

**COMISIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ACOPLADO AL  
MÓDULO DE AIRE ACONDICIONADO DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**JHON ALEXANDER VERA REDONDO  
GERMAN EDUARDO BOHORQUEZ CADENA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

**COMISIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ACOPLADO AL  
MÓDULO DE AIRE ACONDICIONADO DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**JHON ALEXANDER VERA REDONDO  
GERMAN EDUARDO BOHORQUEZ CADENA**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director: Gilberto Fontecha  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, Enero del 2011.

## **DEDICATORIA**

**A Dios, por sus grandes bendiciones.**

**A mi madre Rubiela Cadena Ortiz, por ser el motor de mi vida.**

**A mi padre Germán Bohórquez Correa, por ser un gran ejemplo como padre.**

**A mi hermana Diana Sofía Bohórquez Cadena, por su forma de ser tan  
especial.**

**A mi tía Teresa Cadena Arenas, por enseñarme el valor de la vida.**

**German Eduardo Bohórquez Cadena**

## **DEDICATORIA**

**A Dios, por sus grandes bendiciones.**

**A mi madre Luz Marina Redondo, por ser el apoyo fundamental en mi vida.**

**A mi padre José Miguel Vera, por su compañía y sabios consejos.**

**A mi Hermano Edward Ricardo Vera, por su apoyo incondicional.**

**A todas las personas que participaron en mi proceso de formación.**

**Jhon Alexander Vera Redondo.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios Por bendecirnos en este maravilloso camino de la vida.

A la universidad Pontifica Bolivariana por brindarnos todas las herramientas para desarrollarnos como personas íntegras y profesionales competitivos.

Al director del proyecto Ingeniero Gilberto Fontecha Dulcey por su apoyo, colaboración y compromiso durante el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Edwin Córdoba tuta porque gracias a su conocimiento y experiencia nos guió durante varias fases del proyecto.

Al Director de la facultad de Ingeniería mecánica Ingeniero Alfonso Santos por su colaboración

Al Ingeniero Juan Carlos Mantilla por enseñarnos que todo tiene una solución.

A la Ingeniera Leydi Olarte Silva por brindarnos su ayuda en momentos complicados que se nos presentaron.

A los ingenieros Miguel Ángel reyes, Emil Hernández, Javier Castellanos que nos brindaron sus conocimientos y experiencias para nuestra formación profesional.

A Elizabeth por su colaboración.

Al maestro Ricardo y su ayudante Weimar por su total disposición y colaboración.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	2
1. OBJETIVOS.....	5
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
2. ALCANCE .....	6
3. JUSTIFICACIÓN .....	7
4. ANTECEDENTES.....	8
5. MARCO TEÓRICO. ....	13
5.1 Sistemas de almacenamiento de energía. ....	13
5.2 Comisionamiento. ....	17
5.2.1 Fase Pre diseño. ....	18
5.2.2 Fase diseño.....	18
5.2.3Fase de construcción. ....	18
5.2.4 Fase de aceptación.....	19
5.2.5Fase de Post aceptación.....	19
5.3 Automatización y control.....	19
5.4Lenguaje KOP .....	22
6. METODOLOGÍA .....	23
7. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	24
7.1 Construcción. ....	24
7.2 Aceptación. ....	30
7.3Post aceptación.....	31
8. DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN.....	31
8.1Descripción de los elementos funcionales.....	32
8.2 Calibración de instrumentos.....	34

8.2.1 Sensor de nivel.....	34
8.2.2 RTD.....	36
8.2.3 Válvula proporcional.....	36
8.3 Programación “Step 7”, de “Siemens”.....	37
8.4 Desarrollo de la interfaz.....	37
8.4.1Sección datos.....	39
8.4.2Sección estado del tanque.....	40
8.4.3Sección gráficas.....	40
8.4. Sección modo control.....	43
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXO A.....	49
ANEXO B.....	51
ANEXO C.....	64

## LISTA DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1.TOMADO DE THERMAL STORAGE STRATEGIES FOR COMERCIAL HVAC SYSTEMS, PAG 2. ....	13
ILUSTRACIÓN 2.SISTEMA EN LAZO ABIERTO .....	20
ILUSTRACIÓN 3. SISTEMA EN LAZO CERRADO .....	21
ILUSTRACIÓN 4.ESTRUCTURA TRANSDUCTOR .....	21
ILUSTRACIÓN 5.SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....	25
ILUSTRACIÓN 6.BOMBA PEDROLLO .....	26
ILUSTRACIÓN 7.VALVULA PROPORCIONAL TRES VIAS .....	26
ILUSTRACIÓN 8.VALVULA SOLENOIDE .....	27
ILUSTRACIÓN 9.TUBERIA DRENADO DEL TANQUE.....	27
ILUSTRACIÓN 10.ACOPLA TUBERÍA LLENADO DEL TANQUE .....	28
ILUSTRACIÓN 11. SENSOR DE NIVEL .....	29
ILUSTRACIÓN 12.CABLEADO Y CONEXIONES PLC .....	29
ILUSTRACIÓN 13. LINEALIZACION SENSOR DE NIVEL.....	35
ILUSTRACIÓN 14. CUADRO DE BIENVENIDA.....	38
ILUSTRACIÓN 15. MENÚ PRINCIPAL .....	38
ILUSTRACIÓN 16. SECCIÓN DATOS .....	40
ILUSTRACIÓN 17. SECCIÓN ESTADO DEL TANQUE .....	40
ILUSTRACIÓN 18. MENÚ GRAFICAS .....	41
ILUSTRACIÓN 19. GRAFICA TEMPERATURA CHILLER 2.....	41
ILUSTRACIÓN 20. GRAFICA CHILLER 1 .....	42
ILUSTRACIÓN 21.GRAFICA TEMPERATURA AGUA DE SUMINISTRO .....	42
ILUSTRACIÓN 22. GRAFICA TEMPERATURA AGUA DE RETORNO .....	43
ILUSTRACIÓN 23. SECCIÓN MODO CONTROL .....	44
ILUSTRACIÓN 30. ÁRBOL DE MACROS .....	65

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. METODOLOGÍA.....	23
TABLA 2.FUNCION BOMBA SISTEMA AHORRO DE ENERGÍA .....	32
TABLA 3.FUNCIÓN VÁLVULA PROPORCIONAL 2.....	32
TABLA 4.FUNCIÓN VÁLVULAS SOLENOIDES.....	33
TABLA 5.FUNCIÓN SENSOR DE NIVEL .....	33
TABLA 6.CALIBRACIÓN SAM SENSOR DE NIVEL.....	34
TABLA 7.LINEALIZACION SENSOR DE NIVEL.....	35

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** Comisión del sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.

**AUTOR(ES):** Jhon Alexander Vera Redondo.  
German Eduardo Bohorquez Cadena.

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Mecánica.

**DIRECTOR(A):** Gilberto Fontecha.

### **RESUMEN**

Proceso de comisión realizado para el sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de automatización y control. El objetivo del proyecto fue comisionar el montaje de un sistema de almacenamiento de energía controlado por PLC, siguiendo los lineamientos del diseño ya establecido, para permitir las pruebas de desempeño deseadas en el sistema. Además se implementó un sistema de control”, dicho sistema de manipulación se realizó con el programa “STEP 7” de “SIEMENS”, para facilitar su uso se habilitó la red Ethernet de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga que permite la comunicación entre el PLC y cualquier computador de la universidad que se encuentre conectado a la red. Para lograr este enlace se desarrolló una interfaz hombre máquina en Office Excel 2010, que permite el monitoreo y manipulación de las variables presentes en el sistema.

### **PALABRAS CLAVES:**

Comisionamiento, Ethernet, PLC, interfaz.

## **GENERAL SUMMARY**

**TITLE:** Comisión del sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.

**AUTHOR:** Jhon Alexander Vera Redondo.  
German Eduardo Bohorquez Cadena.

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica.

**DIRECTOR:** Gilberto Fontecha.

### **SUMMARY:**

The commission process made for energy storage system coupled to automation and control module, the objective of the project was commission the installation of a power storage system controlled by PLC, following the design guidelines already established, to allow do the test performance in the system, and implemented an automated control system, the system was performed with "STEP 7 " to "SIEMENS " also to ease use was enabled Ethernet network of the Pontificia Bolivariana University section Bucaramanga that allows communication between the PLC and any university computer that is connected to the network, to achieve this link was developed human machine interface in Office Excel 2010 that allows monitoring and manipulation of variables in the system.

### **KEY WORDS:**

Commission, Ethernet, PLC,interface.

## INTRODUCCIÓN

El almacenamiento de energía térmica<sup>1</sup> es una estrategia de operación en la cual se refrigera una cantidad de líquido a una temperatura determinada, la cual será aprovechada más adelante en el sistema de aire acondicionado. Dicha estrategia puede ser de almacenamiento parcial o total.

Esta estrategia se puede aplicar a ciertas industrias, en las que el valor de electricidad varía dependiendo si se consume en un horario pico, donde tiene un valor más alto, la principal estrategia de funcionamiento radica en que se pueden poner a funcionar los chillers<sup>2</sup> a plena carga durante la noche, para almacenar líquido (Agua) a 4 grados Celsius, y en el horario pico aprovechar esta energía almacenada para poner en funcionamiento el sistema de aire acondicionado.

El enfriamiento ocurre en el periodo de tiempo donde existe una baja demanda de electricidad (Horarios off-peak), el sistema de ahorro de energía del laboratorio de automatización y control consta de un sistema de almacenamiento en un tanque de 5000 litros, 2 chillers de 5 toneladas, interconexión de tuberías, bombas y un sistema de control.

Esta estrategia puede reducir significativamente los costos de operación, siendo más barato el consumo en horarios off-peak que en las horas picos.

El sistema de almacenamiento de energía es un proyecto de investigación que pretende ejecutar los aportes realizados por ASHRAE por el diseño, la

---

<sup>1</sup> ASHRAE. Chapter 2 Fundamentals design considerations. Design guide for cool thermal storage. Atlanta: Tullie circle, 1993, pag 9-61.

<sup>2</sup> Maquina que extrae el calor de cierto líquido por medio de una compresión de vapor o ciclo de refrigeración por absorción.

construcción y puesta en funcionamiento del mismo al ser acoplado al módulo de aire acondicionado de los laboratorios de automatización y control. Este proyecto se presentó a ASHRAE<sup>3</sup> con el fin de obtener recursos para poder llevarlo a cabo. Con este sistema de energía se pretende almacenar agua, en tanque de 5000 litros, a una temperatura de 7°C, este proceso se realizara en las horas de la noche, y el líquido almacenado será utilizado en las horas de la tarde para poner en funcionamiento el módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control, para manipular, monitorear y controlar, se realizara una plataforma HMI<sup>4</sup>, en el paquete de Office 2010, del sistema de almacenamiento de energía.

---

<sup>3</sup>American society of heating,refrigerating and air conditioningl engineers (Asociación Americana de calefacción, refrigeración y aire acondicionado.)

<sup>4</sup> Human Machine interface( interfaz hombre maquina)

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general.

Comisionar el montaje de un sistema de almacenamiento de energía controlado por PLC siguiendo los lineamientos del diseño ya establecido, para permitir las pruebas de desempeño deseadas en el sistema.

### 1.2 Objetivos específicos.

1. Apropiar el conocimiento requerido mediante la revisión de bibliografía y planos para saber bien qué se quiere determinar.
2. Realizar el montaje del sistema de almacenamiento de energía de acuerdo a los diseños requeridos y recomendaciones de ASHRAE.
3. Diseñar y programar la automatización del sistema de almacenamiento de energía agregándola a la ya existente (modulo de aire acondicionado).
4. Ejecutar pruebas mediante la operación del sistema en todos los modos requeridos y realizar los respectivos manuales de operación y mantenimiento.

## 2. ALCANCE

Los alcances de este proyecto comprenden el procedimiento y tareas necesarias para garantizar la correcta operación del sistema acoplado al módulo de aire acondicionado del laboratorio de control y automatización<sup>5</sup>, dichas tareas se realizarán durante las etapas de construcción, aceptación y post-aceptación.

Como resultado el sistema de almacenamiento de energía se pondrá en funcionamiento, dicho módulo será controlado por medio del PLC ya existente, el cual es el encargado del control del módulo de aire acondicionado y se le adicionará la programación del sistema de almacenamiento de energía, además de las memorias de construcción y manuales de operación y mantenimiento.

El sistema de almacenamiento de energía estará acoplado al módulo de aire acondicionado existente en los laboratorios de automatización y control de la Universidad Pontificia Bolivariana. Este módulo contará con un tanque aislado de poliuretano, una válvula proporcional, una bomba de agua ¼ HP, 4 sensores de temperatura, 1 sensor de nivel, tubería aislada en poliuretano y accesorios.

---

<sup>5</sup> DUARTE ORDUZ, Hernán Darío. Modulo de aire acondicionado de los laboratorios de automatización y control. Bucaramanga, 2008, 22 h. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El comisionamiento del sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de aire acondicionado de los laboratorios de automatización y control tiene como objetivo construir, automatizar y controlar el módulo por medio de PLC para así operarlo de acuerdo a las diferentes configuraciones requeridas y realizar las respectivas pruebas para garantizar el funcionamiento del mismo. Esto con el fin de tener un módulo completo para el desarrollo del proyecto de investigación acerca de los sistemas de almacenamiento de energía.

#### 4. ANTECEDENTES.

Un sistema de aire acondicionado debe garantizar la calidad del aire interior, satisfacer las necesidades de confort, debe ser implementado de una forma eficiente. En la Universidad Pontificia Bolivariana, por ejemplo, se llevó a cabo un comisionamiento para diseñar y construir un sistema de aire acondicionado para los laboratorios de automatización y control, transferencia de calor y diseño<sup>6</sup>.

El sistema de aire acondicionado consta de un sistema con capacidad térmica de 10 toneladas de refrigeración, dicha capacidad se proporciona a través de dos Chillers, con compresores tipo scroll, la red de agua se divide en dos circuitos, uno primario en el cual circula líquido por los chillers, y un circuito secundario, circula agua hasta los intercambiadores de calor de las máquinas acondicionadoras.

En los laboratorios de automatización y control se encuentra una unidad manejadora, y en los laboratorios de diseño y transferencia de calor se encuentra un fan coils por laboratorio, la unidad manejadora y los dos fancoils conforman el sistema de ventilación.

Dicho sistema de aire acondicionado se rige bajo el ciclo de compresión de vapor, el cual se caracteriza por tener un proceso de evaporación a baja temperatura y presión, y un proceso de condensación a líquido saturado a alta temperatura y presión.

---

<sup>6</sup> DUARTE ORDUZ, Hernán Darío. Modulo de aire acondicionado de los laboratorios de automatización y control. Bucaramanga, 2008, 22 h. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería.

El diseño de un sistema de aire acondicionado requiere principalmente de los siguientes componentes: un condensador, un dispositivo de expansión, un evaporador y un compresor, además de subsistemas y controles.

Para lograr que el proyecto fuese exitoso, el comisionamiento se dividió en diferentes fases, fase de construcción, de aceptación y post-aceptación.

En la fase de construcción fue en la que se planeó y ejecutó la construcción, montaje e instalación de los diferentes componentes del sistema, este proceso comenzó con la recopilación de información técnica del sistema y los equipos.

Culminada la fase de construcción se pasó a la fase de aceptación en la cual se hizo un seguimiento a cada una de las pruebas de funcionalidad de los componentes del sistema, además se entregó la documentación completa de las pruebas, manuales de mantenimiento y operación de cada uno de los componentes del sistema.

Se culminó con la etapa de post-aceptación, en la cual se realizaron las revisiones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, y se realizaron las pertinentes fichas técnicas y protocolos de prueba y arranque.

Para mayor información, dirigirse a la tesis de grado “Comisión del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control” del ingeniero mecánico Hernán Darío Duarte Orduz, de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Luego de tener en funcionamiento el sistema de aire acondicionado, se vio la necesidad de sustituir el operador humano por un operador artificial, el cual fuese el encargado de realizar las tareas físicas del sistema de aire acondicionado,

realizando una planeación y programación de estrategias de control, con ayuda del software STEP 7.

El área del laboratorio de automatización y control cuenta con un sistema de control de lazo cerrado o realimentado tipo PID, dicho sistema alimenta al controlador con una señal de error de actuación, dicha señal es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de alimentación, en este caso la señal de error es la cual se mide en el ducto de retorno, manipulando el valor de frecuencia, el cual a su vez manipula la velocidad del Blower, para mantener la temperatura en un rango determinado por el usuario.

Luego de realizar la programación en STEP 7, se desarrollo una interfaz hombre máquina, dicha interfaz se realizó en Microsoft Office Excel 2007, para lograr la comunicación entre el PLC y la interfaz hombre máquina fue necesario habilitar la red Ethernet interna de la Universidad Pontificia Bolivariana.

El programa se divide en seis secciones, las cuales son, diagrama en procesos, modo automático, modo manual, modo control, temperatura y gráficas, estas secciones se encuentran alojadas en una hoja de cálculo de Excel.

En la sección diagrama de proceso se encuentra un resumen general del sistema, una tabla de estado de cada uno de los componentes, esquemas , temperaturas , posee dos botones que permiten apagar el sistema y otro de parada de emergencia.

En la sección modo automático, se encuentran los datos referentes al modo automático, regido por la programación establecida, además están presentes botones encargados de controlar el funcionamiento del modo.

En la sección modo manual, se encuentran todos los datos referentes al modo manual, regido por la programación establecida, además están presentes botones encargados de controlar el funcionamiento del modo y cuatro celdas dispuestas para el ingreso de valores de variador de frecuencia 1 y 2, y válvula proporcional 1 y 2.

En la sección modo control, se encuentran todos los datos referentes al modo control, además están presentes botones encargados de controlar el funcionamiento del modo, y otra sub-sección en la que están ubicadas las opciones para la sintonización de PID.

En cada una de las secciones anteriormente descritas, la activación del modo y cualquiera de las opciones, aparte de las referentes a la visualización están condicionadas por el ingreso de las contraseñas, propias de cada área, es decir, cada laboratorio posee una única contraseña, para la parada de emergencia es requerida otra contraseña independiente a los laboratorios, la cual se encuentra especificada en el manual de operación del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga.

En la sección de temperaturas se presentan los valores de las temperaturas del sistema, dichos valores son: Temperatura chiller 1, Temperatura chiller 2, Temperatura Ducto Retorno, Temperatura Ducto Suministro, Temperatura agua de retorno, Temperatura agua de retorno UMA-S1, Temperatura agua de retorno UMA-S2, Temperatura agua de retorno Fancoil 1, Temperatura agua de suministro Fancoil 2.

Esta sección sólo está dispuesta para la visualización de datos, por lo cual no tiene asignada ninguna celda de escritura o control de mando.

Con dicha interfaz y la adaptación de cada uno de los componentes del módulo, partes mecánicas y electrónicas se obtuvo un sistema automatizado cuyo funcionamiento es controlado por las instrucciones dadas por la programación de un PLC, que a su vez es controlado por un programa creado en STEP 7, el cual permite encender, apagar y controlar el módulo de aire acondicionado.

Para mayor información diríjase a la tesis de grado “Automatización del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control” del ingeniero mecánico David Antonio Espeleta Ríos, de la Universidad Pontificia Bolivariana.

## 5. MARCO TEÓRICO.

### 5.1 Sistemas de almacenamiento de energía.

Los sistemas de almacenamiento de energía (TES)<sup>7</sup> son aplicables en la mayoría de instalaciones comerciales e industriales teniendo en cuenta una serie de criterios para garantizar la viabilidad de los mismos. Estos sistemas se utilizan como estrategias para que el consumo de energía se realice en horarios donde el valor de ésta sea menor, estos horarios son en la noche, en los cuales el sistema estará en total funcionamiento para cumplir con la demanda de la carga del aire acondicionado según las configuraciones establecidas.

Estos sistemas de almacenamiento cuentan con un tanque de almacenamiento, interconexión entre tuberías, bombas, válvulas y controles de temperatura, nivel etc, como se observa en la ilustración 1.

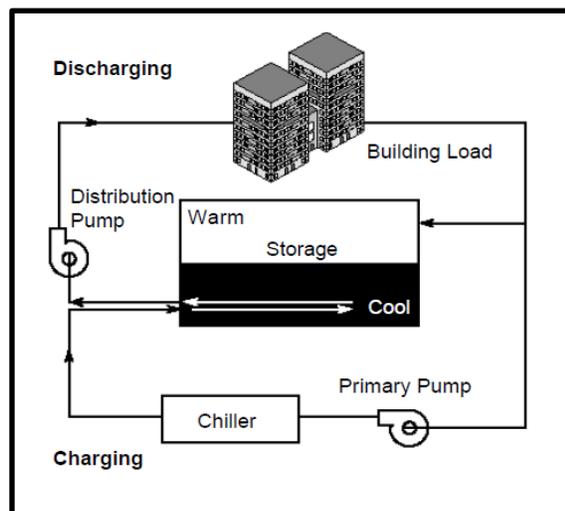


Ilustración 1. Tomado de Thermal Storage strategies for comercial HVAC systems, pag 2.

<sup>7</sup> ASHRAE. Introduction. Design Guide for cool thermal storage. Atlanta: Tullie circle, 1993, pag 1-8.

Existen diferentes medios de almacenamiento de energía tales como agua, hielo o materiales de cambio de fase, los cuales difieren en sus características de operación y requerimiento físicos para el almacenamiento, también se encontró otras tecnologías de almacenamiento como tanques de agua, sistemas de hielo y materiales de cambio de fase.

El almacenamiento de agua fría es un sistema que utiliza el calor sensible del agua para mantener el enfriamiento, en este caso el volumen del depósito depende del diferencial de temperatura entre el agua almacenada y el agua que vuelve de la carga, este diferencial de temperatura debe ser razonable para poder mantener el enfriamiento en el tanque.

Para este sistema el volumen del tanque se ve afectado por tener que mantener el agua fría y el agua caliente de retorno, esta estratificación es el principal estudio, debido a que esto genera bajos costos y un rendimiento superior, el agua fría permanece en el fondo del tanque y el agua caliente, que es ligera, se establece en la parte superior. También podemos añadir que en este tipo de sistemas se utilizan difusores especiales con el fin de que al entrar y salir el agua, la mezcla sea mínima. Una variable importante en este sistema es la figura de mérito, ésta indica el porcentaje del volumen total que estará disponible para proporcionar un óptimo enfriamiento.

Otro de los sistemas utilizados es el de almacenamiento de hielo, el cual consiste en aprovechar el calor latente de fusión del agua, el volumen de almacenamiento se encuentra entre un rango de 2,4 a 3,3 pies cúbicos por tonelada-hora. Este tipo de sistema depende de la tecnología de almacenamiento, entonces se pueden utilizar máquinas especiales de fabricación de hielo o equipos estándares enfriadores que trabajen a bajas temperaturas. El intercambio de calor se hace por

medio del mismo fluido o a través de algún refrigerante para este caso como el glicol o alguna solución anticongelante.

Con las bajas temperaturas del hielo podemos proporcionar aire de menor temperatura para la refrigeración, al enfriar el agua a bajas temperaturas podemos suplir la oferta disponible para el almacenamiento del hielo permitiendo una elevación de temperatura de carga. Algunas de las siguientes tecnologías son usadas para este sistema:

**Producción de hielo:** Consiste en producir hielo por medio de un evaporador de superficie y se libera periódicamente en un tanque que contiene agua. El agua es bombeada desde el tanque para cumplir con el acondicionamiento.

**Fusión externa en espiral:** Consiste en formar hielo en tuberías sumergidas o tubos a través del cual circula una especie de refrigerante. El almacenamiento es descargado por medio de la circulación de agua que rodea los tubos.

**Fusión interna en espiral:** La formación del hielo es igual que en la externa, lo que cambia es que al realizar la circulación de refrigerante caliente a través de los tubos, el hielo se derrite desde el interior.

**Hielo encapsulado:** El agua se introduce dentro de contenedores plásticos sumergidos y se congela, luego por medio de la circulación del refrigerante frío o caliente a través del tanque donde se encuentran los contenedores, se produce el deshielo.

**Hielo de compuesto acuoso:** Agua en una solución de agua/glicol se congela en una sustancia parecida al hielo dentro de un cono y se bombea hacia el tanque de almacenamiento.

Los sistemas de almacenamiento de energía son estrategias de funcionamiento que se clasifican dependiendo de la cantidad de carga de enfriamiento en almacenamiento total o parcial, estas estrategias operan cuando las cargas de diseño incluyen prioridad al enfriador y prioridad al control del almacenamiento.

Los sistemas de almacenamiento de frío son generalmente grandes para poder proporcionar enfriamiento durante las 24 horas del día, teniendo en cuenta las cargas que se presenten en ese periodo. El periodo durante el cual el sistema tiene que reducir su demanda de energía eléctrica se llama on-peak(sobre pico).

Almacenamiento total: Funciona el sistema con su máxima capacidad de carga de almacenamiento durante horas no pico. En esta estrategia cuando se encuentra en on-peak todas las cargas de refrigeración se almacenan y los chillers no trabajan, se requieren grandes chillers y capacidades de almacenamiento.

Según Ashrae, las estrategias de almacenamiento se dividen en:

Almacenamiento parcial: Con esta estrategia la capacidad de los chillers es menor para la cual la carga está diseñada. Los chillers encuentran parte de la carga en on-peak y la otra parte la encuentra el almacenamiento. Esta estrategia se puede dividir en nivelación de carga y demanda de limitación.

En una estrategia de nivelación de carga el sistema opera con la capacidad total durante 24 horas, entonces cuando la carga es menor que la de la salida del chiller entonces esta restante se almacena y cuando la capacidad excede la del chiller, la carga adicional es descargada desde el almacenamiento.

La otra estrategia de demanda de limitación es donde el chiller trabaja a una capacidad reducida, esta estrategia se sitúa entre el desplazamiento de la carga y la nivelación de la carga, se debe tener cuidado en no agotar el almacenamiento antes de que llegue el final del on-peak.

Los sistemas de almacenamiento de energía reducen el consumo de energía, la distribución del agua fría puede permitir usar bombas más pequeñas y menos potencia en los ventiladores para circular pequeñas cantidades de aire a través de los serpentines de enfriamiento, cuando los chillers trabajan constantemente carga total, esto hace que la eficiencia aumente, además de operar en la noche cuando la temperatura del ambiente es más baja. Ésto causa que la temperatura del condensador disminuya y el consumo de energía sea menor.

Sin embargo estos sistemas no siempre garantizan el ahorro de energía, como por ejemplo al comparar un sistema de hielo el cual consume más energía que un sistema directo de enfriamiento. Aunque se debe tener en cuenta que si se quiere ahorrar en gastos de energía la idea es operar en off-peak, es decir en la noche donde la demanda de energía es menor y el precio también.

## 5.2 Comisionamiento.

El proceso sistemático para garantizar, que los sistemas que conforman un nuevo proyecto, interactúen entre sí de acuerdo con los documentos del proceso de documentación, diseño y construcción, se conoce como comisionamiento<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> AABC Comissioning group.ACG commissioning guideline. Washington DC, 2000. Pag.145. 0-910289-04-2.

Cuyos beneficios incluyen la reducción en el costo de operación, una mejor documentación del proyecto, un aumento significativo en la productividad, minimiza los efectos en el cambio del diseño y no retrasa el proyecto.

Un proceso de comisionamiento consta de 5 fases importantes, pre diseño, diseño, construcción, aceptación y post aceptación, las cuales se explicaran a continuación.

#### 5.2.1 Fase Pre diseño.

En esta primera fase, se debe planear los alcances del proyecto, que es lo que se desea lograr, los costos y beneficios del mismo.

#### 5.2.2 Fase diseño.

En esta fase es tiempo, de asegurar que tanto los documentos de diseño y construcción incluyen la información necesaria para la puesta en marcha del comisionamiento, y así garantizar el éxito de las siguientes etapas.

#### 5.2.3 Fase de construcción.

El plan de puesta en marcha, se lleva a cabo en esta fase, en la cual debe existir una interacción entre el equipo de construcción y el grupo encargado del comisionamiento, la comunicación entre estos equipos representa la piedra angular del éxito del proyecto.

Se debe apoyar la puesta en marcha del comisionamiento, así como planificar y coordinar la planeación de la ejecución del proyecto, estar pendiente de los diferentes componentes del sistema y coordinar el arranque del mismo.

#### 5.2.4 Fase de aceptación.

Esta fase incluye pruebas de desempeño del sistema, además de una documentación completa incluyendo los manuales de operación y mantenimiento, así como el entrenamiento del personal a cargo.

#### 5.2.5 Fase de Post aceptación.

El proceso de comisionamiento no culmina, hasta que se resuelvan todos los problemas de la construcción y montaje, logrando la satisfacción del cliente.

#### 5.3 Automatización y control.

La manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro llamado sistema de control, se define como control<sup>9</sup>.

El objetivo de un sistema de control es el de gobernar la respuesta de una planta, sin que el operador intervenga directamente, por consiguiente el operador manipula señales de consigna y el sistema gobierna unos accionamientos que son los que realmente regulan la potencia entregada a la planta, como se ve en la ilustración 2.

---

<sup>9</sup> MARTIN, Juan Carlos. GARCIA, María Pilar. Automatismos industriales Edición 1<sup>ra</sup>. Madrid: Editex, 2009. 362 h.

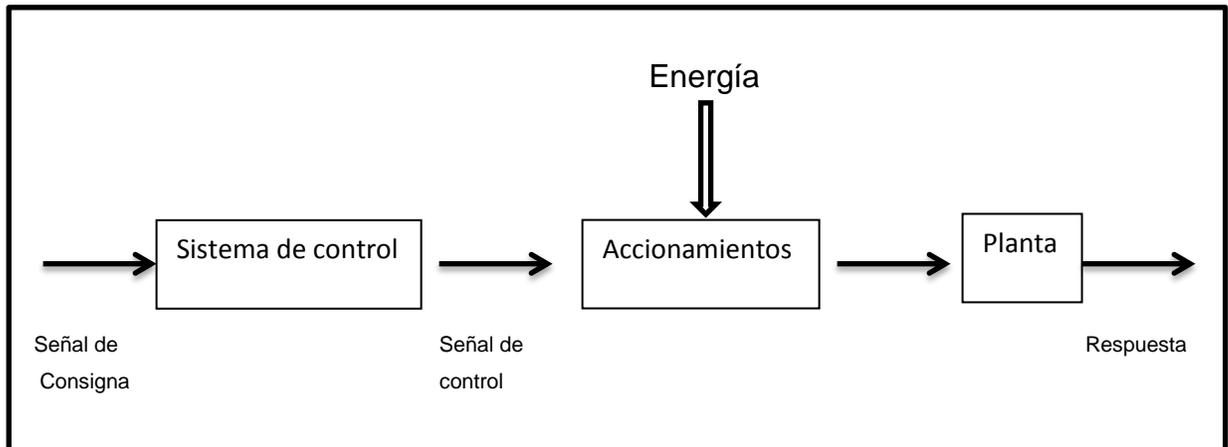


Ilustración 2.Sistema en lazo abierto

Fuente. Autor del proyecto.

Como el sistema de control no recibe ningún tipo de información, del comportamiento de la planta se denomina en lazo abierto.

Lo habitual es que el sistema de control se encargue de la toma de decisiones, para ello se requiere de la existencia de unos sensores que detecten el comportamiento de dicha planta, y de una interfaz que adapte la señal de los mismos, para crear una estructura con una cadena directa y una realimentación, formando un lazo de control, este tipo de sistemas se conocen como sistema de lazo cerrado, como se ve en la ilustracion3.

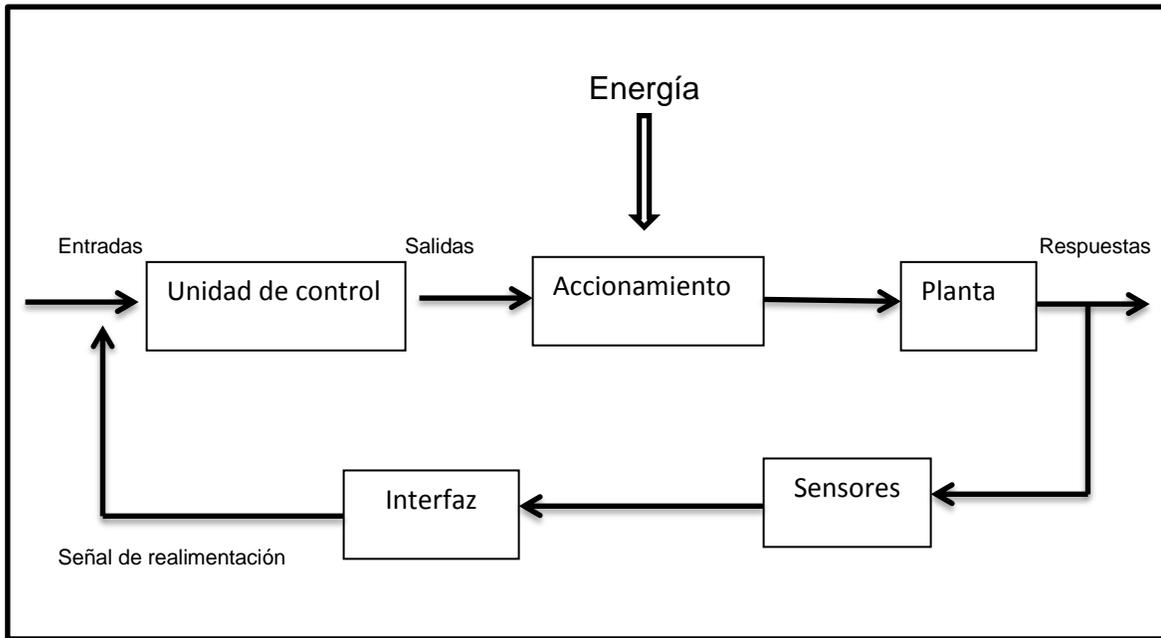


Ilustración 3. Sistema en lazo cerrado

Fuente. Autor del proyecto.

El dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada se conoce como un transductor.

Los cuales suelen tener la estructura general mostrada en la ilustración 4.

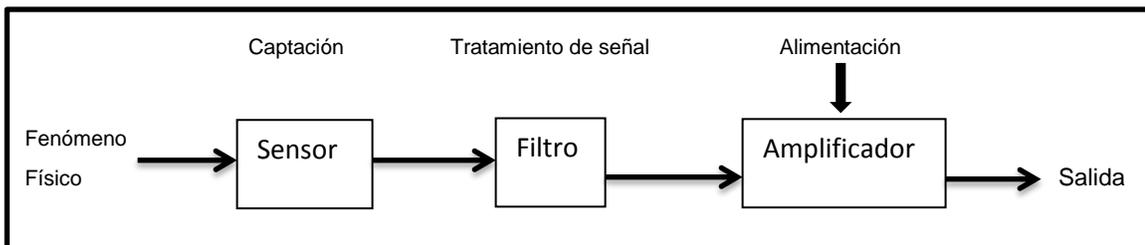


Ilustración 4. Estructura transductor

Fuente. Autor del proyecto.

El sensor, convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones eléctricas o magnéticas, las cuales se denomina señal.

El tratamiento de señal, consiste en filtrar, amplificar, linealizar y modificar la señal obtenida por el sensor.

En la etapa de salida se adapta la señal a la necesidad de la carga exterior.

#### 5.4 Lenguaje KOP<sup>10</sup>

Tipo de lenguaje utilizado para realizar la programación en “STEP 7”. Se caracteriza por tener diversos segmentos y cada uno debe terminar en una asignación de un valor a una bobina (Salida) o una marca (Variable Auxiliar), la representación lógica en KOP es muy parecida a la representación de un esquema de cableado, por tener contactos normalmente abiertos y cerrados.

---

<sup>10</sup>MARTIN, Juan Carlos. GARCIA, María Pilar. Automatismos industriales Edición 1<sup>ra</sup>. Madrid: Editex, 2009. 362 h.

## 6. METODOLOGÍA

Para el proceso de comisión del módulo se tendrán en cuenta específicamente las fases mostradas en la tabla1.

Fase	Actividades
Construcción	Revisar el diseño
	Coordinación de la planeación de ejecución del proyecto.
	Verificar los equipos y componentes del sistema
	Coordinación y documentación del arranque del sistema.
	Recopilación de datos, manuales de operación, catálogos e información general del sistema.
Aceptación	Seguimiento de las pruebas requeridas para certificar, que el sistema cumple con lo especificado.
	Entrenamiento del personal a cargo de la operación el sistema.
	Documentación completa del proyecto incluyendo manual de operación y mantenimiento.
Post-Aceptación	Verificación corrección de cualquier deficiencia encontrada y repetición de pruebas.

Tabla 1. Metodología

Fuente Autor del proyecto.

El comisionamiento del sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de aire acondicionado de los laboratorios de automatización y control, se

desarrolló con base a la metodología de trabajo descrita anteriormente, que se documenta en en el capítulo del libro que se presenta a continuación.

## **7. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.**

### **7.1 Construcción.**

En la fase de construcción del proyecto se planeó el montaje y ejecución de todos los equipos que componen el sistema de almacenamiento de energía, acoplado al módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control. Las partes que intervinieron en este proceso de construcción fueron: la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, con el apoyo de servicios generales.

Basados en un esquema inicial, se sugeriría acoplar el módulo de aire acondicionado al anillo principal y con ayuda de una bomba tomar el agua enfriada por los chillers, para almacenarla a una temperatura entre 8°C y 9°C, con el fin de poner en funcionamiento el módulo de aire acondicionado existente con los chillers apagados, como se ve en la ilustración 5.

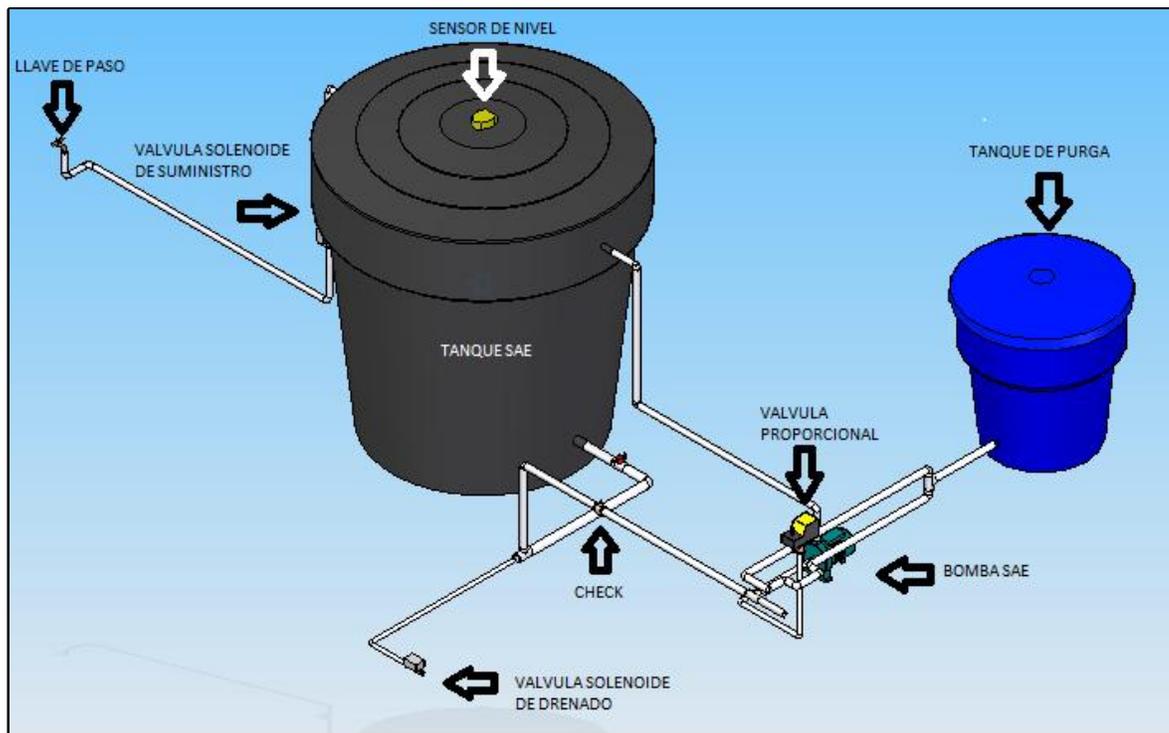


Ilustración 5. Sistema de almacenamiento de energía.

Fuente. Autor del proyecto.

El proceso comenzó, con la adquisición y recopilación de documentos sobre las estrategias para el almacenamiento de energía según ASHRAE, y la recopilación de toda la información técnica de los equipos y componentes del sistema, con dicha información y las necesidades de la facultad de ingeniería mecánica, se dio comienzo a ejecución del proyecto.

A continuación se describe, la secuencia del montaje y construcción del sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.

1. Ubicación de la base, para el montaje de la bomba centrífuga PEDROLLO (Ficha técnica, pág. 10, Manual de mantenimiento ACSAE-M).



Ilustración 6. Bomba pedrollo

Fuente. Autor del proyecto.

2. Instalación de la válvula proporcional (Ficha técnica, pág. 15, Manual de mantenimiento ACSAE-M) y tubería, que permite la comunicación del módulo de aire acondicionado del laboratorio, con el sistema de almacenamiento de energía.



Ilustración 7. Válvula proporcional tres vías

Fuente. Autor del proyecto.

3. Adecuación e instalación de las válvula solenoides de admisión y desagüe(Ficha técnica, pág. 22 , Manual de mantenimiento ACSAE-M) del tanque de almacenamiento de agua.



Ilustración 8.Valvula solenoide

Fuente Autor del proyecto.

4. Instalación accesorios y tubería (Ficha técnica, pág. 28-30, Manual de mantenimiento ACSAE-M) para el drenado del tanque almacenamiento de agua.



Ilustración 9.Tuberia drenado del tanque

Fuente. Autor del proyecto.

5. Instalación y acople de tubería, para llenado del tanque de almacenamiento (Ficha técnica, pág. 18, Manual de mantenimiento ACSAE-M).



Ilustración 10. Acople tubería llenado del tanque

Fuente. Autor del proyecto.

6. Instalación sensor de nivel (Ficha Técnica, pág. 34, Manual de mantenimiento ACSAE-M), tapa superior tanque almacenamiento 5000 litros.

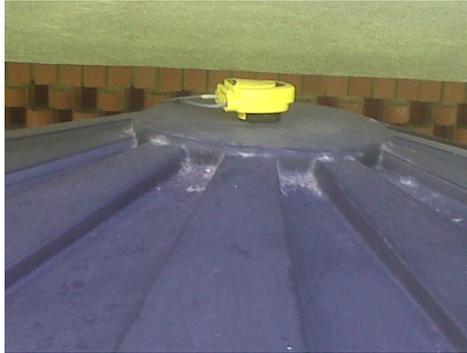


Ilustración 11. Sensor de nivel

Fuente. Autor del proyecto.

## 7. Cableado y conexiones equipos de control y automatización.



Ilustración 12. Cableado y conexiones PLC

Fuente. Autor del proyecto.

## 7.2 Aceptación.

En la etapa de aceptación, fue en la cual se llevó a cabo cada una de las pruebas de funcionalidad de los equipos, y se realizaron los cambios pertinentes, tales como la instalación del Cheque, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y cada uno de los componentes, cada una de las pruebas realizadas, así como los aciertos y errores, que se presentaron durante el proceso de comisionamiento se encuentran consignados en la bitácora ACSAE-B.

La información técnica de cada uno de los componentes del sistema se encuentra registrada en las fichas técnicas, Manual de mantenimiento ACSAE-M.

La documentación entregada, además de la bitácora y las fichas técnicas, contiene el manual de arranque y parada del sistema de ahorro de energía acoplado al aire acondicionado y el manual de mantenimiento, estos documentos se encuentran consignados en el anexo “ Manuales de operación y mantenimiento”.

Durante la etapa de mantenimiento, se realizaron diversas pruebas sobre la claridad del manual de arranque y parada del sistema de ahorro de energía acoplado al aire acondicionado; estas pruebas consistían en poner a los estudiantes presentes en el laboratorio de vibraciones a encender y apagar de forma correcta el aire acondicionado según el protocolo consignado en el manual de mantenimiento. Con dichas pruebas se realizaron una serie de cambios en el manual.

### 7.3 Post aceptación.

En la etapa de post-aceptación se llevó a cabo la elaboración del manual de arranque y parada del sistema de ahorro de energía acoplado al aire acondicionado, y las fichas técnicas que contienen los datos técnicos tomados de los manuales y catálogos del fabricante, y datos y observaciones realizado durante todo el proceso de comisionamiento.

## **8. DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN.**

En la automatización del proyecto fue en la que se desarrolló la programación del PLC en el programa “Step 7” y la interfaz HMI-SAE en Office 2010.

El proceso comenzó con la adquisición de información, sobre el lenguaje de programación KOP, utilizado en el programa “STEP 7”, y el protocolo para realizar la comunicación entre Windows y el PLC, vía Ethernet.

La siguiente fue la secuencia de la programación en “Step 7”, comunicación vía Ethernet y desarrollo de la interfaz en Office 2010.

### 8.1 Descripción de los elementos funcionales.

ELEMENTO	BOMBA SISTEMA AHORRO DE ENERGÍA
Función	La bomba conduce el agua, del sistema hidráulico primario, al tanque de 5000 litros, para su almacenamiento, para luego recircular y completar el circuito.
Control	La bomba se controla con un relé para activar o desactivar el circuito de potencia, por medio de un circuito ON-OFF.
Condiciones de funcionamiento.	Activación y desactivación por el PLC.

Tabla 2. Función bomba sistema ahorro de energía

Fuente. Autor del proyecto.

Elemento	Válvula proporcional 2.
Función.	La válvula permite y regula, la cantidad de agua que se almacena en el tanque de 5000 litros.
Control.	Valor de apertura enviado por el PLC.
Condiciones de funcionamiento.	Activación y desactivación por el PLC.

Tabla 3. Función válvula proporcional 2

Fuente. Autor del proyecto.

Elemento	Válvula solenoide admisión y drenado del tanque.
Función.	La válvula permite llenar y drenar el tanque de 5000 litros hasta un nivel de líquido deseado
Control.	La válvula se controla con un relé para activar o desactivar el circuito de potencia, por medio de un circuito ON-OFF.
Condiciones de funcionamiento.	Activación y desactivación por el PLC.

Tabla 4.Función válvulas solenoides

Fuente. Autor del proyecto.

Elemento	Sensor de nivel.
Función.	El sensor de nivel permite conocer, el nivel en el cual se encuentra el tanque de 5000 litros.
Control.	Valor de nivel enviado al PLC.
Condiciones de funcionamiento.	Activación y desactivación por el PLC.

Tabla 5.Función censor de nivel

Fuente. Autor del proyecto.

## 8.2 Calibración de instrumentos.

### 8.2.1 Sensor de nivel.

El sensor de nivel se encuentra conectado directamente al PLC, y tiene una alimentación externa, con una fuente de 24 Voltios, como es un sensor de nivel ultrasónico, los valores son variables.

El sensor de nivel ultrasónico, transforma la señal de nivel, en un valor que varía de 4ma a 20 ma, por consiguiente fue necesario, ajustar el spam, como se observa en la tabla 6.

Corriente (ma)	Longitud (cm)
4	5
20	140

Tabla 6. Calibración Sam sensor de nivel

Fuente. Autor del proyecto.

La configuración del sensor de nivel, indica que para un nivel de 35 cm está configurada por el valor Decimal de 21520, y para un valor de nivel 140 cm está configurado por el valor Decimal de 0, obteniéndose los siguientes datos, como se observa en la tabla 7.

Valor decimal	Altura (cm)
21520	35
0	140

Tabla 7. Linealización sensor de nivel

Fuente. Autor del proyecto.

Al realizar una regresión lineal, se obtiene la gráfica de la ilustración 12, donde:

X= Valor decimal

Y=Valor esperado de nivel (Cm)

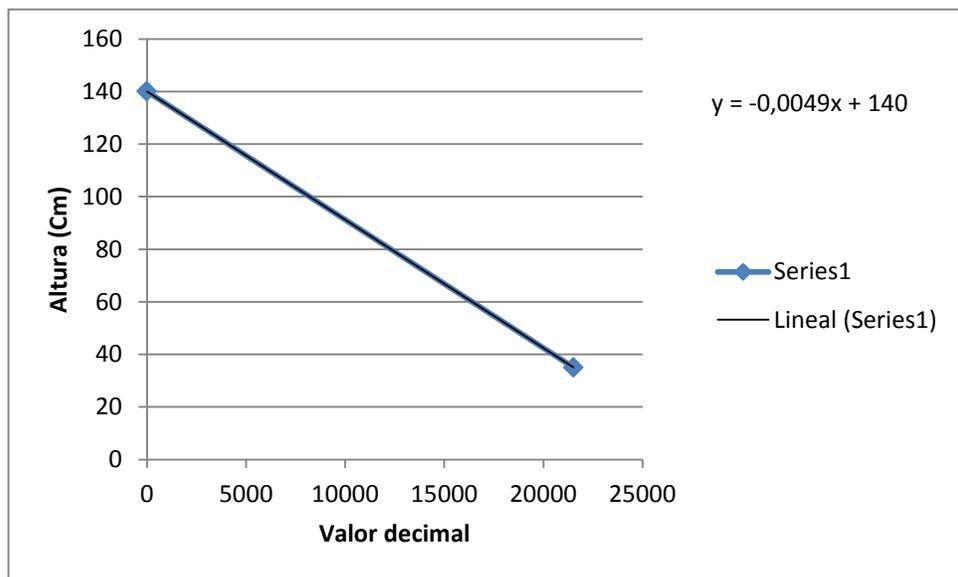


Ilustración 13. Linealización sensor de nivel.

Fuente. Autor del proyecto.

Por consiguiente, cuando el nivel del tanque, se encuentra a 50 Cm, respecto al sensor de nivel, él envía un valor de 9,3324 Amperios, y da como resultado un valor decimal de 22448,9795.

### 8.2.2 RTD.

El cálculo de las RTD PT100, se realizó en base a los cálculos realizados, por el ingeniero mecánico David Antonio Espeleta, en su trabajo de grado Automatización del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.

Dando como resultado la ecuación

$$Y = \frac{\text{Dato adquirido por el PLC}}{100}$$

### 8.2.3 Válvula proporcional.

Para la linealización de los datos que se le enviaran a la válvula proporcional se realizó en base a los cálculos realizados, por el ingeniero mecánico David Antonio Espeleta, en su trabajo de grado Automatización del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.

Dicho proceso dio como resultado la ecuación.

$$Y = 276,48X$$

### 8.3 Programación “Step 7”, de “Siemens”.

La programación, se realizó en lenguaje de programación KOP, luego de realizar una completa documentación, acerca de los diferentes tipos de leguajes, por medio de esta, se pudo manipular la válvula proporcional, encender y apagar la bomba, leer los datos de temperatura, medido por la RTD.

La depuración del programa se realizó, con la opción, del programa llamada, comprobación de la coherencia de bloques, explicada, en el proyecto de grado del ingeniero David Antonio Espeleta.

### 8.4 Desarrollo de la interfaz.

La interfaz hombre máquina fue desarrollada en Office 2010, con un modo para realizar el encendido del aire acondicionado; activando o no el sistema de almacenamiento de energía, además de escoger un nivel deseado, para el agua almacenada en el tanque de 5000 litros.

Para una completa visualización y control del sistema de aire acondicionado, la interfaz cuenta con una ventana de bienvenida en la cual se muestra el nombre de las personas que participaron en el desarrollo de la interfaz y el nombre de la HMI-SAE, y un botón continuar ( Ilustración 14) el cual lo dirige a un menú principal (Ilustración 15), que permite visualizar las temperaturas, en puntos específicos del sistema, encender y manipular el aire acondicionado, controlar el nivel del tanque, estado de las válvulas solenoides, y

observar los datos tomados por el PLC, como se muestra a continuación.

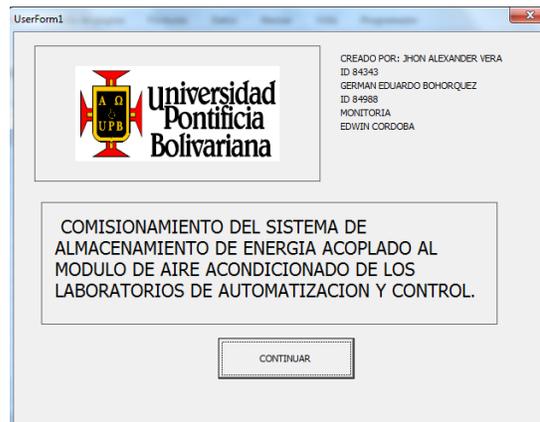


Ilustración 14. Cuadro de bienvenida

Fuente. Autor del proyecto.



Ilustración 15. Menú principal

Fuente. Autor del proyecto.

El manual de operación, del sistema de almacenamiento de energía acoplado al módulo de aire acondicionado de los laboratorios de automatización y control cuenta con las especificaciones, para lograr el encendido correcto y manipulación del aire acondicionado.

A continuación se especificaran, cada una de las secciones del menú principal.

### 8.4.1 Sección datos.

En esta sección del programa se almacenan los datos, de temperatura en función del tiempo, además se encuentra el tiempo en el cual se quiere que se realice el muestreo (Por defecto 30 Segundos). También, se encuentra el nivel del tanque, el estado de las válvulas solenoides, bombas, UMA, chillers incluidos valores de las válvulas proporcionales y los variadores de frecuencia, y sus respectivas conversiones en formato IEEE, para poder ser enviados al PLC, como se observa en la ilustración 16.



TEMPERATURAS					
TEMPERATURA TANQUE ALMACENAMIENTO	TEMPERATURA CHILLER1	TEMPERATURAS CHILLER2	TEMPERATURA BUCTO DE RETORNO	TEMPERATURA AGUA SUMINISTRADA	
327,67	23,42	25,26	24,71	25,76	

TIEMPO (hh:mm:ss)	TT1	TT2	TT3	TT4	TT5
	C	C	C	C	C
03/12/2010 15:36	327,67	23,4182632	24,08299312	24,89	26,7
03/12/2010 15:36	327,67	23,4182632	24,08299312	24,71	26,64
03/12/2010 15:36	327,67	23,34440432	26,44647728	24,71	26,46
03/12/2010 15:36	327,67	23,4182632	26,44647728	24,85	26,46
03/12/2010 15:36	327,67	23,4182632	24,08299312	24,93	26,7
03/12/2010 15:36	327,67	23,4182632	25,2647352	24,71	26,76

NIVEL SEGURIDAD		160
VALOR SENSOR DE NIVEL		109,0447536
ESTADO SOLENOIDE DRENA		0 OFF
ESTADO SOLENOIDE ADMIS		0 OFF

CELDA CONTROL	0	PEV306	8120,00
SETPOINT	10		
T MUESTREO	30	PEV288	8320,00
INICIO			
FIN			

NIVEL TANQUE	109,0448
NIVEL BAJO	33,77
NIVEL MEDIO	78,77
NIVEL ALTO	108,77

OBJETO	DECIMAL	HEXADECIMAL	IEEE
VARIADOR DE FRECUENCIA 1	0	00 00 00 00	0
VARIADOR DE FRECUENCIA 2	0	00000000	0
VALVULA PROPORCIONAL 1	0	00 00 00 00	0
VALVULA PROPORCIONAL 2	0	00000000	0

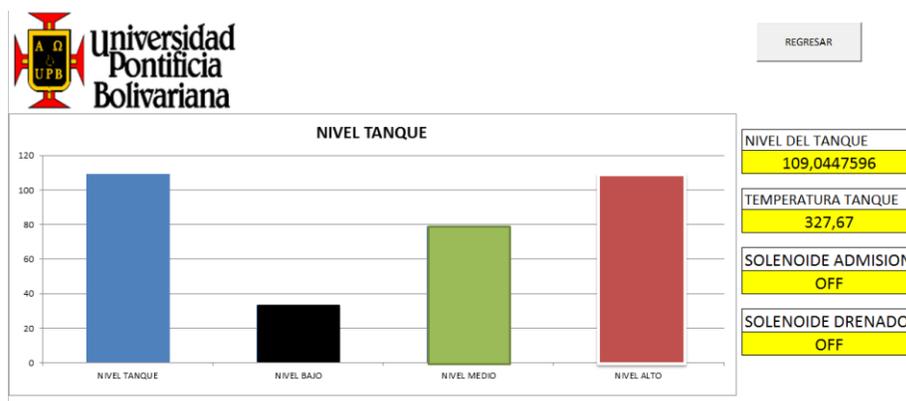
OBJETO	ESTADO	ON	OFF
ALTO	1	1	0
MEDIO	0		
BAJO	0		
BOMBA SISTEMA AHORRO	0		
BOMBA1	0		

### Ilustración 16. Sección datos

Fuente. Autor del proyecto.

#### 8.4.2 Sección estado del tanque.

En esta sección del programa se puede monitorear el estado del tanque, se observa cómo varía el nivel en función del tiempo. En la ilustración 17 se ven los diferentes niveles (Alto, medio y bajo) y se encuentra la temperatura a la cual se encuentra el tanque, y el estado de las válvulas solenoides, las cuales se activan o desactivan dependiendo el nivel del tanque, como se observa en la ilustración 17.



### Ilustración 17. Sección estado del tanque

Fuente. Autor del proyecto.

#### 8.4.3 Sección gráficas

En esta sección del programa, aparece una nueva ventana ( Ilustración 18) la cual le permite observar el comportamiento de la temperatura en función del tiempo, en puntos estratégicos del sistema, tales como el tanque de almacenamiento, los

chillers, ducto de retorno y el agua de suministro, además el menú tiene una opción que permite regresar al menú principal.



Ilustración 18. Menú graficas

Fuente. Autor del proyecto.

En la ilustración 19 se observa el comportamiento del chiller 2, el cual está configurado para ponerse en funcionamiento cuando la temperatura a la salida del mismo sea mayor de 15<sup>o</sup>c

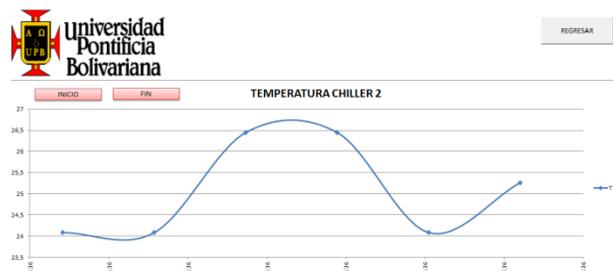


Ilustración 19. Grafica temperatura chiller 2

Fuente. Autor del proyecto.

En la ilustración 20 se observa el comportamiento de la temperatura a la salida del Chiller1, el cual está programado para bajar la temperatura y mantenerla constante a 8°C.

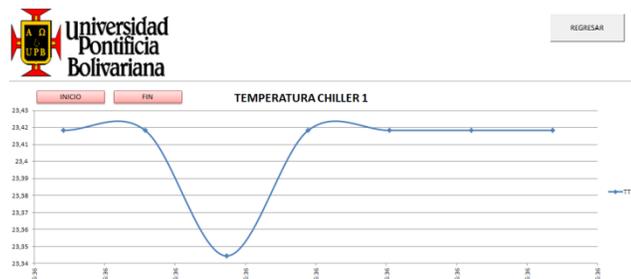


Ilustración 20. Grafica chiller 1

Fuente. Autor del proyecto.

En la ilustración 21 y 22 se puede observar el comportamiento de la temperatura de suministro y módulo de aire acondicionado en función del tiempo.



Ilustración 21. Grafica temperatura agua de suministro

Fuente. Autor del proyecto.



Ilustración 22. Grafica Temperatura agua de retorno

Fuente. Autor del proyecto.

#### 8.4. Sección modo control.

En esta sección del programa se puede escoger el nivel con el cual se desee trabajar, el tanque de almacenamiento, poner en funcionamiento el sistema de aire acondicionado en cualquier configuración, ya sea en modo normal, o acoplado con el sistema de ahorro de energía, desde esta sección se pueden encender o apagar, las bombas, los chillers, fancoil, UMA, entre otros componentes del módulo del aire acondicionado, como se observa en la ilustración 23.



REGRESAR

NIVEL ALTO=108.77CM		ESTADO	NIVEL MEDIO=78.77 CM		ESTADO	NIVEL BAJO=33.77 CM		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>

BOMBA SISTEMA AHORRO ENERGIA		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

BOMBA 3		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

BOMBA 1		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

CHILLER		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

BOMBA 2		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

UMA		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

VARIADOR DE FRECUENCIA BOMBA VF1		VALOR	<input type="button" value="ENVIAR"/>
		0	

VARIADOR DE FRECUENCIA UMA VF2		VALOR	<input type="button" value="ENVIAR"/>
		0	

VALVULA PROPORCIONAL LABORATORIO		% AP	<input type="button" value="ENVIAR"/>
		0	

VALVULA PROPORCIONAL TANQUE		% AP	<input type="button" value="ENVIAR"/>
		0	

NIVEL MEDIDO		CM
		108.878

TEMPERATURAS	TT1	327.67
	TT2	23,492122
	TT3	25,264735
	TT4	24.83
	TT5	26.58

LABORATORIOS								
TRANSFERENCIA 1		ESTADO	TRANSFERENCIA 2		ESTADO	DISEÑO		ESTADO
<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="OFF"/>

Ilustración 23. Sección modo control

Fuente. Autor del proyecto.

## CONCLUSIONES

1. El sistema de almacenamiento de energía, instalado en el laboratorio de automatización y control cuenta con las especificaciones y recomendaciones según ASHRAE, ya que el sistema de almacenamiento de energía toma el agua a baja temperatura, la almacena en un tanque de 5000 litros manteniendo su temperatura constante. Ésta puede ser utilizada para alimentar el módulo de aire acondicionado, con los chillers apagados, con lo que se logra la unión del módulo de aire acondicionado y el sistema de almacenamiento de energía, permitiendo realizar diversas pruebas, en la configuración deseada , ya sean modo tanque, modo refrigeración y configuración normal.
2. El proceso de automatización del sistema de almacenamiento de energía se desarrolló a cabalidad, ya que cuenta con un lenguaje de programación KOP que permite el cambio de estado de las diferentes variables manipuladas, gracias a representación similar a un esquema de cableado, desarrollado en el software STEP 7 de SIEMENS, acoplada a la ya existente del módulo de aire acondicionado, además de una interfaz HMI amigable con el usuario con la cual se puede manipular y monitorear el sistema de almacenamiento de energía de forma remota desde cualquier punto del campus universitario, permitiendo realizar la toma de datos y análisis de los mismos.

La finalidad de la interfaz HMI, es manipular el sistema de almacenamiento de energía de forma remota desde cualquier punto del campus universitario, permitiendo realizar la toma de datos y análisis de los mismos.

3. Se desarrolló una serie de manuales de mantenimiento y operación, con los cuales se puede poner en funcionamiento el sistema de almacenamiento de energía, los manuales cuentan con la información necesaria y clara que permite la puesta en marcha del módulo de aire acondicionado.

Los manuales fueron puestos a prueba con dos usuarios ocasionales quienes lograron operarlo, demostrando que estos son funcionales, así como los diferentes procedimientos en caso de realizar alguna modificación, lo que permite mantener el sistema en las mejores condiciones.

4. El sistema de almacenamiento de energía , está en la capacidad de poner en marcha el módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control en cualquier configuración, según las necesidades del usuario, dicha instalación se logró gracias al proceso de comisionamiento que se realizó en este proyecto de grado, generando un conocimiento y vinculación en diferentes competencias tales como aire acondicionado, cableado, programación, manejo de personal, diligenciamiento y solución de problemas, que esperamos que en el futuro nos permita obtener experiencia y seguridad en el ámbito industrial.

## **RECOMENDACIONES.**

Para el correcto funcionamiento del sistema de ahorro de energía se recomienda tener en cuenta los siguientes parámetros.

1. Si se realiza el arranque del sistema de ahorro de energía por primera vez, purgar el sistema siguiendo los parámetros establecidos en la tesis de grado “Comisión del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control”, del ingeniero mecánico Hernán Duarte.
2. Lectura e interpretación del “MANUAL DEL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA”.
3. Lectura e interpretación del manual “INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ACOPLADO AL MÓDULO DE AIRE ACONDICIONADO”, la interpretación es indispensable para lograr el correcto funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía.
4. Asegurarse que la fuente externa esté encendida y se encuentre a 24 voltios, ya que es la encargada de energizar el sensor de nivel y la válvula proporcional que permite poner en funcionamiento el sistema de almacenamiento de energía.
5. Realizar una revisión al cableado, y si es necesario un cambio total del mismo, para lograr un mejor desempeño del sistema del módulo de aire acondicionado y facilitar las nuevas conexiones

## BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE. Chapter 2 Fundamentals design considerations. Design guide for cool thermal storage. Atlanta: Tullie circle, 1993, pag 9-61.

DUARTE ORDUZ, Hernán Darío. Comisión del modulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control. Bucaramanga,2008,22h.Trabajo de grado (ingeniero mecánico).Universidad pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería.

FONTECHA DULCEY, Gilberto Carlos. Diseño, construcción, puesta en operación y pruebas del módulo de almacenamiento de energía del laboratorio de aire acondicionado. Bucaramanga, 2006. Proyecto de investigación. Universidad pontificia bolivariana. Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería.

SPELETA RIOS, David Antonio. Automatización del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.Bucaramanga,2010,193h.Trabajo de grado(ingeniero mecánico).Universidad pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería mecánica. Departamento de ingeniería.

AABC Comissioning group.ACG commissioning guideline. Washington DC, 2000. 145 h. 0-910289-04-2.

MARTIN, Juan Carlos. GARCIA, María Pilar. Automatismos industriales Edición 1<sup>ra</sup>.Madrid: Editex, 2009. 362 h.

# **ANEXO A**

## **Tabla de símbolos**

**Propiedades de la tabla de símbolos**

Nombre: Símbolos  
 Autor:  
 Comentario:  
 Fecha de creación: 15/01/2011 16:31:43  
 Última modificación: 15/01/2011 09:51:59  
 Último criterio de filtrado: Todos los símbolos  
 Cantidad de símbolos: 83/83  
 Última ordenación: Símbolo ascendente

Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de datos	Comentario
	A0.3	A 0.3	BOOL	Activacion transferencia calor 1
	bom1	E 0.0	BOOL	Entrada bomba 1
	bom2	E 0.1	BOOL	Pulsador bomba 2
	bom3	E 0.2	BOOL	Pulsador bomba 3
	bomba ahorro	A 4.4	BOOL	Encender bomba sistema ahorro de energia
	bomba ahorro energia	M 5.4	BOOL	Entrada sistema ahorro de energia
	Bomba1	A 0.0	BOOL	Activacion de la Bomba 1
	Bomba2	A 0.1	BOOL	Activacion de la Bomba 2
	Bomba3	A 0.2	BOOL	Activacion de la bomba 3
	Chiller 1	A 4.2	BOOL	solenoido de descarga
	Chiller 3	A 4.0	BOOL	Activacion del Chiller 1
	Chiller 4	A 4.1	BOOL	Activacion del Chiller 2
	chiller2	A 4.3	BOOL	solenoido admision
	E4.3	E 4.3	BOOL	Entrada nivel bajo
	E4.4	E 4.4	BOOL	Entrada bomba sistema ahorro de energia
	E4.5	E 4.5	BOOL	Entrada nivel medio
	E4.6	E 4.6	BOOL	Entrada nivel alto
	E6.1	E 6.1	BOOL	Marca bomba 2 manejo HMI
	E7.0	E 7.0	BOOL	Marca activar chiller HMI
	entrada1	E 4.0	BOOL	Señal de entrada para activar el Chiller 1
	entrada2	E 4.1	BOOL	Señal de entrada para activar el Chiller 2
	Fancoil diseño	A 0.6	BOOL	Activacion laboratorio de diseño
	lab diseño	E 0.6	BOOL	Pulsador laboratorio de diseño
	M98.0	M 98.0	BOOL	Marca para comparar temperatura
	M98.4	M 98.4	BOOL	Marca comparar temperatura chiller 2
	manual	E 0.5	BOOL	ACTIVACION DEL MODO MANUAL
	marca bomba 1	M 6.0	BOOL	Marca activar bomba 1 HMI
	marca bomba 3	M 6.2	BOOL	Marca bomba 3 manejo HMI
	marca chiller2	M 7.1	BOOL	Marca encender chiller 2 HMI
	marca diseño	M 10.4	BOOL	Marca laboratorio de diseño
	marca hmi transfer2	M 8.4	BOOL	Marca activacion laboratorio de transferencia 2 HMI
	marca modo tanque	M 4.7	BOOL	Marca modo tanque
	marca nivel alto	M 5.6	BOOL	Marca nivel alto
	marca nivel alto sol	M 4.6	BOOL	Marca nivel alto solenoides
	Marca nivel bajo	M 5.3	BOOL	Marca nivel bajo
	marca nivel bajo sol	M 4.3	BOOL	Marca nivel bajo solenoides
	marca nivel medio	M 5.5	BOOL	Marca nivel medio
	marca nivel medio sol	M 4.5	BOOL	Marca nivel medio solenoides
	Marca salida bomba1 MAN	M 111.1	BOOL	Marca de la salida para activar la Bomba 1 modo manual
	Marca Salida UMA MAN	M 111.0	BOOL	Marca de la salida para activar la UMA modo manual
	marca transferencia1	M 6.3	BOOL	Marca laboratorio transferencia 1 manejo HMI
	marcar chiller1	M 7.0	BOOL	Marca encender chiller 1 HMI
	Parada de emergencia	E 4.7	BOOL	Activacion de Parada de emergencia
	Set Point PID	MD 33	REAL	Set point de la temperatura del ducto de retorno para el control por PID
	Temperatura CH-1	MD 23	REAL	
	Temperatura CH-2	MD 25	REAL	
	Temperatura CH1	MD 15	REAL	Temperatura a la salida del Chiller 1
	Temperatura CH2	MD 17	REAL	Temperatura a la salida del Chiller 2
	Temperatura ducto ret	MD 31	REAL	Temperatura del ducto de Retorno
	Temperatura ducto sum	MD 19	REAL	Temperatura del ducto de Suministro
	Temperatura TS1	MD 5	REAL	Temperatura del agua de retorno
	Temperatura TS2	MD 7	REAL	Temperatura del agua de retorno UMA - Serpentin 1

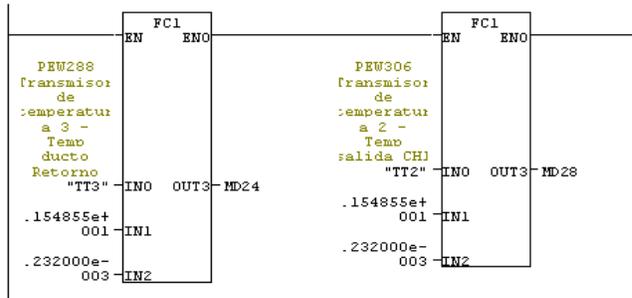
# **ANEXO B**

## **Programación en STEP 7**



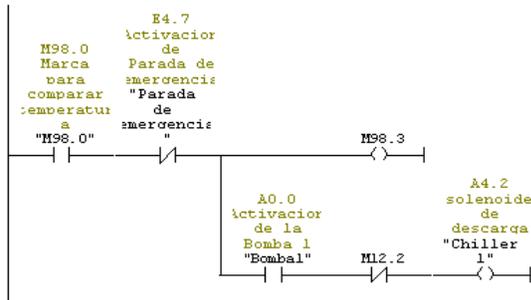
Segm.: 2

Se realiza la linealización de los sensores de temperatura presentes en el ducto de retorno y en el Chiller 1



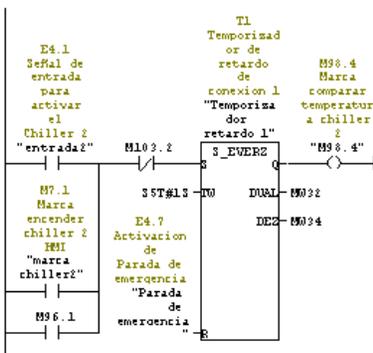
Segm.: 3

Se realiza el control para el encendido del Chiller 1, el cual se activa si se genera la marga M98.0, la parada de emergencia esta desactivada, la marca de temperatura M12.2 inactiva y la bomba 1 encendida.



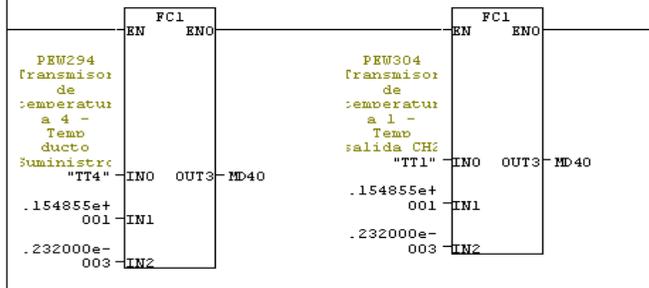
Segm.: 4 Temporizador de retardo de conexion 1

Se genera una marca M98.4, al activar las entrada analoga E4.1 presente en el tablero de control o la marca M7.1, desde la HMI.



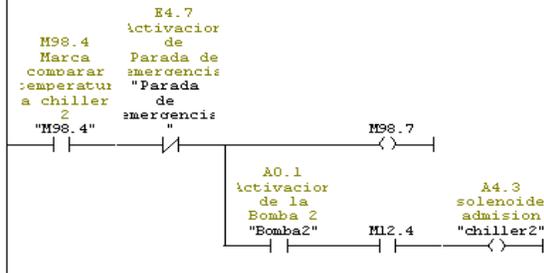
Segm.: 5

Linealización de las temperaturas en el ducto de suministro y en la salida del Chiller 2



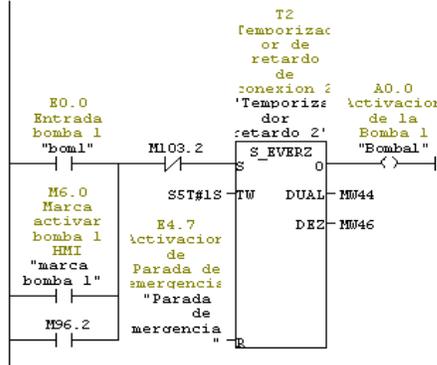
Segm.: 6

Control encendido del chiller 2.



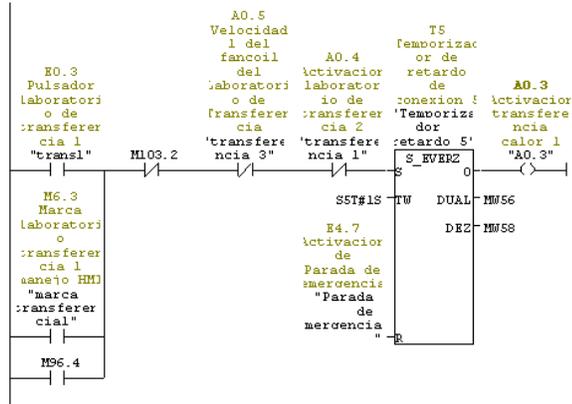
Segm.: 7 Temporizador de retardo de conexion 2

Encendi de la bomba 1, por entrada analoga EO.0 o marca HMI M6.0

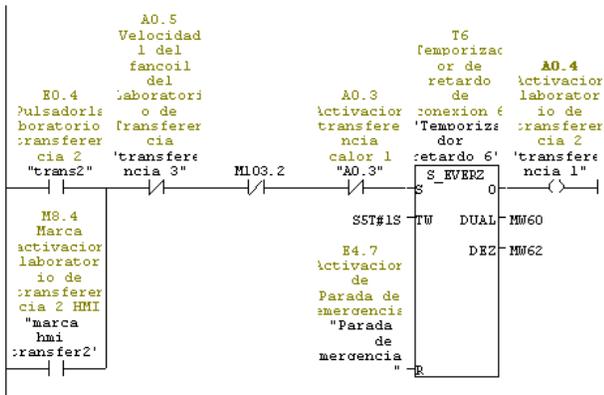




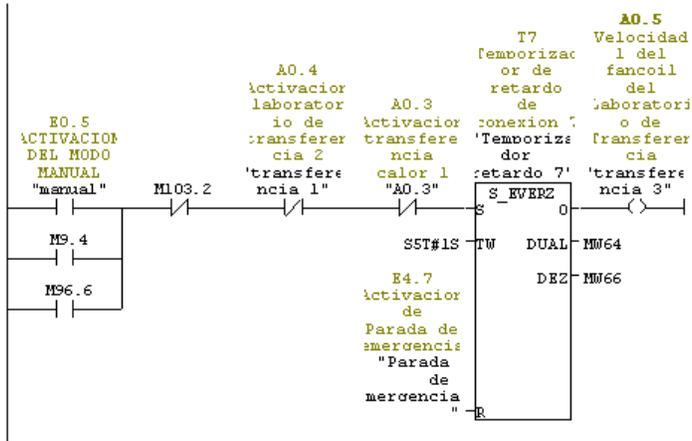
Segm.: 10 Temporizador de retardo de conexion 2



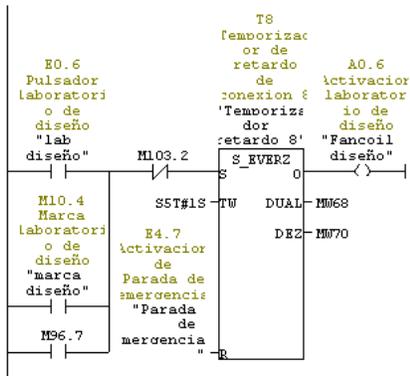
Segm.: 11 Temporizador de retardo de conexion 2



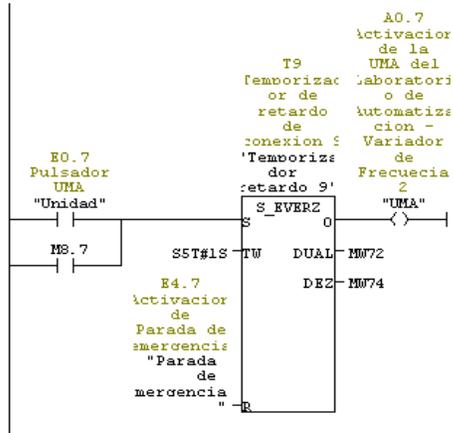
Segm.: 12 Temporizador de retardo de conexion 7



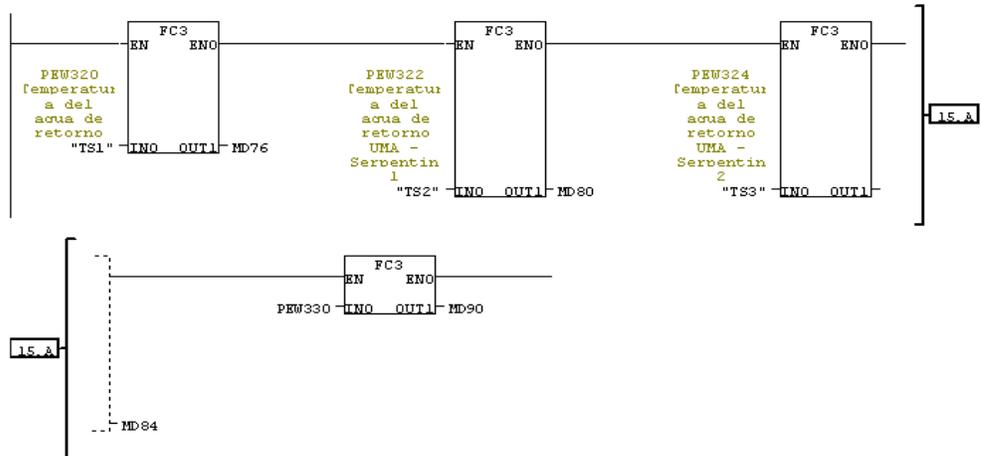
Segm.: 13 Temporizador de retardo de conexion 8



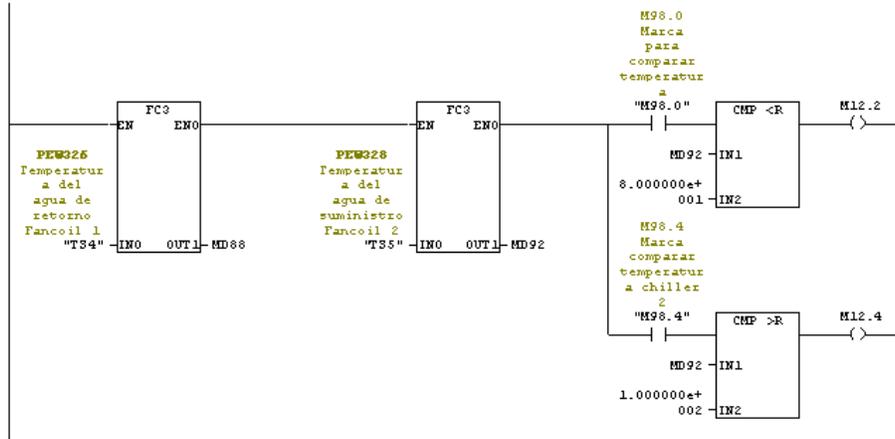
Segm.: 14 Temporizador de retardo de conexion 9



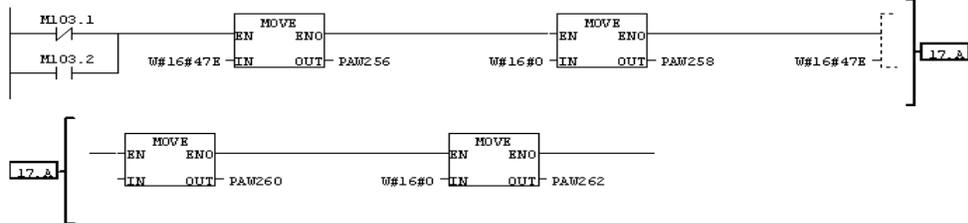
Segm.: 15



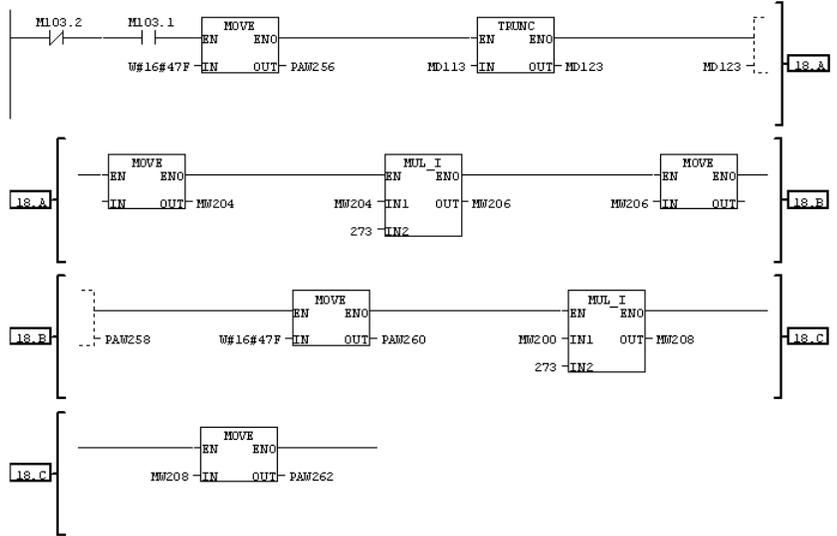
Segm.: 16



Segm.: 17



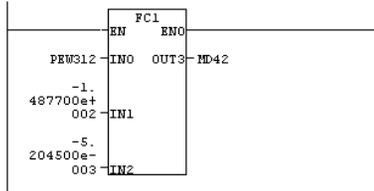
Segm.: 18



Segm.: 19



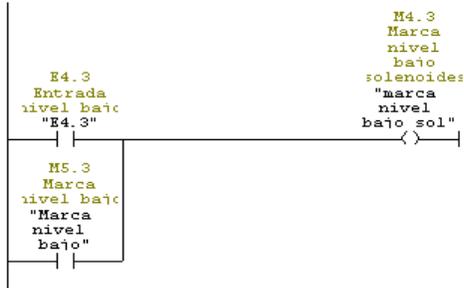
Segm.: 20



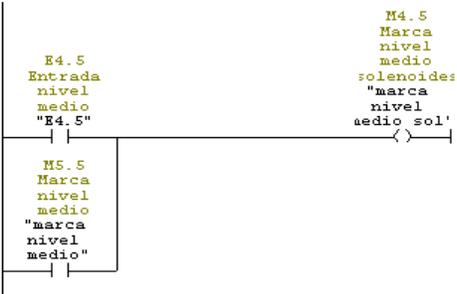
Segm.: 21



Segm.: 22 Marca nivel bajo solenoides



Segm.: 23 Marca nivel medio solenoides



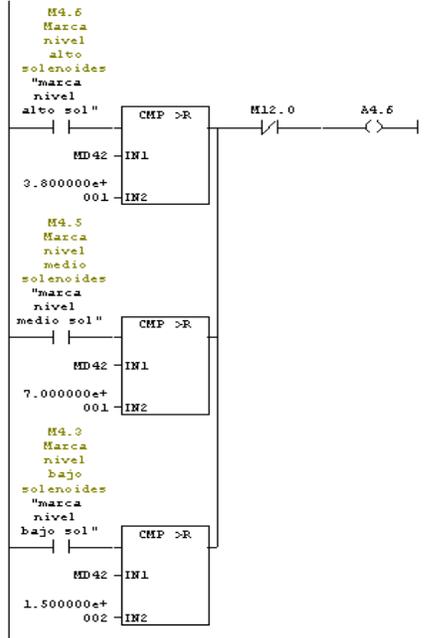
Segm.: 24 Encender bomba sistema ahorro de energia



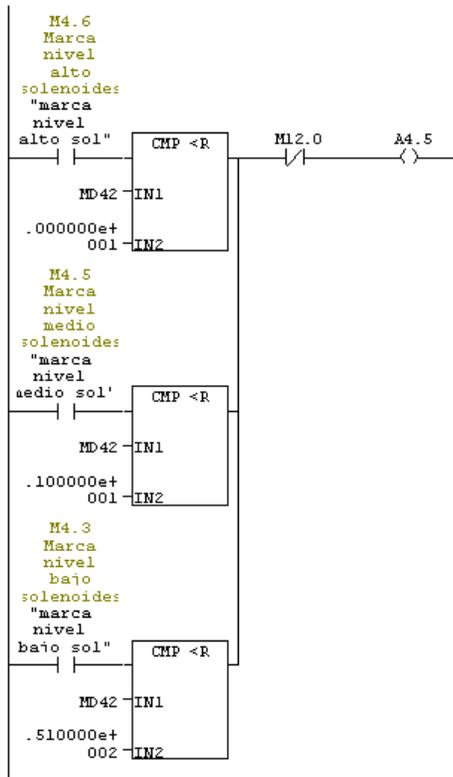
Segm.: 25



Segm.: 26



Segm.: 27



# **ANEXO C**

## **Macros en Microsoft Office Excel 2007**

## MACROS EN MICROSOFT OFFICE 2010

En la ilustración 30, se muestra el árbol de proyectos de Excel donde se encuentran los macros.

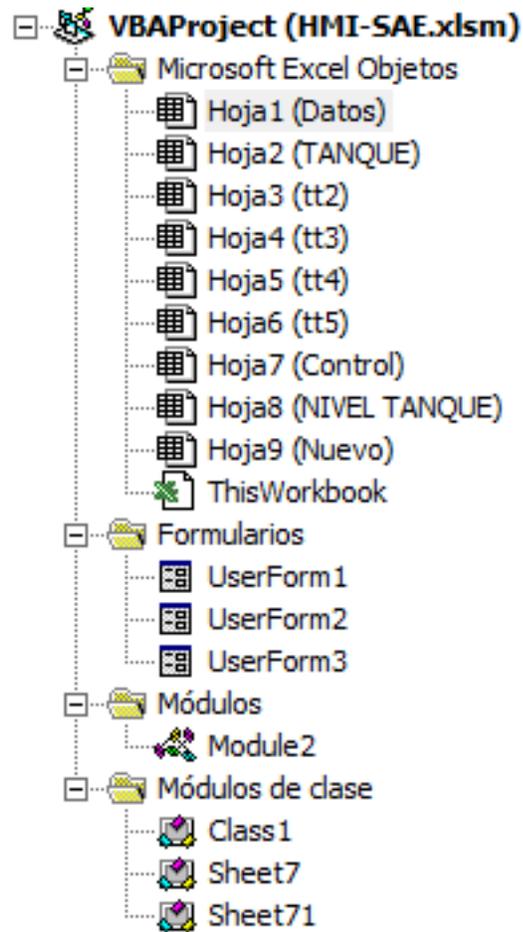


Ilustración 24. Árbol de macros

Fuente. Autor del proyecto.

## **1. Macros Hoja 1. Datos**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm2.Show  
Worksheets("Datos").Visible = xlSheetVeryHidden  
End Sub  
Private Sub CommandButton2_Click()  
Dim fdi1 As Long  
    fdi1 = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
    DDEPoke fdi1, "M4.6", Worksheets("Datos").Range("L40")  
    DDETerminate (fdi1)  
End Sub
```

## **2. Macros Hoja 2. Tanque**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm3.Show  
Worksheets("TANQUE").Visible = xlSheetVeryHidden  
End Sub
```

## **3. Macros Hoja 3. TT2**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm3.Show  
Worksheets("tt2").Visible = xlSheetVeryHidden
```

End Sub

#### **4. Macros Hoja 4. TT3**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm3.Show  
Worksheets("tt3").Visible = xlSheetVeryHidden  
End Sub
```

#### **5. Macros Hoja 5.TT4**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm3.Show  
Worksheets("tt4").Visible = xlSheetVeryHidden  
End Sub
```

#### **6. Macros Hoja 6. TT5**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm3.Show  
Worksheets("tt5").Visible = xlSheetVeryHidden  
End Sub
```

#### **7. Macros Hoja 7.Control**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Dim vf1 As Long
```

```
vf1 = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke vf1, "M5.6", Worksheets("Datos").Range("K40")
DDETerminate (vf1)
```

```
vf2A = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke vf2A, "M5.5", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (vf2A)
```

```
vf3A = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke vf3A, "M5.3", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (vf3A)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton10_Click()
UserForm2.Show
Worksheets("Control").Visible = xlSheetVeryHidden
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton11_Click()
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M6.0", Worksheets("Datos").Range("K40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton12_Click()  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M6.0", Worksheets("Datos").Range("L40")  
DDETerminate (bom)  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton13_Click()  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M6.1", Worksheets("Datos").Range("K40")  
DDETerminate (bom)  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton14_Click()  
Dim bom As Long  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M6.1", Worksheets("Datos").Range("L40")  
DDETerminate (bom)  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton15_Click()  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M6.2", Worksheets("Datos").Range("K40")  
DDETerminate (bom)
```

End Sub

Private Sub CommandButton16\_Click()

bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke bom, "M6.2", Worksheets("Datos").Range("L40")

DDETerminate (bom)

End Sub

Private Sub CommandButton17\_Click()

Dim bom As Long

bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke bom, "M7.0", Worksheets("Datos").Range("K40")

DDETerminate (bom)

bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke bom, "M7.1", Worksheets("Datos").Range("K40")

DDETerminate (bom)

End Sub

Private Sub CommandButton18\_Click()

Dim bom As Long

bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke bom, "M7.0", Worksheets("Datos").Range("L40")

DDETerminate (bom)

```
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M7.1", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton19_Click()
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M8.7", Worksheets("Datos").Range("K40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M7.0", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (bom)
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M5.4", Worksheets("Datos").Range("K40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton20_Click()
```

```
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M8.7", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton21_Click()
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M6.3", Worksheets("Datos").Range("K40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton22_Click()
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "M6.3", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (bom)
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton23_Click()
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
```

```
DDEPoke bom, "M8.4", Worksheets("Datos").Range("K40")  
DDETerminate (bom)  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton24_Click()  
Dim bom As Long  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M8.4", Worksheets("Datos").Range("L40")  
DDETerminate (bom)  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton25_Click()  
Dim bom As Long  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M10.4", Worksheets("Datos").Range("K40")  
DDETerminate (bom)  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton26_Click()  
Dim bom As Long  
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")  
DDEPoke bom, "M10.4", Worksheets("Datos").Range("L40")  
DDETerminate (bom)
```

End Sub

Private Sub CommandButton3\_Click()

Dim vf1 As Long

vf2 = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke vf2, "M5.5", Worksheets("Datos").Range("K40")

DDETerminate (vf2)

vf1A = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke vf1A, "M5.6", Worksheets("Datos").Range("L40")

DDETerminate (vf1A)

vf3A = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke vf3A, "M5.3", Worksheets("Datos").Range("L40")

DDETerminate (vf3A)

End Sub

Private Sub CommandButton4\_Click()

Dim bom As Long

bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")

DDEPoke bom, "M5.4", Worksheets("Datos").Range("L40")

DDETerminate (bom)

End Sub

```
Private Sub CommandButton5_Click()
Dim vf1 As Long
vf3 = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke vf3, "M5.3", Worksheets("Datos").Range("K40")
DDETerminate (vf3)
vf1A = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke vf1A, "M5.6", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (vf1A)
vf2A = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke vf2A, "M5.5", Worksheets("Datos").Range("L40")
DDETerminate (vf2A)

End Sub
```

```
Private Sub CommandButton6_Click()
Dim bom As Long
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
DDEPoke bom, "MD113", Worksheets("Datos").Range("L29")
DDETerminate (bom)

End Sub
```

```
Private Sub CommandButton7_Click()
```

```
Dim bom As Long
```

```
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
```

```
DDEPoke bom, "MD111", Worksheets("Datos").Range("L31")
```

```
DDETerminate (bom)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton8_Click()
```

```
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
```

```
DDEPoke bom, "MD115", Worksheets("Datos").Range("L33")
```

```
DDETerminate (bom)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton9_Click()
```

```
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
```

```
DDEPoke bom, "MD117", Worksheets("Datos").Range("L35")
```

```
DDETerminate (bom)
```

```
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
```

```
DDEPoke bom, "M7.1", Worksheets("Datos").Range("L40")
```

```
DDETerminate (bom)
```

```
bom = DDEInitiate("TCPIPH1", "S7300")
```

```
DDEPoke bom, "M5.4", Worksheets("Datos").Range("K40")
```

```
DDETerminate (bom)
```

```
End Sub
```

## **8. Macros Hoja 8.Nivel tanque**

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
UserForm2.Show  
Worksheets("NIVEL TANQUE").Visible = xlSheetVeryHidden  
End Sub
```

## **9. Macros Del libro. ThisWorkbook**

```
Private WithEvents mTiempo As Class1  
  
'Public inicio, tiempo As Variant  
  
Public dato As Variant  
  
Private Sub Workbook_Open()  
UserForm1.Show  
  
'Borrado de _xlbgnm. , que se antepone a las solicitudes de valores a traves del  
DDE  
  
Worksheets("Datos").Cells.Replace What:="_xlbgnm.", Replacement:="",  
LookAt:=xlPart, _  
    SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, _  
    ReplaceFormat:=False  
  
Worksheets("Datos").Activate  
  
End Sub
```

```

Sub iniciar()

Set mTiempo = New Class1

Sheets("Datos").Range("J14") = 0

Range(Sheets("Datos").Range("A16"),
Sheets("Datos").Range("F14").End(xlDown).Offset(1, 0)).ClearContents

Application.ScreenUpdating = True

Call mTiempo.TareaTiempo(Sheets("Datos").Range("J16").Value)

End Sub

Sub finalizar()

Sheets("Datos").Range("J14").Value = 0

End Sub

Sub mTiempo_EnviarDato()

Dim r1 As Range

'Adquisicion de los datos

Worksheets("Datos").Range("A14").End(xlDown).Offset(1, 0).Value = Now()

Worksheets("Datos").Range("B14").End(xlDown).Offset(1, 0).Value =
Worksheets("Datos").Range("B11").Value

Worksheets("Datos").Range("C14").End(xlDown).Offset(1, 0).Value =
Worksheets("Datos").Range("C11").Value

Worksheets("Datos").Range("D14").End(xlDown).Offset(1, 0).Value =
Worksheets("Datos").Range("D11").Value

Worksheets("Datos").Range("E14").End(xlDown).Offset(1, 0).Value =
Worksheets("Datos").Range("E11").Value

```

```
Worksheets("Datos").Range("F14").End(xlDown).Offset(1, 0).Value =  
Worksheets("Datos").Range("F11").Value
```

```
End Sub
```

#### **10. Macros Formulario - UserForm1**

```
Private Sub TextBox1_Change()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
UserForm1.Hide
```

```
UserForm2.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Label3_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Label4_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Label7_Click()
```

```
End Sub
```

#### **11. Macros Formulario – UserForm2**

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Hoja1.Visible = True
```

```
Hoja1.Activate
```

```
UserForm2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
UserForm2.Hide
```

```
UserForm3.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton3_Click()
```

```
UserForm2.Hide
```

```
Hoja8.Visible = True
```

```
Hoja8.Activate
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton4_Click()
```

```
Hoja7.Visible = True
```

```
Hoja7.Activate
```

```
UserForm2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton5_Click()
```

```
UserForm2.Hide
```

```
Hoja9.Visible = True
```

Hoja9.Activate

End Sub

### **12.Macros Formulario – UserForm3.**

Private Sub CommandButton1\_Click()

UserForm3.Hide

Hoja2.Visible = True

Hoja2.Activate

End Sub

Private Sub CommandButton2\_Click()

UserForm3.Hide

Hoja3.Visible = True

Hoja3.Activate

End Sub

Private Sub CommandButton3\_Click()

UserForm3.Hide

Hoja4.Visible = True

Hoja4.Activate

End Sub

```
Private Sub CommandButton4_Click()  
UserForm3.Hide  
Hoja6.Visible = True  
Hoja6.Activate  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton5_Click()  
UserForm3.Hide  
Hoja5.Visible = True  
Hoja5.Activate  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton6_Click()  
UserForm3.Hide  
UserForm2.Show  
End Sub
```

### 13. Macros Módulos – Module2

```
'=====
```

```
' User-defined data types
```

```
'=====
```

```
Type uab4: ab(0 To 3) As Byte: End Type
```

```
Type uab8: ab(0 To 7) As Byte: End Type
```

```
Type uFlt: f As Single: End Type
```

```
Type uDbl: d As Double: End Type
```

```
'=====
```

```
'=====
```

```
Function Byte2Sng(ab() As Byte) As Single
```

```
    ' Returns the conversion of
```

```
    ' the Big-Endian, 0-based, 4-byte array ab to a Single
```

```
    ' SNaN will cause overflow (as it should)
```

```
    ' VBA function only
```

```
    Dim ub As uab4
```

```
    Dim uf As uFlt
```

```
    ' put the bytes in Little-Endian order
```

```
    ub.ab(3) = ab(0)
```

```
    ub.ab(2) = ab(1)
```

```
    ub.ab(1) = ab(2)
```

```

ub.ab(0) = ab(3)

' copy the bytes into the float
LSet uf = ub
Byte2Sng = uf.f
End Function

Function Sng2Byte(f As Single) As Variant
' Returns the conversion of Single f to
' a Big-Endian, 0-based, 4-byte array in the variant

' Worksheet function or VBA

Dim ab(0 To 3) As Byte
Dim ub    As uab4
Dim uf    As uFlt
Dim i     As Long

uf.f = f

' copy the single into the byte array
LSet ub = uf

```

```

' put the bytes in Big-Endian order
For i = 0 To 3
    ab(i) = ub.ab(3 - i)
Next i

Sng2Byte = ab
End Function

Function Var2Sng(v As Variant) As Single
' Returns the conversion of
' the Big-Endian, 1-based, 4-byte array in v to a Single

' Worksheet function or VBA

Dim ub    As uab4
Dim uf    As uFlt
Dim i     As Long

' put the bytes in Little-Endian order
For i = 0 To 3
    ub.ab(i) = v(4 - i)
Next i

```

```

' copy the bytes into the float
LSet uf = ub
Var2Sng = CSng(uf.f)
End Function

Function Sng2Hex(f As Single) As String
' Returns the conversion of float f to a hex string

' Worksheet function or VBA

Const sPad As String = "0"
Dim uf    As uFlt
Dim ub    As uab4
Dim i     As Long

uf.f = f
LSet ub = uf

For i = 0 To 3
    Sng2Hex = Right(sPad & Hex(ub.ab(i)), 2) & " " & Sng2Hex
Next i

Sng2Hex = Left(Sng2Hex, Len(Sng2Hex) - 1)

```

End Function

Function Hex2Sng(ByVal s As String) As Single

' Converts hex string s to a Single

' Worksheet function or VBA

Const sPad As String = "00000000"

Dim i As Long

Dim ub As uab4

Dim ab(0 To 3) As Byte

s = Replace(s, " ", "")

If Len(s) > 8 Then Exit Function

If Len(s) < 8 Then s = Right(sPad & s, 8)

For i = 0 To 3

ab(i) = CByte("&H" & Mid(s, 2 \* i + 1, 2))

Next i

Hex2Sng = Byte2Sng(ab)

End Function

```
'=====
=====
```

```
'=====
=====
```

```
Function Byte2Dbl(ab() As Byte) As Double
```

```
    ' Returns the conversion of
```

```
    ' the Big-Endian, 0-based, 8-byte array ab to a Double
```

```
    ' VBA function only
```

```
    Dim ub    As uab8
```

```
    Dim ud    As uDbl
```

```
    Dim i     As Long
```

```
    ' put the bytes in Little-Endian order
```

```
    For i = 0 To 7
```

```
        ub.ab(7 - i) = ab(i)
```

```
    Next i
```

```
    ' copy the bytes into the double
```

```
    LSet ud = ub
```

```
    Byte2Dbl = ud.d
```

```
End Function
```

```

Function Var2Dbl(v As Variant) As Double
    ' Returns the conversion of
    ' the Big-Endian, 1-based, 8-byte array in v to a Double

    ' Worksheet function or VBA

    Dim ub    As uab8
    Dim ud    As uDbl
    Dim i     As Long

    ' put the bytes in Little-Endian order
    For i = 1 To 8
        ub.ab(8 - i) = v(i)
    Next i

    ' copy the bytes into the double
    LSet ud = ub
    Var2Dbl = ud.d
End Function

```

```

Function Dbl2Byte(d As Double) As Variant

```

```

    ' Returns the conversion of Double d to

```

```

' a Big-Endian, 0-based, 8-byte array in the variant

' Worksheet function or VBA

Dim ab(0 To 7) As Byte
Dim ub    As uab8
Dim ud    As uDbl
Dim i     As Long

ud.d = d

LSet ub = ud

' output the bytes in Big-Endian order
For i = 0 To 7
    ab(i) = ub.ab(7 - i)
Next i

Dbl2Byte = ab

End Function

Function Dbl2Hex(d As Double) As String
' Returns the conversion of Double d to a hex string

' Worksheet function or VBA

```

```

Const sPad As String = "0"

Dim ud    As uDbl
Dim ub    As uab8
Dim i     As Long

ud.d = d

LSet ub = ud

For i = 0 To 7
    Dbl2Hex = Right(sPad & Hex(ub.ab(i)), 2) & " " & Dbl2Hex
Next i

Dbl2Hex = Left(Dbl2Hex, Len(Dbl2Hex) - 1)

End Function

Function Hex2Dbl(ByVal sInp As String) As Double
    ' Converts hex string sInp to a Double
    ' Worksheet function or VBA

    Const sPad As String = "0000000000000000"

    Dim i     As Long
    Dim ub    As uab8

```

```
Dim ab(0 To 7) As Byte
```

```
sInp = Replace(sInp, " ", "")
```

```
If Len(sInp) > 16 Then Exit Function
```

```
If Len(sInp) < 16 Then sInp = Right(sPad & sInp, 16)
```

```
For i = 0 To 7
```

```
    ab(i) = CByte("&H" & Mid(sInp, 2 * i + 1, 2))
```

```
Next i
```

```
Hex2Dbf = Byte2Dbf(ab)
```

```
End Function
```

```
'=====
```

```
'=====
```

```
Function Flt2Byte(flt As Variant) As Variant
```

```
    ' Returns the conversion of flt to
```

```
    ' a Big-Endian, 0-based, 4- or 8-byte array Variant
```

```
    ' VBA function only
```

```
Dim ab8(0 To 7) As Byte
```

```
Dim ub8 As uab8
```

```
Dim ud As uDbf
```

```
Dim ab4(0 To 3) As Byte
```

```
Dim ub4 As uab4
```

```
Dim uf As uFlt
```

```
Dim i As Long
```

```
Select Case VarType(flt)
```

```
Case vbSingle
```

```
uf.f = flt
```

```
' copy the single into the byte array
```

```
LSet ub4 = uf
```

```
' put the bytes in Big-Endian order
```

```
For i = 0 To 3
```

```
ab4(i) = ub4.ab(3 - i)
```

```
Next i
```

```
Flt2Byte = ab4
```

```
Case vbDouble
```

```
    ud.d = flt
```

```
    ' copy the single into the byte array
```

```
    LSet ub8 = ud
```

```
    ' put the bytes in Big-Endian order
```

```
    For i = 0 To 7
```

```
        ab8(i) = ub8.ab(7 - i)
```

```
    Next i
```

```
    Flt2Byte = ab8
```

```
Case Else
```

```
    Flt2Byte = CVErr(xlErrValue)
```

```
End Select
```

```
End Function
```

```
Function Byte2Hex(ab() As Byte) As String
```

```
    ' Converts ab to a hex string
```

```
    ' VBA function only
```

```
    Dim i As Long
```

```
    For i = LBound(ab) To UBound(ab)
```

```

        Byte2Hex = Byte2Hex & Hex(ab(i)) & " "
    Next i

    Byte2Hex = Left(Byte2Hex, Len(Byte2Hex) - 1)
End Function

```

#### **14. Macros Módulos de clase – Class1**

```
Option Explicit
```

```
'Public Event UpdateTime(ByVal dblJump As Double)
```

```
Public Event EnviarDato()
```

```
Public Detener As Boolean
```

```
Public Sub TareaTiempo(ByVal Duracion As Double)
```

```
    Dim dblStart As Double
```

```
    Dim dblSecond As Double
```

```
    Dim dblSoFar As Double
```

```
    dblStart = Timer
```

```
    dblSoFar = dblStart
```

```
    Sheets("Datos").Range("J14").Value = -1
```

```
    Detener = False
```

```
'Do While Timer < dblStart + Duration
```

```
Do While Sheets("Datos").Range("J14").Value
```

```
If Timer - dblSoFar >= 0.1 Then
    dblSoFar = dblSoFar + 0.1
    If Timer - dblStart >= Duracion Then
        dblStart = dblStart + Duracion
        RaiseEvent EnviarDato
    End If
    DoEvents
End If
```

```
Loop
```

```
' RaiseEvent ChangeText
```

```
End Sub
```