios para saber cómo se encontraba el sistema, sus ventanas no permitían saber mucho de que sucede en el sistema, ver **Figura 30-2**.

Se realiza una nueva interfaz humano-máquina que consta de ocho ventanas de trabajo en las cuales se muestra toda la información necesaria de cómo se encuentra el sistema en tiempo real, permiten al operador interactuar de una manera más sencilla con el nuevo sistema y realizar un correctivo de fallas inmediato, se detalla en el CAPITULO III.

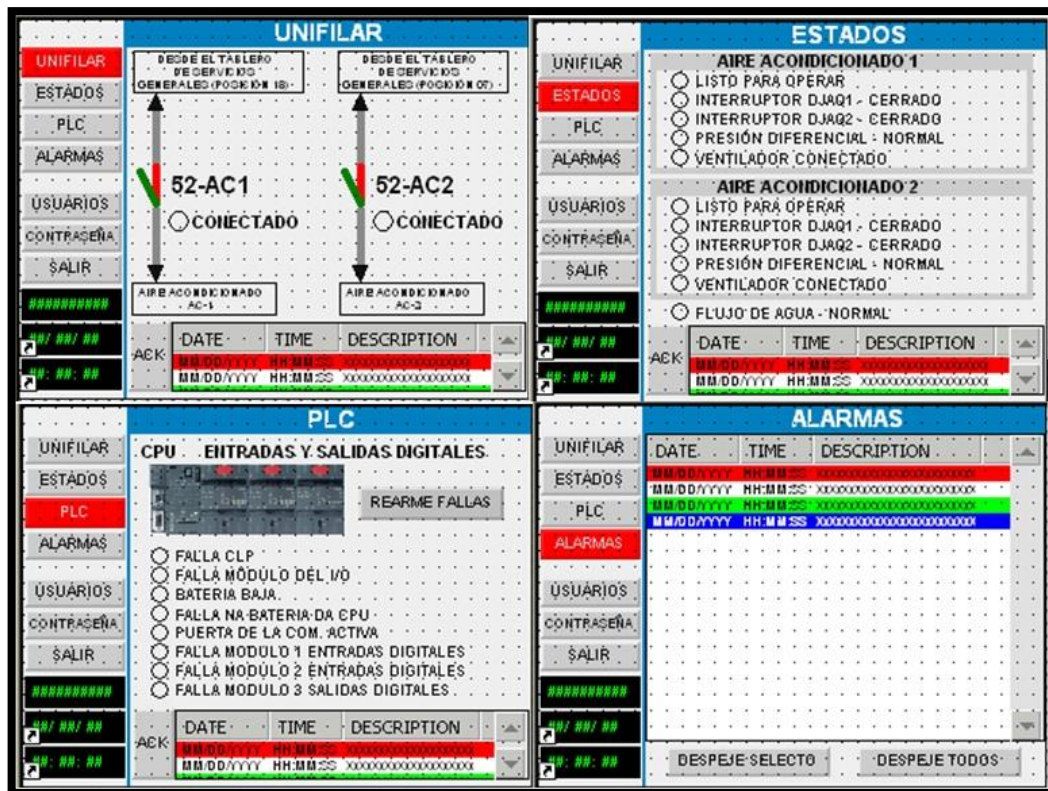


Figura 30-2 Pantallas del anterior sistema
Fuente: Software Proficy Machine Edition

2.7. Análisis Económico

Este análisis contiene la información acerca de los beneficios que obtendrá la empresa al implementar el proyecto, los costos de inversión y la rentabilidad del proyecto.

Para cada medida de ahorro debe documentarse:

Beneficios: los beneficios que se obtendrá al momento de la implementación de proyecto

Costos de inversión: costos para realizar el proyecto, ingeniería, dispositivos, instalación, entre otros.

Rentabilidad Financiera: recuperación de la inversión y rentabilidad del proyecto.

2.7.1. Presupuesto del proyecto

Todos los beneficios de la implementación del nuevo sistema de aire acondicionado, viene representado por la facilidad del mantenimiento, programación y da como inicio para que el personal de supervisión, monitoreo y control de la empresa CELEC EP realice cambios a futuro. Para lo cual es necesario realizar un presupuesto inicial y el conocimiento de la inversión necesario para realizar un proyecto de este tipo, de la misma manera saber su factibilidad.

La **Tabla 11-2** nos muestra el presupuesto necesario para realizar el proyecto de modernización del sistema de aire acondicionado y se encuentra repartido en gastos de hardware, software y mano de obra.

Tabla 11-2 Presupuesto del proyecto

PRESUPESTO DEL PROYECTO			
CANT	UNID	DESCRIPCION	COSTO
1	u	Pantalla Touch DELTA DOP-B10E615, 10 pulgadas, realización de interfaz HUMANO-MAQUINA HMI	2.495,50
1	u	Sensor de temperatura y humedad relativa NOVUS, RHT-DM-485-LCD	400,50
1	u	Relé contra inversión y falta de fase WEG	300,20
200	m	Conductor de cobre	90,00
9	u	Relés ABB 24VDC	200,00
1	u	Convertor de señales ABB RS232-RS485/RS485-RS232	150,00
1	u	Fuente de voltaje de 12VDC regulable, WEG	100,00
1	u	PLC GE FANUC GENERAL ELECTRIC VERSA MAX IC200CPU002	2.000,00
1	u	Profyci Machine Edition, Software de programación para PLC GE FANUC	6.000,00
1	u	Mano de obra Implementación, programación y pruebas operativas	8.500,00
		TOTAL	20.236,20

Realizado por: Gamboa. A. 2017

El presupuesto que la empresa ocupa para la modernización de este proyecto se detalla en la **Tabla 12-2**.

Tabla 12-2 Recursos de la empresa

PRESUPESTO DEL PROYECTO			
CANT	UNID	DESCRIPCION	COSTO
1	u	Pantalla Touch DELTA DOP-B10E615, 10 pulgadas, realización de interfaz HUMANO-MAQUINA HMI	2.495,50
1	u	Sensor de temperatura y humedad relativa NOVUS, RHT-DM-485-LCD	400,50
		TOTAL	2.896,00

Realizado por: Gamboa. A. 2017

El análisis económico que se realiza permitirá demostrar que el proyecto que se va a realizar es factible y también demostrará que ahorro realiza la empresa.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza un análisis del sistema, se detallará las pruebas que se realiza para la recolección de datos de temperatura y humedad relativa, cuadros comparativos de la relación del sistema implementado, así también recopilación de datos del funcionamiento de los actuadores del sistema.

3.1. Pruebas de elementos de campo

Las pruebas se realizaron con el personal de operación de la central, debido a que se recopilaron datos de temperatura y humedad relativa del sistema antes y del sistema actual durante todo un día, los datos se tomaron cada hora de trabajo, los operadores trabajan en tres turnos de 8 horas, de esta manera se obtuvo una gran recolección de datos, la representación de estos datos se reflejó en tablas y gráficas.

3.1.1. *Sensores*

Los datos medidos para el sistema anterior se los realiza con un elemento de medición de campo, un higrómetro de la marca FLUKE y la recolección de los datos del sistema actual se obtuvo de los valores visualizados en la pantalla gráfica del sensor NOVUS, se toma los valores de humedad y temperatura en base:

- Trabajos en las amanecidas
- Ingreso del personal
- Hora de almuerzo
- Culminada la jornada laboral
- Trabajos en toda la noche

3.1.1.1. *Datos de temperatura del anterior sistema y el sistema actual*

El valor se toma en base a un día normal de trabajo para observar las variaciones más representativas de temperatura a lo largo de todo un día.

Tabla 1-3 Datos temperatura

TABLA COMPARATIVA DE TEMPERATURA °C		
HORA	FLUKE TEMPERATURA (ANTES)	NOVUS TEMPERATURA (AHORA)
0:00	22,7	22,8
1:00	22,6	22,9
2:00	21,9	22,8
3:00	22,4	23,1
4:00	22,7	23,4
5:00	21,8	23,8
6:00	22,4	24
7:00	22,8	23,7
8:00	23,3	23,8
9:00	23,6	23,9
10:00	24,7	24
11:00	24,8	23,9
12:00	24,5	23,4
13:00	25,7	25,1
14:00	25,8	23,7
15:00	24,4	22,9
16:00	24,5	22,8
17:00	24,6	23,1
18:00	24	23,5
19:00	23,8	24
20:00	23,7	23,5
21:00	23,3	23,6
22:00	22	23,8
23:00	22,1	23,5

Realizado por: Gamboa. A. 2017

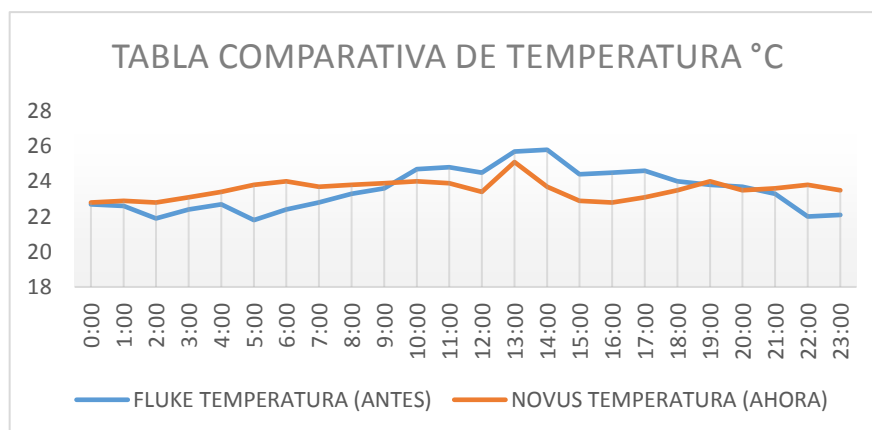


Gráfico 1-3 Curva comparativa de temperatura

Realizado por: Gamboa. A. 2017

El **Gráfico 1-3**, muestra un resultado significativo del sistema anterior (naranja) y el sistema actual (azul), la curva naranja tiende a ser un poco más lineal que la curva azul, los cambios bruscos de temperatura son en las horas de 11:00 a 14:00 horas puesto que son horas donde hay mucho movimiento del personal, por ser horas de almuerzo, en el transcurso del día se mantiene una temperatura estable con poca variación.

La diferencia de los valores de temperatura medida con la implementación del nuevo sistema de control, muestra en la **Gráfico 1-3** y **Tabla 1-3** un error de $+1^{\circ}\text{C}$ y -1°C . La base que consolida esto es la programación que se realiza en la pantalla DELTA HMI y le PLC GE FANUC.

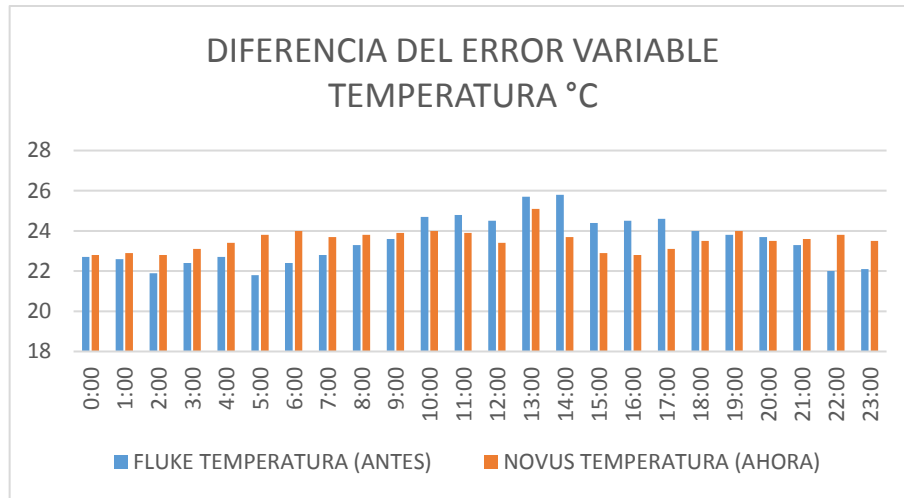


Gráfico 2-3 Diferencia de error temperatura
Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.1.1.2. Datos de humedad relativa del anterior sistema y el sistema actual

El valor se toma en base a un día normal de trabajo para observar las variaciones más representativas de temperatura a lo largo de todo un día.

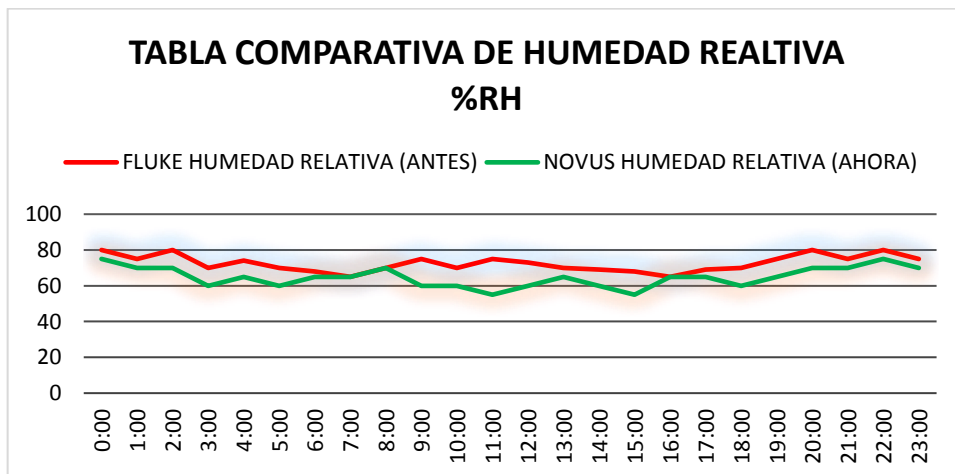


Gráfico 3-3 Curva comparativa de humedad relativa
Realizado por: Gamboa. A. 2017

La **Gráfico 3-3** muestra un resultado significativo del sistema anterior (rojo) y el sistema actual (verde), la curva verde tiende a ser un poco más lineal, que la curva roja, lo que se puede observar también es una reducción de la humedad de un promedio de un 5%, puesto que en este caso ya no se tiene los sensores de humedad del anterior sistema que se encontraban dañados.

Tabla 2-3 Datos humedad relativa

TABLA COMPARATIVA DE HUMEDAD REALTIVA %RH		
HORA	FLUKE HUMEDAD RELATIVA (ANTES)	NOVUS HUMEDAD RELATIVA (AHORA)
0:00	80	75
1:00	75	70
2:00	80	70
3:00	70	60
4:00	74	65
5:00	70	60
6:00	68	65
7:00	65	65
8:00	70	70
9:00	75	60
10:00	70	60
11:00	75	55
12:00	73	60
13:00	70	65
14:00	69	60
15:00	68	55
16:00	65	65
17:00	69	65
18:00	70	60
19:00	75	65
20:00	80	70
21:00	75	70
22:00	80	75
23:00	75	70

Realizado por: Gamboa. A. 2017

La diferencia de los valores de humedad relativa medida con la implementación del nuevo sistema de control, muestra en la **Gráfico 3-3** y **Tabla 2-3** un error de +5°C y -5°C, La base que consolida esto es la programación del control on-off con histéresis que se realiza en la pantalla DELTA HMI y le PLC GE FANUC.

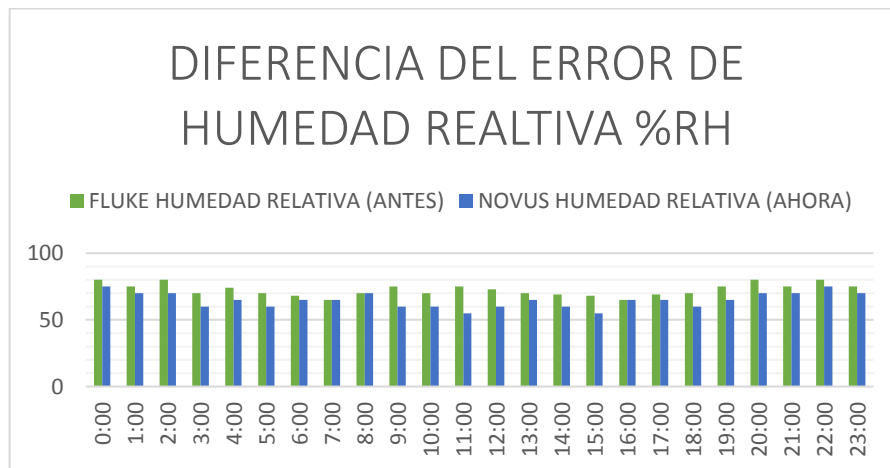


Gráfico 4-3 Diferencia de error humedad relativa

Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.1.2. Actuadores

Los valores de error se definen por el porcentaje de mejora de la variación de las variables controladas, reduciendo el periodo de conmutaciones de los actuadores, los mismos que definen el funcionamiento del sistema

3.1.2.1. Análisis de las mejoras de los actuadores del sistema implementado

Este análisis se lo realiza tomando en cuenta el número de conmutaciones que los actuadores tenían con el anterior sistema y con el sistema ya implantado

Tabla 3-3 Número de conmutaciones de los actuadores antes y después

TABLA COMPARATIVA FUNCIONAMIENTO DE ACTUADORES		
HORA	COMPRESORES (A/D)	RESISTENCIAS(A/D)
0:00	7/3	3/2
1:00	7/3	3/2
2:00	7/3	3/2
3:00	7/3	3/2
4:00	7/3	3/2
5:00	7/3	3/2
6:00	7/3	3/2
7:00	7/3	3/2
8:00	7/3	3/2
9:00	7/3	3/2
10:00	7/3	3/2
11:00	7/3	3/2
12:00	7/3	3/2
13:00	7/3	3/2
14:00	7/3	3/2
15:00	7/3	3/2
16:00	7/3	3/2
17:00	7/3	3/2
18:00	7/3	3/2
19:00	7/3	3/2
20:00	7/3	3/2
21:00	7/3	3/2
22:00	7/3	3/2
23:00	7/3	3/2
TOTAL	168/72	72/48

Realizado por: Gamboa. A. 2017

Tabla 4-3 Conmutaciones y vida útil

CONMUTACIONES Y VIDA ÚTIL DE LOS ACTUADORES				
EQUIPO	CONMUTACIONES MÁXIMAS POR AÑO (DATOS DEL EQUIPO)	CONMUTACIONES ANTERIOR SISTEMA POR AÑO	CONMUTACIONES SISTEMA ACTUAL	VIDA ÚTIL (AÑOS)
<i>Compresor Copeland ZR125KCE</i>	50000	61320	26280	15
<i>Resistencia de calentamiento Electricfor</i>	20000	26280	17520	12

Realizado por: Gamboa. A. 2017

- Se reduce en un 57% el nivel de conmutaciones de los compresores, alargando así su vida útil.
- Se reduce en un 30% el nivel de conmutaciones de las resistencias de calentamiento, mejorando así su funcionamiento y su vida útil.

3.2. Análisis del algoritmo de control

El análisis del algoritmo de control se realiza en base a los porcentajes del número de conmutaciones de los actuadores, que permite saber que el diseño de un control ON-OFF con histéresis es el adecuado para este sistema de aire acondicionado, logrando tener un sistema confiable y libre de fallas.

Los parámetros influyentes para que el algoritmo de control sea el adecuado fueron

- Instalación de un nuevo sensor de temperatura y humedad relativa
- Instalación de una nueva HMI
- Manejo adecuado de las variables controladas
- Manejo adecuado de las variables manipuladas
- Compatibilidad de elementos hardware de control
- Programación del nuevo sistema de control ON-OFF
- Valores porcentuales de la mejora de los actuadores del sistema

3.3. Interfaz Humano – Máquina (HMI)

La creación de la nueva interfaz humano máquina (HMI), que se realizó dio como resultado una correcta supervisión, control y monitorización del nuevo sistema de aire acondicionado de la central Hidroeléctrica San Francisco, logrando así que cada pantalla de la HMI muestre el funcionamiento de sistema implementado en tiempo real.

3.3.1. Pantalla Principal

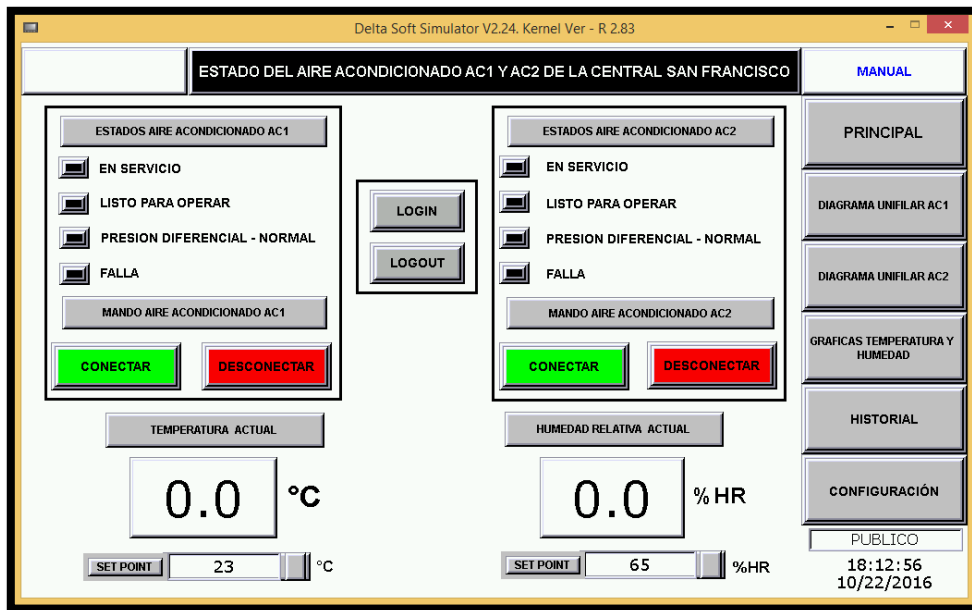


Figura 1-3 Pantalla Principal
Realizado por: Gamboa, A. 2017

La creación de la pantalla principal permite conocer el estado en que se encuentra el sistema de forma general mostrándonos los siguientes beneficios:

- Aire acondicionado en servicio AC1 y AC2
- Visualización de aire acondicionado principal
- Visualización de listo para operar
- Visualización de la presión de aire
- Aviso de falla de AC1 y AC2
- Valor de temperatura en tiempo real
- Valor de humedad relativa en tiempo real
- Valores configurables de Setpoint para temperatura y humedad
- Ingreso de usuarios para permisos
- Visualización del tipo de usuario
- Visualización de Automático / Manual
- Control manual desde la pantalla.

3.3.2. Diagrama Unifilar

Esta pantalla muestra la parte interna de cada una de las unidades de aire acondicionado, como son los actuadores, contactores, y relés de protección que conforman cada unidad de AC, como

se muestra en la **Figura 2-2** y permite saber si cada unidad se encuentra en falla y el lugar de la falla.

Para mayor información también se instala un botón que nos permite saber cada elemento que conforma el diagrama unifilar y sea mejor entendimiento, como se muestra en la **Figura 3-3**.

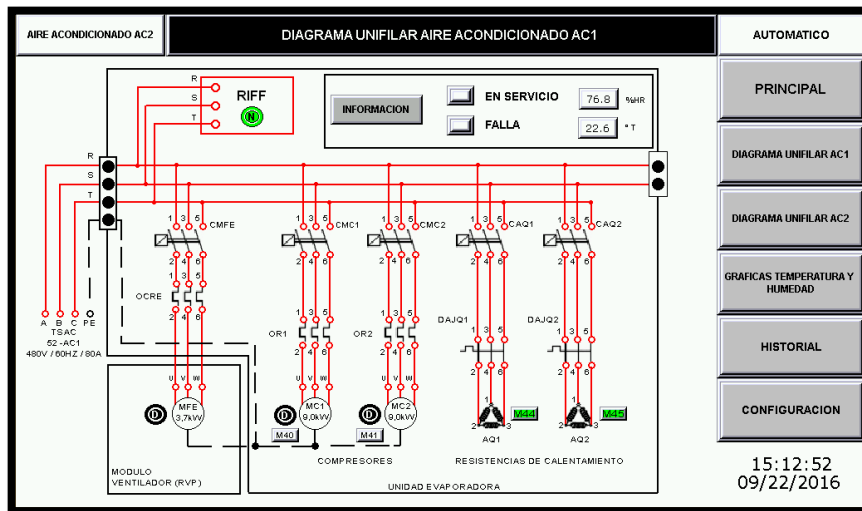


Figura 2-3 Pantalla del Diagrama Unifilar
Realizado por: Gamboa. A. 2017

INFORMACION DIAGRAMA UNIFILAR	
ITEM	DESCRIPCION
MC	MOTOR DEL COMPRESOR 3F - CV
CMC	CONTACTOR DEL MOTOR DEL COMPRESOR
OR	RELE DE SOBRECARGA DEL COMPRESOR
MFE	MOTOR DEL VENTILADOR DEL EVAPORADOR
CMFE	CONTACTOR DEL MFE
OCRE	RELE DE SOBRECARGAR DEL MFE
AQ	RESISTENCIAS DE CALENTAMIENTO
CAQ	CONTACTOR DE RESISTENCIAS AQ
DJAQ	INTERRUPTOR DE RESISTENCIAS AQ
RIFF	RELE CONTRA INVERSION Y FALTA DE FASE
	ENERGIZADO
	DESENERGIZADO
	EN CORRECTO FUNCIONAMIENTO
	FALLA

Figura 3-3 Información Diagrama Unifilar
Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.3.3. Gráficas de temperatura y humedad relativa

La necesidad de saber los valores tanto de temperatura y humedad relativa son de gran importancia debido a que estos valores ayudan al control de cada unidad de aire acondicionado y a su vez a tomar volares iniciales de Setpoint.

Esta pantalla muestra los valores de temperatura y humedad de una forma gráfica, el valor de los valores de referencia (setpoints) y la curva de temperatura que nos ayuda a visualizar los cambios mínimos que ocurren en el ambiente, como se muestra en la **Figura 4-3**.

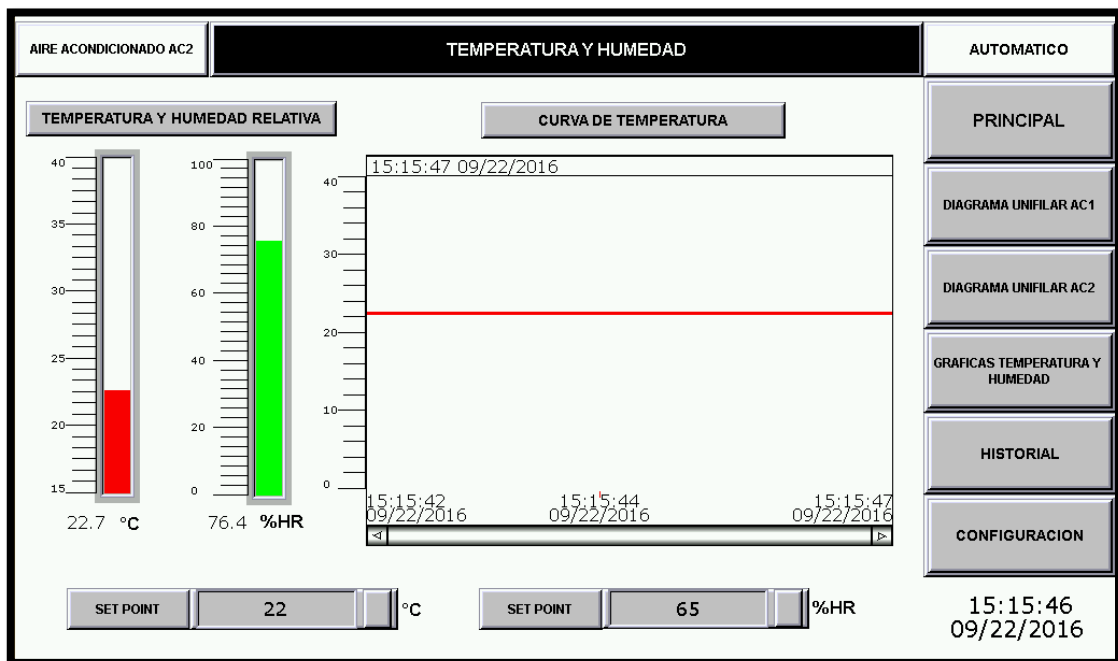


Figura 4-3 Pantalla de gráficas de temperatura y humedad relativa
Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.3.4. Historial de Eventos

Para realizar esta pantalla se toma en cuenta todos los posibles eventos que se pueden ocurrir en el sistema de aires acondicionado y se realiza un historial en tiempo real de todos los cambios que va ocurriendo en el nuevo sistema, tanto eventos como alarmas, ver **Figura 5-3**.

Eventos:

- Aire acondicionado en servicio AC1
- Aire acondicionado en servicio AC2
- AC1-Ventilador conectado
- AC2-Ventilador conectado
- AC1-Resistencia de calentamiento AQ1 conectado

- AC2-Resistencia de calentamiento AQ1 conectado
- AC1-Resistencia de calentamiento AQ2 conectado
- AC2-Resistencia de calentamiento AQ2 conectado
- AC1-Compresor 1 conectado
- AC2- Compresor 1 conectado
- AC1-Compresor 2 conectado
- AC2- Compresor 2 conectado
- AC1-Relé contra inversión y falta de fase RIFF actuado
- AC2-Relé contra inversión y falta de fase RIFF actuado
- Temperatura alta
- Humedad relativa alta

Fallas:

- Falla aire acondicionado AC1
- Falla aire acondicionado AC2
- Falla PLC
- Falla relé de sobrecarga de motor OCRE – AC1
- Falla relé de sobrecarga de motor OCRE – AC2
- Falla relé de sobrecarga de compresor OR1 – AC1
- Falla relé de sobrecarga de compresor OR1 – AC2
- Falla relé de sobrecarga de compresor OR2 – AC1
- Falla relé de sobrecarga de compresor OR2 – AC2

AIRE ACONDICIONADO AC2		DIAGRAMA UNIFILAR AIRE ACONDICIONADO AC1			AUTOMATICO	
#	HORA Y FECHA	DESCRIPCION	ALARMA	EVENTO		
○	14:28:50	09/16/2016		AC2-VENTILADOR CONECTADO		
○	14:28:50	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ1 CONECTADA		
○	14:28:50	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ2 CONECTADA		
○	14:28:50	09/16/2016		AC2-COMPRESOR 1 CONECTADO		
X	14:28:58	09/16/2016		AIRE ACONDICIONADO AC-2 ENCENDIDO		
X	14:28:58	09/16/2016		AC2-VENTILADOR CONECTADO		
X	14:28:58	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ1 CONECTADA		
X	14:28:58	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ2 CONECTADA		
X	14:28:58	09/16/2016		AC2-COMPRESOR 1 CONECTADO		
○	14:29:01	09/16/2016		AIRE ACONDICIONADO AC-2 ENCENDIDO		
○	14:29:01	09/16/2016		AC2-VENTILADOR CONECTADO		
○	14:29:01	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ1 CONECTADA		
○	14:29:01	09/16/2016		AC2-COMPRESOR 1 CONECTADO		
○	14:29:12	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ2 CONECTADA		
X	14:30:44	09/16/2016		AIRE ACONDICIONADO AC-2 ENCENDIDO		
X	14:30:44	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ1 CONECTADA		
X	14:30:44	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ2 CONECTADA		
X	14:30:44	09/16/2016		AC2-COMPRESOR 1 CONECTADO		
X	14:30:47	09/16/2016		AC2-VENTILADOR CONECTADO		
○	14:30:51	09/16/2016		AIRE ACONDICIONADO AC-2 ENCENDIDO		
○	14:30:55	09/16/2016		AC2-VENTILADOR CONECTADO		
○	14:30:55	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ1 CONECTADA		
○	14:30:55	09/16/2016		AC2-COMPRESOR 1 CONECTADO		
○	14:31:03	09/16/2016		AC2-RESISTENCIA DE CALENTAMIENTO AQ2 CONECTADA		

15:24:31
09/22/2016

Figura 5-3 Historial de eventos
Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.3.5. Configuraciones

La pantalla de configuraciones permite cambiar valores de setpoint, cambios de hora y fecha, calibración del touch y administración de usuarios, como se muestra en la **Figura 6-3**. El ingreso a esta pantalla es por clave dependiendo el usuario sea operador o supervisor.

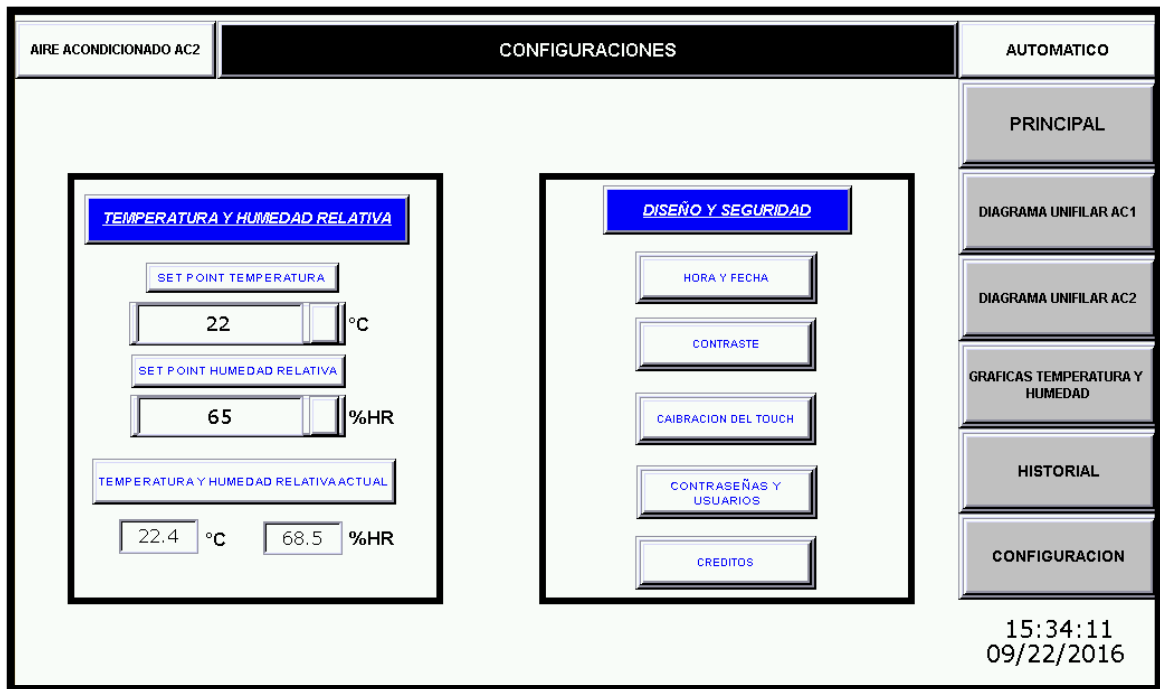


Figura 6-3 Pantalla de Configuraciones
Realizado por: Gamboa. A. 2017

En la pantalla principal se muestra el ingreso de usuarios los mismos que tienen diferentes permisos como se detalla en la **Tabla 5-3**, los que permiten ciertas restricciones al momento de navegar en la pantalla. Los usuarios y contraseñas se detallan de la siguiente manera:



Figura 7-3 Login pantalla Principal HMI
Realizado por: Gamboa. A. 2017

Tabla 5-3 Jerarquía de Usuarios

NIVEL DE USUARIO	TIPO DE USUARIO	PERMISOS
Nivel 0	Publico	Acceso a todas las pantallas menos a la pantalla de configuración, restricción a realizar cualquier cambio que realiza un operador o supervisor
Nivel 1	Operador	Acceso a todas las pantallas, modificación de los valores de setpoint y control manual desde el touch, con restricción a parámetros configurables solo por el supervisor
Nivel 2	Supervisor	Acceso sin restricciones, permiso para realizar el cambio que se desee como :modificación de valores de setpoint, control manual, cambios de hora y fecha, calibración del touch y administración de usuarios y contraseñas

Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.4. Análisis de relación COSTO / BENEFICIO

Para realizar la relación entre el costo y beneficio, es necesario como primer punto determinar cuáles serán los beneficios de al realizar la modernización del aire acondicionado, estos beneficios son:

- ❖ La central hidroeléctrica San Francisco necesita un sistema confiable de supervisión, monitoreo y control del aire acondicionado, por lo mismo el principal beneficio es obtener un sistema de control seguro, confiable y simple de operar.
- ❖ La inversión para la realizarla modernización no es muy representativa, en comparación con el coste de central hidroeléctrica San Francisco.
- ❖ La modernización garantiza un sistema libre de errores, de simple mantenimiento y sin la necesidad de personal de buscar de otros lugares para este mantenimiento.
- ❖ El sistema implementado con todas las modificaciones realizadas está elaborado para operar con el mínimo personal, gracias al sistema de control que se realiza, por medio de controles automáticos que ahorran el coste operacional.

3.4.1. Análisis costo/beneficio del sistema implementado

3.4.1.1. El Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Presente Neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: MAXIMIZAR la inversión. El Valor Presente Neto permite determinar si dicha inversión puede incrementar o reducir el valor. Ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significará que el valor de la firma tendrá un incremento equivalente al monto del Valor Presente Neto. Si es negativo quiere decir que la firma reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificará el monto de su valor. (Váquiroy, José Didier, 2006)

Costo Actual. - Los costos para realizar el proyecto desde el punto de vista de una empresa externa es de \$ 20.236,20 como se muestra en la **Tabla 11-2**, para correctivos de errores y prevención de fallas.

Costo Proyectado. - El presupuesto proyectado para realizar este proyecto, por el abastecimiento de recursos propios de la empresa es de \$ 2.896,00, se detalla en la **Tabla 12-2**

Costo de gastos de capacitación. – Este gasto se realiza en las horas hombres que se realiza para la implantación de proyecto, el mismo que abarca horas de programación del PLC, HMI, mano de obra de instalación, capacitación de operación y pruebas operativas, las mismas que se detallan a continuación en la **Tabla 6-3**.

Tabla 6-3 Gasto capacitación proyecto

DESCRIPCIÓN	Costo de la hora de un ingeniero	Horas de trabajo diarias	Días de trabajo	Resultado
Programación de PLC	\$7	8h	15d	\$ 840
Programación HMI	\$7	8h	25d	\$ 1400
Mano de obra instalación	\$7	8h	15d	\$ 840
Capacitación	\$7	8h	2d	\$ 112
Pruebas operativas	\$7	8h	15d	\$ 840
			Total	\$ 4032

Realizado por: Gamboa. A. 2017

Tabla 7-3 Valor neto presente neto

DESCRIPCIÓN	Inversión	Gastos de capacitación	Costo del proyecto	V.P.N
Costos para Sistema actual	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 20.236,20	\$ 20.236,20
Sistema proyectado	\$ 2.896,00	\$ 4.032,00	\$ 6.928,00	\$ 6.928,00

Realizado por: Gamboa. A. 2017

Beneficio. - Para el cálculo del beneficio se realiza la diferencia entre el costo actual y el costo proyectado.

$$\text{Beneficio} = \text{Costo Actual} - \text{Costo Proyectado Ecuación 6}$$

Tabla 8-3 Beneficio de la implementación del proyecto

DESCRIPCIÓN	Inversión	Gastos de capacitación	Costo de proyecto	V.P.N
Sistema actual	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 20.236,20	\$ 20.236,20
Sistema propuesto	\$ 2.896,00	\$ 4.032,00	\$ 6.928,00	\$ 6.928,00
			BENEFICIO	\$ 13.308,20

Realizado por: Gamboa. A. 2017

El valor neto del sistema propuesto por la hidroeléctrica es mayor que el valor neto de la implementación de este mismo sistema realizado por un empresa externa , lo que nos da como resultado un benéfico positivo como se muestra en la **Tabla 9-3**, con este resultado es muy fácil tomar una decisión y poder dar como resultado que la implementación que realiza la centra San francisco es muy factible, ahorrando recursos y dándonos un benéfico de \$ 13.3080,20; cabe recalcar que se obtiene un ahorro casi del 70 %.

Tabla 9-3 Costo/Beneficio

DESCRIPCIÓN	Costo de inversión y ahorro
Inversión	\$ 6.928,00
Ahorro	\$ 13.308,20

Realizado por: Gamboa. A. 2017

3.5. Respuesta a las preguntas de sistematización

¿En base al sistema instalado cuales son los elementos que componen el proceso y cuál es la lógica de control que me permite manejarlo de manera eficiente?

Todos los elementos que componen el proceso de modernización del sistema de aire acondicionado son:

Diagramas de Proceso de Instrumentación P&ID

- Válvulas mariposa
- Válvulas de globo
- Válvulas esféricas
- Manómetros
- Termómetros
- Válvula de compuerta
- Válvulas de control
- Tuberías
- Presóstato
- Diagramas de bloques de control
 - PLC
 - HMI
 - Sensor de humedad y temperatura
 - Actuadores
- Planos eléctricos y electrónicos bajo normas ANSI y normas ISO para elaboración de planos
 - Relés de protección
 - Entradas digitales y analógicas del PLC
 - Contactos
 - Transformadores
 - Sensores
 - Bobinas
 - Fuentes de poder
 - Contactares
- Nueva pantalla táctil para creación de la HMI
 - Pantalla Táctil DELTA DOP-SOFT, ver **ANEXO H**.
- Nuevo sensor de temperatura y humedad relativa
 - Sensor de humedad y temperatura NOVUS

- Nueva interfaz HMI bajo la norma ISA101
 - Pantalla principal
 - Diagrama unifilar AC1 y AC2
 - Gráficas de temperatura y humedad en tiempo real
 - Historial de eventos
 - Configuraciones
 - Manejo de usuarios

La lógica de control del sistema implementado se base en la programación del nuevo sistema de control, con los siguientes parámetros:

- Programación del control ON-OFF con histéresis
- Programación del PLC y la pantalla HMI para realizar el sistema de control
- Comunicación por medio del protocolo MODBUS del hardware de control para el nuevo sistema implantado

¿En base a tecnologías actuales que implementos o dispositivos, me permitirán hacer un monitoreo en tiempo real de las variables de proceso?

Los elementos que permitirán hacer el monitoreo y supervisión del nuevo sistema de aire acondicionado es la nueva pantalla HMI DELTA DOP-B y el sensor NOVUS RHT, que debido a sus características permite interactuar con las variables manipuladas y controladas en tiempo real

Tabla 10-3 Nuevos dispositivos tecnológicos implementados

NUEVAS TECNOLIGIAS		
EQUIPO	VENTAJAS	COMUNICACIÓN
PANTALLA TACTIL DELTA DOP-B	<i>Compatible con todo clase de PLC</i>	MODBUS
	<i>Fácil implantación</i>	
	<i>Varios puertos de comunicación</i>	
	<i>Pantalla de alta resolución</i>	
	<i>Variedad de formas de mostrar datos</i>	
	<i>Software de edición fácil</i>	
	<i>Fácil de navegar</i>	
	<i>Fácil diseño de HMI</i>	
<i>Costo mínimo</i>		
Sensor NOVUS RHT	<i>Sensor de humedad</i>	
	<i>Sensor de temperatura</i>	
	<i>Fácil implementación</i>	
	<i>Sensible a cambios de temperatura y humedad</i>	
	<i>Display de visualización de variables</i>	
	<i>Para usos industriales</i>	

Realizado por: Gamboa. A. 2017

¿En qué porcentaje se logrará incrementar la vida útil de los dispositivos de campo con el nuevo sistema de aire acondicionado?

Las mejoras se definen con los siguientes niveles porcentuales:

- Se reduce en un 57% el nivel de conmutaciones de los compresores, alargando así su vida útil en un 50%.
- Se reduce en un 30% el nivel de conmutaciones de las resistencias de calentamiento, mejorando así su funcionamiento, alargando su vida útil en un 40%

¿La automatización del proceso de aire acondicionado de la central Hidroeléctrica San Francisco, permitirá reducir el número de fallas generada en el sistema anterior?

Para saber si se redujo el porcentaje de fallas existente en el nuevo sistema se realiza un análisis Eficiencia General de Equipos (OEE), que un valor porcentual que sirve para la medición de la eficiencia productiva de un proceso industrial.

La eficiencia de los equipos resulta de la multiplicación de tres valores porcentuales: la disponibilidad, la eficiencia y la calidad, su fórmula es:

$$OEE = \text{DISPONIBILIDAD} * \text{RENDIMIENTO} * \text{CALIDAD}$$

Cálculo de OEE anterior sistema

Tabla 11-3 OEE anterior sistema

CALCULO DEL OEE PARA EL SISTEMA ANTERIOR	
TIEMPO	HORAS-AÑO
TIEMPO DISPONBLE (TD)	8760
TIEMPO DE PARADA PALNIFICADA (TPP)	-730
TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO(TF)	8030
TIEMPO DE PREPARACION DE EQUIPOS (TPE)	-600
TIEMPO DEL PERIODO DE OPERACIÓN (TPO)	7430
TIEMPO DE PARADA NO PALNIFICADA POR EQUIPO(TPNO)	-150
TIEMPO DE OPERACIÓN NETA (TON)	7280
TIEMPO PERDIDO POR OPERACIÓN(TPPO)	-1500
TIEMPO DE OPERACIÓN UTILIZABLE(TOU)	5780
TIEMPO PERDIDO POR DEFECTOS(TPD)	-100
TIEMPO PRODUCTIVO NETO(TPN)	4780

Realizado por: Gamboa. A. 2017

$$DISPONIBILIDAD = \left(\frac{TON}{TF} \right) * 100\%$$

$$D = \left(\frac{7280}{8030} \right) * 100\% = 90.66\%$$

$$RENDIMIENTO = \left(\frac{TOU}{TON} \right) * 100\%$$

$$R = \left(\frac{5780}{7280}\right) * 100\% = 79,39\%$$

$$CALIDAD = \left(\frac{TPN}{TOU}\right) * 100\%$$

$$C = \left(\frac{4780}{5780}\right) * 100\% = 82,69\%$$

$$OEE = D * R * C$$

$$OEE = 90,66 * 79,39 * 82,69 = 59,52\%$$

Cálculo de OEE sistema actual

Tabla 12-3 OEE sistema actual

CALCULO DEL OEE PARA EL SISTEMA ANTERIOR	
TIEMPO	HORAS-AÑO
TIEMPO DISPONIBLE (TD)	8760
TIEMPO DE PARADA PALNIFICADA (TPP)	-730
TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO(TF)	8030
TIEMPO DE PREPARACION DE EQUIPOS (TPE)	-150
TIEMPO DEL PERIODO DE OPERACIÓN (TPO)	7880
TIEMPO DE PARADA NO PALNIFICADA POR EQUIPO(TPNO)	-300
TIEMPO DE OPERACIÓN NETA (TON)	7580
TIEMPO PERDIDO POR OPERACIÓN(TPPO)	-100
TIEMPO DE OPERACIÓN UTILIZABLE(TOU)	7480
TIEMPO PERDIDO POR DEFECTOS(TPD)	-100
TIEMPO PRODUCTIVO NETO(TPN)	7380

Realizado por: Gamboa. A. 2017

$$DISPONIBILIDAD = \left(\frac{TON}{TF}\right) * 100\%$$

$$D = \left(\frac{7580}{8030}\right) * 100\% = 94,39\%$$

$$RENDIMIENTO = \left(\frac{TOU}{TON}\right) * 100\%$$

$$R = \left(\frac{7480}{7580}\right) * 100\% = 98,68\%$$

$$CALIDAD = \left(\frac{TPN}{TOU}\right) * 100\%$$

$$C = \left(\frac{7380}{7480}\right) * 100\% = 98,63\%$$

$$OEE = D * R * C$$

$$OEE = 94,39 * 98,68 * 98,63 = \mathbf{91,90\%}$$

El resultado del análisis de eficiencia general de equipos muestra los siguientes resultados:

- OEE < 65% INACEPTABLE; **anterior sistema (59,52%)**
- 65% < OEE < 75% REGULAR
- 75% < OEE < 85% ACEPTABLE
- 85% < OEE < 95% BUENO; **sistema actual (91,90%)**
- OEE > 95% EXCELENTE

El número de fallas se corrige en su totalidad y se tiene un sistema de excelente calidad y funcionamiento.

CONCLUSIONES

- La modernización que se realiza en el sistema de aire acondicionado, logra mejorar la interacción humano-máquina, se mejora el mantenimiento de la parte electrónica y eléctrica y se solucionan los problemas de control, supervisión y monitorización del anterior sistema de aire acondicionado.
- Se diseña nueva información técnica del sistema planos eléctricos y electrónicos, planos de procesos de instrumentación P&ID, mostrando de manera simple los componentes e interconexiones de todos los dispositivos físicos con los que cuenta el nuevo sistema.
- Se realiza una nueva Interfaz Humano-Máquina HMI, con mejoras que permiten la operación del sistema, identificar de una manera fácil y sencilla el estado del sistema de aire acondicionado.
- Se rediseña la programación para mejorar el control automático, permitiendo que los actuadores de cada unidad de aire acondicionado tengan un trabajo adecuado, alargando así su vida útil.
- Se diseña un sistema de control automático eficiente, mejorando los tiempos de respuesta del controlador y evitando las posibles fallas que se encontraban antes en el sistema.
- Se aumenta la vida útil de los actuadores en un 50% para los compresores y un 40% para las residencias de calentamiento, permitiendo cuidar los recursos materiales del sistema.
- Se desarrolla un análisis costo/beneficio del sistema que se encontraba instalado y el sistema actual, lo cual permite saber la rentabilidad del proyecto al implementarse.
- Se concluye que el cambio realizado en el sistema de aire acondicionado cumple los objetivos propuestos y permitiendo a la empresa tener un sistema de aire acondicionado de alta calidad y confiabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento mensual, trimestral, semestral o anual del sistema de aire acondicionado para evaluar el funcionamiento de este, manteniendo en buen estado los dispositivos que lo conforman.
- Se recomienda la creación de una nueva pantalla en el sistema SCADA propio de la central, para lograr visualizar el estado del sistema en tiempo real.
- Proponer a la administración un estudio de factibilidad para que el sistema de aire acondicionado funcione mientras las unidades de la central se encuentran fuera de servicio.
- Se recomienda la adquisición de repuestos del sistema de aire acondicionado, con la finalidad de solucionar posibles fallas por mal funcionamiento de algunos elementos que se encuentren en mal estado.
- Capacitar al personal de supervisión y control sobre el nuevo sistema para evitar posibles daños en el funcionamiento de los actuadores, evitando así posibles fallas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ATP SOFTWARE.** *Control de procesos* [en línea]. 2013. [Consulta: 3 de agosto 2016]
Disponible en: <http://www.atpsoftware.net/Calidad.htm>
2. **CELEC EP HIDROELECTRICA SAN FRANCISCO.** *Planos AS BUILT central Hidroeléctrica San Francisco*, San Francisco. Baños de Agua Santa. Ecuador. 2000.
3. **DELTA ELECTRONICS.** *Touch Panel HMI - Human Machine Interface* [en línea]. Taiwan: Bruce Cheng, 2016. [Consulta: 14 de junio 2016]. Disponible en:
<http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=ALL&hl=en-US#>
4. **INGENIERIA INDUSTRIAL ONLINE.** *Procesos Industriales* [en línea]. Colombia: Ing. Brayan Salazar Lopez, 2012. [Consulta: 20 de junio 2016]. Disponible en:
www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/
5. **KARLA DE SANTIS.** *Procesos Industriales* [en línea]. 2014. [Consulta: 1 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos100/procesos-industriales/procesos-industriales.shtml>
6. **LABODA, Javier; GALIMANY, Josep; PENA, Rosa María; GUAL, Antoni.** *Biblioteca práctica de la computación*. Barcelona. España: Océano-Éxito, S.A, 1985, pp 85.
7. **PHYMES FUTURO.** *Valor presente neto VPN* [en línea]. Ibagué-Colombia: José Didier Váquiro, 2013. [Consulta: 15 de agosto 2016]
<http://pymesfuturo.com/vpneto.htm>
8. **SERNA, Antonio; ROS, Francisco; RICO, Juan.** *Guia Practica de Sensores*. España: Creaciones Copyright S.L, 2010, pp 45-69.

ANEXOS