

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**FACULTAD DE INGENIERIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO.**

**TEMA:**

“Implementación de un sistema SCADA para el sistema de calentamiento de agua del edificio Manuela Sáenz UASB”

**AUTORES:**

**NÉSTOR XAVIER MAYA IZURIETA**  
**ROBERTO FABRICIO JADÁN AGUILAR**

**DIRECTOR:**

**ING. JOSEPH VERGARA**

**QUITO, JULIO 2012**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Nosotros, Néstor Xavier Maya Izurieta y Roberto Fabricio Jadán Aguilar alumnos de la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingenierías, carrera de Ingeniería Eléctrica, libre y voluntariamente declaramos que la presente tesis ha sido realizada en su totalidad por nosotros, por tal razón asumimos la responsabilidad por su autoría.

Quito 18 de julio de 2012

---

Néstor Xavier Maya Izurieta

---

Roberto Fabricio Jadán Aguilar

Certifico que el presente trabajo de tesis  
ha sido realizado en forma total por los  
señores Néstor Xavier Maya Izurieta y  
Roberto Fabricio Jadán Aguilar.

---

Ing. Joseph Vergara  
DIRECTOR DE TESIS

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por brindarme a tantas grandes personas que colaboraron para la realización del presente trabajo, mi familia, Roberto, tía Moni, personal de la Universidad Andina, nuestro director Ing. Joseph Vergara y un agradecimiento muy especial para la compañera en el camino de la vida Fernanda Soledad, que tiene mi continuo esfuerzo motivado por todo el amor que a ella le merezco, sin su continuo apoyo y paciencia, el culminar tan arduo trabajo no hubiese sido posible. Mis más sinceros agradecimientos a todos.

Néstor Xavier Maya Izurieta

En primer lugar Agradezco a Dios por haberme permitido culminar con éxito el proyecto de tesis, a mi familia por su afecto constante e incondicional, a nuestro Director de tesis el Ing. Joseph Vergara por sus consejos y ayuda, a la Eco. Mónica Izurieta por el apoyo y confianza que depositó en nosotros para la implementación de este proyecto, y finalmente a mi compañero Néstor Maya por su gran amistad y por comprometerse al igual que yo en la realización de este proyecto.

Roberto Fabricio Jadán Aguilar

## **DEDICATORIA**

Es difícil imaginarse como retribuir tanto de tantas cosas. Por ello no encuentro otra manera más de expresar a mi padre y mi madre, el grande y profundo agradecimiento que les merezco, que dedicando el tiempo y esfuerzo empleados en el presente trabajo, buscando recordarles lo importantes que son en mi vida.

Néstor Xavier Maya Izurieta

Dedico este trabajo de tesis a mis padres y hermanos, quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora, a mi hermana Saida que ha sido como una segunda mamá para mí y que me apoyado mucho en mi carrera universitaria.

Roberto Fabricio Jadán Aguilar.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El presente proyecto de tesis nace de la necesidad de estructurar un sistema SCADA que tendrá como finalidad efectuar un plan completo de mantenimiento para el cuarto de calor del edificio Manuela Sáenz, que en su ejecución aportará una base para la conclusión de otra rama fundamental como lo es la evaluación de riesgo dentro de una institución de formación como lo es la Universidad Andina Simón Bolívar.

La falta de información técnica instrumental, los sensores y controles con índice de error constantes y con alto porcentaje, así como la falta de recopilación de información empírica por parte del personal que realiza el mantenimiento, provoca un desconocimiento general de la situación del cuarto de calor, esto a su vez conlleva un peligro constante y falta de reacción ante cualquier eventualidad que se presente en un cuarto que maneja material inflamable.

Tomando en cuenta todos los aspectos mencionados, es claro el problema de seguridad que se presenta y parte de una falta de mantenimiento del cuarto de calor.

## **JUSTIFICACIÓN.**

La necesidad concreta que se presenta en la Universidad Andina Simón Bolívar, específicamente el cuarto de calor del Edificio Manuela Sáenz, donde se hace urgente la implementación de nuevas definiciones de seguridad y mantenimiento, que deben ser manejadas como un completo proyecto de gestión piloto, a ser puesto en marcha en conjunto con todas las áreas o departamentos de trabajo involucrados, desde el rectorado, jefatura administrativa, hasta los operarios y personal de mantenimiento que están constantemente en contacto con la maquinaria.

Al tratar más concretamente lo correspondiente a la seguridad, nos encontramos con detalles técnicos desconocidos por la administración, que no se presentan como una herramienta al servicio de la toma de decisiones, sino como una incógnita más al momento de tratar el tema mantenimiento y seguridad, con lo que queda completamente justificado el desarrollo de un trabajo de investigación dirigido concretamente a los aspectos antes mencionados.

## **ALCANCES.**

- Se inspeccionara el estado de sensores y actuadores instalados actualmente en el sistema hidráulico del cuarto de calor del Edificio Manuela Sáenz, para culminar con la actualización de los mismos según el estudio.
- Se realizarán diagramas eléctricos, electrónicos de los circuitos instalados actualmente en el cuarto de calor, previo al diseño e implementación de los circuitos formulados en la presente investigación.
- Se instalará una estación remota con su debido operario, para manejar la HMI ( Interfaz humano máquina )
- Se estudiarán los diversos sistemas y protocolos de comunicación previo a la elección e instalación del sistema y protocolo a manejarse en la investigación.

## **OBJETIVO GENERAL.**

- Implementar un sistema SCADA para el sistema hidráulico del cuarto de calor del edificio Manuela Sáenz, y monitorear el calentador de agua.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Actualizar sensores y actuadores del sistema hidráulico y calentador de agua del cuarto de calor del Edificio Manuela Sáenz.
- Diseñar e implementar circuitos de control y monitoreo de sensores y actuadores actualizados.
- Desarrollar el interfaz humano máquina (HMI), e impartir capacitación para su uso.
- Implementar el sistema de transmisión y recepción de datos mediante protocolo de comunicaciones adecuado para el desarrollo de un completo programa de mantenimiento.

## **HIPÓTESIS.**

La implementación de un sistema SCADA para el sistema de calentamiento de agua del edificio Manuela Sáenz UASB pretende mantener la temperatura de agua entregada al usuario dentro de los estándares de uso de agua caliente durante las 24 horas del día y entregar información sobre el estado del sistema de calentamiento de agua en tiempo real.

## **MARCO METODOLÓGICO.**

El presente trabajo de investigación utilizará la investigación experimental descriptiva que a su vez utiliza el método de análisis, donde podemos caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio.

También se utilizará la investigación experimental explicativa, que requiere la combinación de los métodos analíticos y sintéticos, en conjugación con el deductivo y el inductivo, de esta manera se trata de responder o dar cuenta de los porqué del objeto que se investiga, el estudio explicativo orienta a la explicación de hipótesis casuales.

## **ESQUEMA DE CONTENIDOS.**

### **CAPITULO I**

#### **TITULO: Sistemas SCADA y el proceso de calentamiento de agua.**

- 1.1. Sistemas SCADA
- 1.2. Detalle de los principales procesos físico-químicos a ser aplicados.
- 1.3. Detalle del proceso industrial utilizado para el calentamiento de agua.
- 1.4. Resultados obtenidos después del proceso industrial.

### **CAPITULO II**

#### **TITULO: Diseño y desarrollo del sistema SCADA para el proceso de calentamiento de agua sanitaria.**

- 2.1. Estructura del sistema SCADA.
- 2.2. Instrumentos actuadores y sensores.
- 2.3. Adquisición, monitoreo y control de datos..
- 2.4. Sistema de comunicaciones y protocolos..
- 2.5. Sistema operativo y plataformas de programación.
- 2.6. Interfaz usuario – máquina (HMI).
- 2.7. Funciones auxiliares y de respaldo.

### **CAPITULO III**

#### **TITULO: Implementación del sistema SCADA en el proceso de calentamiento de agua sanitaria.**

- 3.1. Levantamiento de planos y procesos hidráulico-mecánicos y eléctricos del antiguo sistema de visualización de variables y control.
- 3.2. Diseño del nuevo sistema de alimentación y acople eléctrico.
- 3.3. Implementación tablero de control y electrónica auxiliar.
- 3.4. Implementación sensores y actuadores.

### **CAPITULO IV**

#### **TITULO: Pruebas y análisis de resultados**

- 4.1. Pruebas de rendimiento y normatividad.
- 4.2. Análisis económico.
- 4.3. Análisis de consumo.

## **RESUMEN**

El proyecto presentado detalla la implementación de un sistema SCADA para el sistema de calentamiento de agua utilizado en el edificio Manuela Sáenz de la Universidad Andina Simón Bolívar.

Los estudios realizados previo a la instalación del sistema SCADA, llevaron a la Universidad al reemplazo de sistema de agua caliente y a una reingeniería de los sistemas complementarios como gas centralizado, cambio de tubería etc.

Partiendo del nuevo sistema de agua caliente, se realizó el rediseño del sistema de adquisición de datos y control sobre los nuevos equipos instalados, con el objetivo de cumplir con los límites establecidos para la temperatura al usuario y proporcionar información acerca del consumo de agua caliente, así como una situación real, actual e histórica, de las variables en cada parte del sistema.

Una vez implementado la adquisición de datos, se realizaron pruebas para elegir el mejor control sobre las bombas y el calentador de agua, logrando mantener un 99,3% del tiempo del día la temperatura del usuario dentro de los rangos establecidos, identificando plenamente los motivos por los cuales no se pudo alcanzar el 100%, ni un menor rango de variación de dicha temperatura.

Con esto la calidad del servicio y la información del sistema se encuentran garantizadas, brindando la posibilidad de ejecutar planes completos de mantenimiento y colocando a la residencia de la Universidad Andina Simón Bolívar dentro de la vanguardia tecnológica orientada a servicios de hospedaje y hotelería, brindando un servicio de primera categoría considerando la naturaleza propia de una residencia sin fines de lucro.

# Índice de Contenido

<b>1. Sistemas SCADA y el proceso de calentamiento de agua. ....</b>	<b>1</b>
1.1. Sistemas SCADA. ....	1
1.1.1. Pirámide de Automatización .....	2
1.1.2. Modelos de interconexión de sistemas.....	4
1.2. Detalle de los principales procesos físico-químicos a ser aplicados.....	5
1.2.1. Materiales.....	6
1.2.2. Termodinámica y mecánica de fluidos.....	10
1.2.3. Primer principio de la termodinámica.....	13
1.2.4. Segundo principio de la termodinámica.....	14
1.3. Detalle del proceso industrial utilizado para el calentamiento de agua.....	15
1.3.1. Redes de suministro de agua en edificios.....	15
1.3.1.1. Sistemas básicos de distribución .....	15
1.3.1.2. Diseño y esquema general de instalación.....	16
1.3.1.3. Consumos .....	18
1.3.2. Conceptos físicos y de fontanería básicos en redes de suministro de agua en edificios.....	18
1.3.2.1. Teorema de Bernoulli: Aplicaciones prácticas para suministros de agua por red..	18
1.3.3. Instalaciones de agua caliente.....	21
1.3.4. Calculo de caldera y acumulador.....	23
1.3.5. Infraestructura de planta Universidad Andina Simón Bolívar .....	25
1.4. Resultados obtenidos después del proceso industrial. ....	28
<b>2. Diseño y desarrollo del sistema SCADA para el proceso de calentamiento de agua sanitaria.. ....</b>	<b>29</b>
2.1. Estructura del sistema SCADA.....	29
2.2. Instrumentos actuadores y sensores. ....	31
2.2.1. Mecanismos de monitoreo de estados de emergencia.....	42
2.3. Adquisición, monitoreo y control de datos. ....	45
2.3.1. Dispositivos de monitoreo, adquisición y control de datos .....	45
2.3.2. Diseño del sistema de monitoreo y control del software LabVIEW. ....	49
2.3.2.1. Operaciones.....	50
2.3.3. Diseño del sistema de monitoreo y control del PLC Siemens S7-200. ....	57
2.3.3.1. Operaciones.....	59
2.3.4. Diseño del sistema de monitoreo y control del HMI Touch Panel.....	63
2.3.4.1. Operaciones.....	64
2.4. Sistema de comunicaciones y protocolos.....	65
2.5. Sistema operativo y plataformas de programación. ....	67
2.5.1. Sistema operativo Microsoft Windows XP .....	67
2.5.2. Software de programación STEP 7 Micro/Win .....	68

2.5.3.	Software de programación LabVIEW National Instruments .....	69
2.6.	Interfaz usuario – máquina (HMI) .....	71
2.6.1.	Manejador de base de datos.....	71
2.6.2.	Estructura básica de pantallas LabVIEW.....	72
2.6.3.	Estructura básica de pantallas HMI Touch Panel .....	74
2.6.4.	Reportes y alarma. ....	77
2.7.	Funciones auxiliares y de respaldo.....	78
2.7.1.	Aplicación orientada a un dispositivo móvil (AODM). ....	78
2.7.2.	Aplicación orientada a la administración del mantenimiento (UKSILDUS). ....	79
<b>3.</b>	<b>Implementación del sistema SCADA en el proceso de calentamiento de agua sanitaria. ....</b>	<b>83</b>
3.1.	Levantamiento de planos y procesos hidráulico-mecánicos y eléctricos del antiguo sistema de visualización de variables y control. ....	83
3.1.1.	P&ID.....	83
3.1.2.	Diagrama de fuerza.....	84
3.1.3.	Funcionamiento del antiguo sistema de control de ACS.....	85
3.2.	Diseño del nuevo sistema de alimentación y acople eléctrico. ....	86
3.2.1.	Descripción breve del control del sistema.....	88
3.2.2.	Diseño de alimentación.....	89
3.2.3.	Acoples Eléctricos .....	89
3.3.	Implementación tablero de control y electrónica auxiliar.....	90
3.4.	Implementación sensores y actuadores.....	93
<b>4.</b>	<b>Pruebas y análisis de resultados.....</b>	<b>96</b>
4.1.	Pruebas de rendimiento y normatividad.....	96
4.1.1.	Normatividad.....	104
4.2.	Análisis Económico.....	105
4.3.	Análisis de Consumo .....	107

## Índice de Tablas.

Tabla N° 1: Características básicas Electroválvula Burkert.....	32
Tabla N° 2: Características básicas Transmisor de temperatura SICK.....	34
Tabla N° 3: Comparativa Transmisores de temperatura.....	35
Tabla N° 4: Características básicas Transmisor de presión SICK.....	37
Tabla N° 5: Características básicas Flujómetro SICK.....	40
Tabla N° 6: Comparativa sensores.....	42
Tabla N° 7: Características detector de GLP.....	45
Tabla N° 8: Características básicas DAQ NI.....	47
Tabla N° 9: Ingresos y Egresos del proyecto.....	105
Tabla N° 10: Indicadores económicos.....	106
Tabla N° 11: Cálculo de potencia calentador de agua.....	108
Tabla N° 12: Cálculo de consumo de ACS.....	108
Tabla N° 13: Cálculo de consumo y factor de GLP de la cocina.....	109
Tabla N° 14: Mantenimiento preventivo red de ACS.....	118
Tabla N° 15: Elementos de instrumentación del sistema de ACS.....	119
Tabla N° 16: Características básicas del ACS.....	120
Tabla N° 17: Especificaciones técnicas DAQ.....	123
Tabla N° 18: Especificaciones electroválvula GLP.....	124
Tabla N° 19: Especificaciones técnicas transmisores de temperatura.....	125
Tabla N° 20: Especificaciones técnicas transmisores de presión.....	126
Tabla N° 21: Especificaciones técnicas medidores de caudal.....	127
Tabla N° 22: Especificaciones técnicas sensor de gas.....	128

## Índice de Figuras.

Figura N° 1: Pirámide de automatización.....	3
Figura N° 2: Pirámide de automatización.....	5
Figura N° 3: Pirámide de automatización.....	5
Figura N°4: Esquema general de instalación de agua sanitaria.....	17
Figura N° 5: Gráfico altura piezométrica. ....	19
Figura N° 6: Gráfico altura piezométrica y presión de agua.....	20
Figura N° 7: Diagrama de instalación de calentador de agua. ....	22
Figura N° 8: Diagrama estructural sistema SCADA UASB.....	29
Figura N° 9: Esquema del flujo de información sistema de adquisición de datos.....	30
Figura N° 10: Electroválvula Gas. ....	31
Figura N°11: Transmisor de temperatura .....	33
Figura N° 12: Transmisor de Presión .....	35
Figura N° 13: Detectores de Flujo .....	37
Figura N° 14: Medidores de Flujo .....	38
Figura N° 15: Funcionamiento sensor por ultrasonido.....	41
Figura N° 16: Diagrama de flujo monitoreo de señales.....	53
Figura N° 17: Diagrama de flujo de control temperatura de retorno.....	54
Figura N° 18: Pantalla Asistente Configuración DAQ.....	55
Figura N° 19: Panel de control LabVIEW programación analógica DAQ.....	56
Figura N° 20: Panel de control LabVIEW programación digital DAQ.....	56
Figura N° 21: Pantalla General STEP7 .....	57
Figura N° 22: Pantalla Bloque del Programa STEP7.....	58
Figura N° 23: Pantalla Tabla de Símbolos STEP7.....	58
Figura N° 24: Pantalla Configuración de comunicación STEP7.....	58
Figura N° 25: Pantalla Ajustes interface PG/PC STEP7 .....	59
Figura N° 26: Diagrama de flujo de control de bombas .....	62
Figura N° 27: Diagrama de conectividad lógica .....	66
Figura N° 28: Modelo de comunicación sistema de adquisición de datos.....	66
Figura N° 29: Entorno base de datos.....	72
Figura N° 30: Pantalla Sistema de ACS HMI LabVIEW. ....	73
Figura N° 31: Pantalla estado del cuarto de operación HMI LabVIEW.....	73
Figura N° 32: Alarmas HMI LabVIEW. ....	74
Figura N° 33: Pantalla esquemática del sistema de ACS.....	75
Figura N° 34: Pantalla descripción del tanque de almacenamiento.....	75

Figura N° 35: Pantalla descripción del retorno de ACS. ....	75
Figura N° 36: Pantalla descripción de Salida al edificio ACS. ....	76
Figura N° 37: Pantalla descripción del Ingreso de AFS. ....	76
Figura N° 38: Pantalla descripción del calentador. ....	76
Figura N° 39: Pantallas de Estados y Controles HMI Dispositivo Móvil. ....	79
Figura N°40: Diagrama de relaciones UKSILDUS.....	81
Figura N° 41: esquema relacional UKSILDUS .....	82
Figura N° 42: Diagrama P&ID sistema retirado. ....	84
Figura N° 43: Diagrama fuerza bombas retiradas. ....	84
Figura N° 44: Controlador HoneyWell .....	86
Figura N° 45: Puerta tablero de control.....	89
Figura N° 46: Distribución tablero de control.....	91
Figura N° 47: Grafica de contorno de Caudal vs Tiempo; Fecha.....	97
Figura N° 48: Grafica de dispersión de Caudal vs Tiempo. ....	97
Figura N° 49: Histograma de Caudal. ....	98
Figura N° 50: Gráfica de dispersión de Consumo Cafetería vs. Tiempo. ....	98
Figura N° 51: Gráfica de dispersión de Presión de GLP vs. Tiempo. ....	99
Figura N° 52: Histograma de Presión de Agua.....	100
Figura N° 53: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Tanque.....	101
Figura N° 54: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Usuario. ....	102
Figura N° 55: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Retorno. ....	103
Figura N° 56: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Usuario y Temp. Retorno. ....	104
Figura N° 57: Pantalla software UKSILDUS .....	130
Figura N° 58: Pantalla software UKSILDUS .....	130
Figura N° 59: Pantalla software UKSILDUS .....	131
Figura N° 60: Pantalla software UKSILDUS .....	132
Figura N° 61: Pantalla software UKSILDUS .....	133
Figura N° 62: Pantalla software UKSILDUS .....	133
Figura N° 63: Pantalla software UKSILDUS .....	134
Figura N° 64: Pantalla software UKSILDUS .....	134
Figura N° 65: Pantalla software UKSILDUS .....	135
Figura N° 66: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	136
Figura N° 67: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	137
Figura N° 68: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	137
Figura N° 69: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	138
Figura N° 70: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	138
Figura N° 71: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	139

Figura N° 72: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	139
Figura N° 73: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	139
Figura N° 74: Pantalla software HISTORICAL VIEWER.....	140
Figura N° 75: Diagrama P&ID sistema de ACS.....	141
Figura N° 76: Ejemplo orden de trabajo UKSILDUS .....	142
Figura N° 77: Caldero de agua retirado.....	143
Figura N° 79: Bombas del antiguo sistema de ACS.....	143
Figura N° 80: Sensores de temperatura retirados.....	144
Figura N° 81: Antiguo tablero de control.....	144
Figura N° 82: Antiguo medidor de presión.....	144

## Índice de Anexos.

Anexo 1: Mantenimiento Preventivo sobre la red de ACS.....	118
Anexo 2: Elementos de instrumentación del sistema de ACS. ....	119
Anexo 3: Características básicas del agua caliente sanitaria. ....	120
Anexo 4: Especificaciones Técnicas DAQ.....	121
Anexo 5: Especificaciones Electroválvula GLP .....	124
Anexo 6: Especificaciones Técnicas Transmisores de Temperatura.....	125
Anexo 7: Especificaciones Técnicas Transmisor de Presión.....	126
Anexo 8: Especificaciones Técnicas Medidores de Caudal.....	127
Anexo 9: Especificaciones Técnicas Sensor de Gas .....	128
Anexo 10: Manual de usuario sobre fundamentos básicos del software “UKSILDUS” .....	129
Anexo 11: Manual de usuario sobre fundamentos básicos del software “HISTORICAL VIEWER”. ....	136
Anexo 12: Diagrama P&ID Actual del Sistema de Calentamiento de ACS.....	141
Anexo 13: Ejemplo Orden de Trabajo (UKSILDUS) .....	142
Anexo 14: Archivo Gráfico Sistema Antiguo de ACS.....	143
Anexo 15: Planos Eléctricos Sistema Anterior .....	145
Anexo 16: Planos Eléctricos Sistema Actual.....	146

# CAPITULO I

## 1. Sistemas SCADA y el proceso de calentamiento de agua.

### 1.1. Sistemas SCADA.

El transcurso del tiempo y el aumento de la demanda por servicios de calidad y confort, han provocado que el calentamiento de agua se convierta sistemáticamente en un proceso<sup>1</sup> secuencial, que resulta en la composición de un sistema<sup>2</sup> completo desarrollado con el propósito de elevar la temperatura del agua.

Para cumplir con los parámetros que la demanda plantea, es necesario formular dentro del proceso global, subprocesos que puedan hacer que el sistema resultante sea sostenible, eficiente y confiable durante un tiempo determinado. Para esto podemos utilizar tecnología que emplea conceptos básicos de materiales, fluidos, termodinámica, y mecánica de fluidos.

El caso específico del proceso para calentamiento de agua en el edificio Manuel Sáenz de la Universidad Andina Simón Bolívar, no deja de cumplir lo planteado anteriormente de manera general, y dentro del edificio se tiene un lugar específico destinado al uso exclusivo de calderas, combustible, sistema hidráulico y tanques de almacenamiento de agua, que de ahora en adelante lo denominaremos cuarto de calor, de esta manera se puede realizar un detalle tanto del proceso global como del sistema resultante, y buscar dentro de estos, falencias o mejoras conceptuales, técnicas así como tecnológicas para cumplir los objetivos y características mencionados anteriormente.

Los sistemas SCADA son aplicaciones las cuales nos permiten supervisar, controlar y adquirir datos de un proceso a distancia, los cuales son presentados en una interfaz grafica, lo cual facilita a la persona encargada de supervisar el

---

<sup>1</sup>Proceso.- conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado.

<sup>2</sup>Sistema.- objeto compuesto cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual.

proceso el obtener datos u observar el correcto funcionamiento del sistema en tiempo real.

### **Funciones Principales del sistema**

- Supervisión remota de instalaciones y equipos: permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- Procesamiento de datos: el conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, que luego de ser analizada, procesada y comparada con datos anteriores nos dan como resultado una información confiable.
- Visualización grafica dinámica: el sistema es capaz de ofrecer imágenes en movimiento, q representan el estado actual del proceso, lo cual facilita al operador el observar el correcto funcionamiento del proceso.
- Representación de señales de alarmas: a través de las señales de alarma se logra poner sobre aviso al operador sobre alguna situación anormal en el proceso, estas señales pueden ser visuales o sonoras.
- Almacenamiento de información histórica: se cuenta con la opción de almacenar la información adquirida, para que pueda ser analizada luego.

#### **1.1.1. Pirámide de Automatización**

Es uno de los modelos más utilizados dentro de la automatización de procesos, el cual consta de 5 niveles, cubriendo así desde su parte más baja los aspectos de control de los procesos físicos hasta la parte alta que correspondería al nivel donde se realizan las funciones corporativas o procedimientos que tenga la empresa.



Figura N° 1: Pirámide de automatización  
Fuente: CAIXANOVA

Cada nivel posee un tipo de información y de procesamiento diferente, a continuación se detalla los niveles que conforman la pirámide:

- Nivel de proceso. Este nivel está conformado por los Sensores y por los actuadores, estas señales pasan de un nivel a otro a través de la red de campo y/o sistema operativos de tiempo real realizando las escrituras o lecturas sobre registros.
- Nivel de control. En este nivel el sensor es un dispositivo lógico, que se encarga de detectar alarmas, comportamiento del proceso, errores, etc. Y los actuadores son un conjunto de aplicaciones capaces de realizar cambios en los parámetros del controlador.
- Nivel supervisor. En esta capa los sensores son un medio de información que detectan regiones de operación y cambios de parámetros en función de la imagen del proceso que se encuentra en una base de datos relacionales, y por medio del cual se deduce un estado del mismo. Los actuadores son sistema de información que modifican en la base de datos lo referente a set point, recetas de producción, etc.
- Nivel de planta. Los sensores son sistema de información que en base a la imagen, modelos de rendimiento y modelos de planificación generan objetos representativos del estado del proceso. El actuador es representado por

sistemas de información capaces de modificar las estrategias de producción y planificación basadas en datos abstractos generados en el nivel de empresa.

- Nivel de Empresa. En esta capa el sensor es un sistema programado capaz de presentar al gerente o administrador la información necesaria que le permita tomar decisiones. En esta capa el actuador es un sistema capaz de transformar las órdenes del gerente en datos que de alguna manera permitan modificar los niveles de producción o brindar un mejor servicio al usuario.

### **1.1.2. Modelos de interconexión de sistemas**

Dentro de los modelos de interconexión de sistemas tenemos dos referencias que podrán ser aplicadas:

- Modelo interconexión de sistemas abiertos (OSI)
- Modelo Enhanced Performance Architecture (EPA)

El modelo OSI es un modelo de red descriptivo creado por la Organización internacional para la estandarización ISO que pretende ser un marco de referencia para definir la arquitectura de interconexión de sistemas de comunicaciones.

El modelo EPA es un modelo de red descriptivo creado por la Comisión Electrotécnica Internacional IEC que surge de la necesidad de simplificar algunas de las funciones de nivel superior del modelo OSI debido a que su aplicación difería de entornos administrativos e informáticos donde se pueden presentar pérdidas aceptables de bits sin afectar la información y por otro lado los entornos industriales donde la pérdida algún bits puede presentarse como el cambio completo de operación del sistema industrial.

Estas modificaciones entre los modelos de interconexión se pueden presentar con otros protocolos por ejemplo Profibus, así como el uso del modelo EPA en protocolos DNP que es aplicado en el servicio OPC. A continuación se presenta gráficas de comparación entre los modelos mencionados.

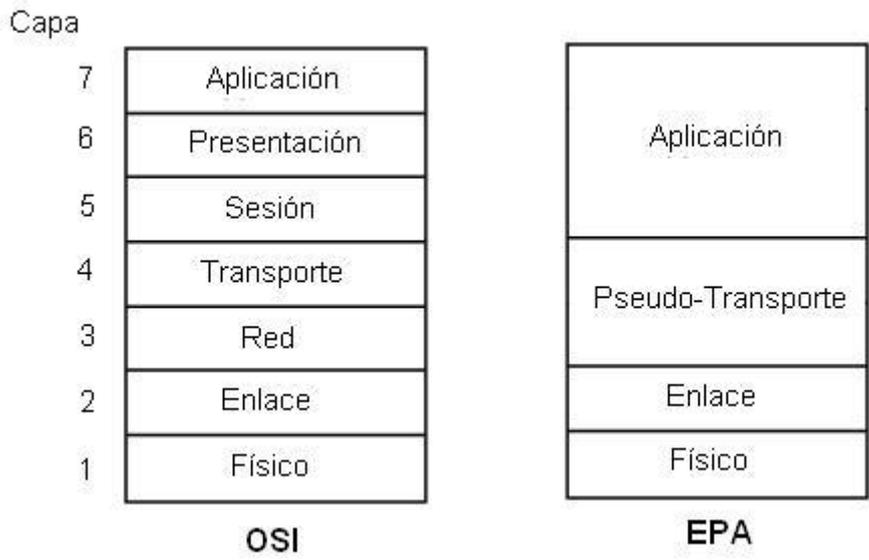


Figura N° 2: Pirámide de automatización  
Fuente: Internet

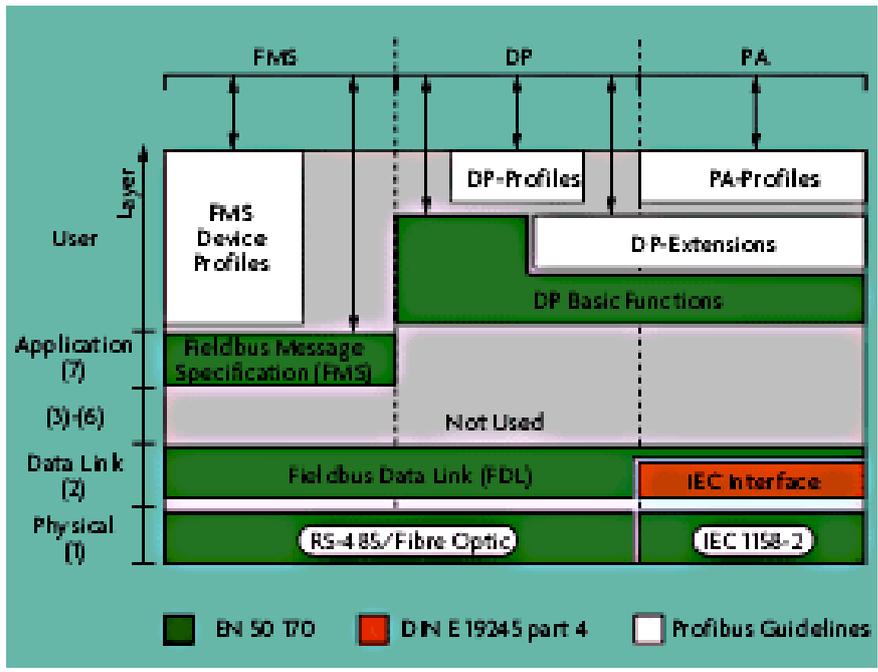


Figura N° 3: Pirámide de automatización  
Fuente: Internet

## 1.2. Detalle de los principales procesos físico-químicos a ser aplicados.

Para tener un mayor entendimiento de los procesos físicos – químicos que intervienen en nuestro sistema los analizaremos dentro de los siguientes subtemas:

### 1.2.1. Materiales

Indistintamente de las características particulares del material empleado para cada uno de los sistemas, todos deben tener en común prevenir fenómenos como la corrosión, rotura y transferencia de calor. A continuación se detalla las principales características físicas y químicas de los materiales que componen a los objetos del sistema de calentamiento de agua.

El bronce como primer material, utilizado en las bombas del sistema, es toda aleación metálica de cobre y estaño, en la que, el primero constituye su base y el segundo aparece en una proporción del 3 al 20 por ciento.

#### Propiedades físicas del bronce

Datos para una aleación promedio con 89 % de cobre y 11 % de estaño:

- Densidad: 8,90 g / cm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: 830 a 1020 °C
- Coeficiente de temperatura: 0,0006 K<sup>-1</sup>
- Resistividad eléctrica: 14 a 16 μOhmio/cm
- Coeficiente de expansión térmica: entre 20 y 100 °C ---> 17,00 x 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>
- Conductividad térmica a 23 °C : 42 a 50 W<sup>m-1</sup>

#### Propiedades mecánicas del bronce

- Elongación: < 65 %
- Dureza Brinell: 70 a 200
- Módulo de elasticidad: 80 a 115 GPa
- Resistencia a la cizalla: 230 a 490 MPa
- Resistencia a la tracción: 300 a 900 MPa

El cobre, que será utilizado principalmente en tuberías, es un metal de transición

de color rojizo y brillo metálico que, junto con la plata y el oro, forma parte de la llamada familia del cobre, se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de electricidad (el segundo después de la plata). Gracias a su alta conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad, se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos. Los tubos de cobre debido a las características propias de este metal de alta resistencia a la corrosión, y su adaptabilidad, consiguen que se utilicen masivamente en residencias, edificios, condominios, oficinas, locales comerciales e industriales.

Para la fabricación de un tubo de cobre, se parte, por lo general de una mezcla de cobre refinado y de chatarra de calidad controlada, se funde en un horno y por medio de la colada de cobre se obtienen lingotes conocidos como “billets”, que tienen forma cilíndrica, con dimensiones que generalmente son de 300 mm de diámetro y 8 m de largo y que pesan aproximadamente 5 toneladas métricas. Estos bloques metálicos se utilizan para la fabricación de tubos sin costura por medio de una serie de deformaciones plásticas.

### **Propiedades físicas del cobre**

El cobre posee varias propiedades físicas que propician su uso industrial en múltiples aplicaciones, siendo el tercer metal, después del hierro y del aluminio, más consumido en el mundo. Es de color rojizo y de brillo metálico y, después de la plata, es el elemento con mayor conductividad eléctrica y térmica. Es un material abundante en la naturaleza; tiene un precio accesible y se recicla de forma indefinida; forma aleaciones para mejorar las prestaciones mecánicas y es resistente a la corrosión y oxidación.

La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, estableciendo el International Annealed Copper Standard (Estándar Internacional del Cobre Recocido) o IACS. Según esta definición, la conductividad del cobre recocido medida a 20 °C es igual a  $58,108^6$  S/m. A este valor de conductividad se le asigna un índice 100% IACS y la conductividad del

resto de los materiales se expresa en porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100% IACS pero existen excepciones como la plata o los cobres especiales de muy alta conductividad designados C-103 y C-110.

### **Propiedades mecánicas del cobre.**

Tanto el cobre como sus aleaciones tienen una buena maquinabilidad, es decir, son fáciles de mecanizar. El cobre posee muy buena ductilidad y maleabilidad lo que permite producir láminas e hilos muy delgados y finos.

- Es un metal blando.
- Índice de dureza 3 en la escala de Mohs (50 en la escala de Vickers).
- Resistencia a la tracción es de 210 MPa.
- Límite elástico de 33,3 MPa.

Admite procesos de fabricación de deformación como laminación o forja, procesos de soldadura y sus aleaciones adquieren propiedades diferentes con tratamientos térmicos como temple y recocido. En general, sus propiedades mejoran con bajas temperaturas lo que permite utilizarlo en aplicaciones criogénicas.

El acero inoxidable en metalurgia se define como una aleación de hierro con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa, es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa que la podemos llamar protectora, evitando así la corrosión del hierro. Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos inter-granulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes principalmente el níquel y el molibdeno.

### **Fluidos**

Se llaman fluidos al conjunto de sustancias donde existe entre sus moléculas poca fuerza de atracción, cambiando su forma, lo que ocasiona que la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen. Pueden clasificarse como fluidos newtonianos o no newtonianos, así también como líquidos o como gases.

Las propiedades de un fluido son las que definen el comportamiento y características del mismo, tanto en reposo como en movimiento. Existen propiedades primarias y propiedades secundarias del fluido.

### **Propiedades primarias**

Propiedades primarias o termodinámicas:

- Presión.- La presión en un fluido es la presión termodinámica que interviene en la ecuación constitutiva y en la ecuación de movimiento del fluido, en algunos casos especiales esta presión coincide con la presión media<sup>3</sup> o incluso con la presión hidrostática<sup>4</sup>.
- Densidad.- La densidad de una sustancia se define como el cociente de su masa entre el volumen que ocupa.
- Temperatura.- se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.
- Energía interna.- es la energía cinética y potencial que presentan las partículas asociada a la mecánica interna de un sistema microscópico.
- Entalpía.- es la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.
- Entropía.- es una magnitud física que permite, mediante cálculo, determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Es una

---

<sup>3</sup> La **presión media**, o promedio de las presiones según diferentes direcciones en un fluido, cuando el fluido está en reposo esta presión media coincide con la presión hidrostática.

<sup>4</sup> La **presión hidrostática** es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo. En un fluido en reposo la única presión existente es la presión hidrostática, en un fluido en movimiento además puede aparecer una presión hidrodinámica adicional relacionada con la velocidad del fluido.

función de estado de carácter extensivo y su valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural.

- Calor específico.-es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado.

### **Propiedades secundarias**

Propiedades que caracterizan el comportamiento específico de los fluidos.

- Viscosidad.- Es la medida de la fluidez a determinadas temperaturas.
- Conductividad térmica.- La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.
- Tensión superficial.- es la cantidad de energía de un líquido necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.
- Compresión.- la compresión de un fluido mide el cambio en el volumen de una cierta cantidad de líquido cuando se somete a una presión exterior.

Si analizamos los movimientos de un fluido, en verdad los fluidos no se mueven. De esta forma, las variables de estado del material, tales como la presión, la densidad y la velocidad podrán ser consideradas como funciones continuas del espacio y del tiempo, conduciendo naturalmente a la descripción del material como un medio continuo.

### **1.2.2. Termodinámica y mecánica de fluidos.**

Si analizamos un sistema que involucra calor, energía, y fluidos en movimiento o reposo, se nos hace indispensable dar una reseña sobre los aspectos físico-teóricos que se encuentran inmersos dentro de estos fenómenos. Para ello detallaremos conceptos básicos de termodinámica y la dinámica de los fluidos que intervienen en nuestro proceso que son; el agua potable (líquida) y el GLP<sup>5</sup> (gas),

---

<sup>5</sup> GLP o gas licuado de petróleo, es un derivado es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión

incluso pudiendo ser aplicada la teoría para los gases resultantes de la combustión.

Cuando hablamos de termodinámica, hablamos del estudio de las leyes de transferencia de calor que rigen a los sistemas en equilibrio. Algunos conceptos involucrados en el análisis de estas leyes son:

**Sistemas macroscópicos.-** Son aquellos que están constituidos por un gran número de partículas, siendo sus dimensiones notablemente más grandes que las de los átomos o las moléculas y están confinados por una superficie cerrada, real o ideal, de forma que a su través puede haber flujos de partículas y de energía. Todas las propiedades del sistema en su comportamiento respecto al medio exterior vienen caracterizadas por una serie de parámetros macroscópicos, internos y externos, tales como las propiedades de elasticidad, concentración, polarización, etc., que son:

**Parámetros internos bj.-** que dependen de la agitación de las partículas del sistema y de su reparto en el espacio, tales como la presión, densidad, polarización, etc.

**Parámetros externos ai.-** que definen la posición de otros sistemas respecto al sistema considerado, y son proporcionales a la masa o al número de partículas, como el volumen del sistema que está definido por la posición de otros sistemas que le envuelven y rodean, por lo que tales parámetros externos pueden definirse mediante cuerpos externos referenciales.

El estado termodinámico del sistema viene representado por un conjunto de parámetros macroscópicos linealmente independientes. Las magnitudes que sólo son función de los parámetros independientes en el instante considerado, son las funciones de estado (entalpía – entropía).

El estado termodinámico de un sistema es estacionario, cuando sus parámetros

---

ambientales son gases, son fáciles de licuar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano.

permanecen constantes en el tiempo, si no existen fuentes de energía externas, el sistema se encuentra en un estado de equilibrio termodinámico. De esta manera el estado termodinámico de un sistema es transitorio, cuando sus parámetros dependen del tiempo.

Una transformación reversible, es aquella para la cual las magnitudes macroscópicas que la caracterizan, en cada instante, están en la posición de equilibrio termodinámico o infinitamente próximo a él.

Los sistemas macroscópicos pueden ser:

**Sistemas simples**, también conocidos como sistemas ideales o perfectos, son homogéneos, isótropos, químicamente inertes, no están sometidos a campos de fuerzas, no tienen cargas eléctricas, su viscosidad es cero, etc. **Sistemas abiertos**, son aquellos que interactúan a través de la pared cerrada que los limita, flujos de materia y/o energía, con el medio exterior.

**Sistemas cerrados**, son aquellos que tienen un número de partículas constante. A través de la pared cerrada que les limita puede haber flujo de energía, pero no de materia.

**Sistemas aislados**, son aquellos que no intercambian ni masa ni energía a través de su superficie. Por ejemplo, un gas encerrado en un cilindro de volumen constante y de paredes impenetrables al calor, paredes adiabáticas, constituye un sistema razonablemente aislado.

Con esto se puede definir que el sistema de estudio está dentro del concepto de un sistema abierto, ya que por medio de su contenedor tenemos flujo tanto de materia como lo es el agua, como energía expresada en forma de calor.

**Es importante mencionar en este momento que si bien se trata de un sistema termodinámico abierto, eso no quiere decir que el sistema de su control lo sea.**

Ahora bien, con estos conceptos podemos entrar a describir los dos principios fundamentales de la termodinámica.

### **1.2.3. Primer principio de la termodinámica.**

La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma, que también se puede expresar en la forma: La cantidad de energía en el Universo sólo se puede modificar por un cambio equivalente en la cantidad de materia, según la expresión:

$$\Delta E = \Delta m * c^2$$

Donde  $c$  la velocidad de la luz.

Este Principio establece la imposibilidad de la existencia del móvil perpetuo de primera especie, es decir, ninguna máquina puede producir un trabajo sin el correspondiente consumo de energía. Para que se cumpla este Principio en todas las transformaciones, reales o ideales, perfectas o imperfectas, tiene que existir un balance de energía entre el sistema y el medio exterior:

$$\Delta E\text{-medio exterior} + \Delta E\text{-sistema} = 0$$

El primer principio no proporciona ninguna idea sobre si una transformación se ha realizado o no completamente, la variación de la energía E-sistema puede ser debida a cambios en su energía interna, en sus energías cinética y potencial globales o en partes finitas de dicho sistema.

El intercambio de energía con los alrededores  $\Delta E\text{-medio exterior}$  puede ser debido al aumento o disminución de varias formas de energía, cuyas variaciones pueden estar motivadas por tres causas:

- Transferencia de masa
- Transferencia de calor
- Transferencia de trabajo

Cuando la energía se transmite en forma de calor o de trabajo, generalmente no se suele medir, debido a dificultades inherentes a los aparatos de medida. Desde el punto de vista del balance de energía en el sistema cerrado, se presenta el inconveniente de que sólo se pueden evaluar satisfactoriamente aquellos procesos que se efectúan muy lentamente, por lo que el estudio del sistema cerrado se reduce muy a menudo al de un sistema en equilibrio; por el contrario, **la definición de sistema abierto amplía el campo termodinámico, de forma que pueden medirse perfectamente aquellas transformaciones en las que existen flujos de materia.**

#### **1.2.4. Segundo principio de la termodinámica.**

Una definición del Segundo Principio sería la siguiente: Es imposible, mediante un proceso cíclico transformar completamente en trabajo, el calor absorbido por un sistema.

Se sabe que el flujo de calor entre dos cuerpos siempre tiene lugar del cuerpo más caliente al más frío y nunca al contrario; este hecho tiene tal importancia que su concepto puede servir como una manifestación aceptable del segundo principio de la termodinámica, como resultado de la restricción impuesta a la dirección de los procesos reales, por lo que es posible establecer enunciados generales que describan tal restricción y que, por consiguiente, sirvan para expresar el Segundo Principio.

El segundo principio de la termodinámica no prohíbe la generación de trabajo a partir del calor, pero limita la fracción de calor que puede convertirse en trabajo en un proceso cíclico.

El siguiente factor que debería ser considerado para continuar con el estudio teórico de los fenómenos físicos de nuestro sistema, es la mecánica de los fluidos. Al estar fuera de los alcances del presente trabajo de investigación, no se desarrollará la formulación matemática de la mecánica de fluidos, pero daremos una pauta, para más adelante dar una breve aproximación a dichos fenómenos, en donde se debe tener en consideración que tanto el agua como el GLP serán considerados como fluidos y los fenómenos de cada uno serán explicados mediante teorías aplicadas a la mecánica de fluidos que tratan su comportamiento indistintamente de su estado físico.

### **1.3. Detalle del proceso industrial utilizado para el calentamiento de agua.**

Si bien el presente proyecto de investigación se centra en el sistema de monitoreo y control de variables dentro de un sistema de <sup>6</sup>ACS, resulta necesario dar una explicación sobre el sistema propio de fontanería en donde se implementará nuestro proyecto.

Para ello partiremos de algunos conceptos básicos aplicables a los sistemas de fontanería, para llegar a presentar herramientas matemáticas de dimensionamiento que permitirán en lo posterior realizar cálculos para diferentes índices de rendimiento.

#### **1.3.1. Redes de suministro de agua en edificios**

##### **1.3.1.1. Sistemas básicos de distribución**

Ahora bien, al igual que en los sistemas eléctricos, los sistemas de fontanería parten de un esquema que permita visualizar la organización de todos los elementos que componen dicho sistema, y la función que cada uno cumple dentro de él.

---

<sup>6</sup> ACS. Agua Caliente Sanitaria

El objetivo de proveer de agua de servicio sanitario a los diferentes lugares de consumos (grifos) del edificio, se puede cumplir mediante tres sistemas básicos que se aplican a edificios con un solo régimen funcional o titular, eso quiere decir que contarán con un solo contador para facturación del servicio y un solo responsable sobre este. Los esquemas son los siguientes:

### **Esquema 1**

Utilizado en localidades donde el suministro está garantizado en caudal y presión, es el menos utilizado ya que no se encuentra garantizado el servicio por el usuario del edificio, sino por la empresa proveedora de agua potable.

### **Esquema 2**

Parte de la consigna de que no se garantiza por parte de la empresa proveedora de agua potable, el suministro de caudal y presión adecuados. Este tipo de sistema exige que el depósito este suficientemente elevado para que los grifos de la última planta tenga la presión adecuada. Cuenta como ventaja adicional, que la bomba trabaja pocas veces al día, lo que garantiza su durabilidad.

### **Esquema 3**

Al igual que el esquema 2, no se garantiza caudal ni presión. Este sistema es de uso generalizado por su garantía de caudal y presión, pero su mayor inconveniente radica en el alto uso de la bomba en horas de alto consumo, lo que va en contra de su durabilidad.

#### **1.3.1.2. Diseño y esquema general de instalación**

En una forma general la instalación de suministro de agua consta de una acometida, una instalación general y una o varios contadores según la cantidad de titulares existentes. A continuación daremos un esquema general de una red que

responderá a la existencia de un contador general único y que se compone de los siguientes elementos:

- Acometida formada por:
  - La llave de toma.
  - El tubo de acometida.
- Instalación general compuesta por un armario del contador donde se alojaran:
  - La llave de corte general.
  - El filtro de la instalación general.
  - El contador general
  - La llave de prueba.
  - La válvula de retención.
  - La llave de salida.
- Un tubo de alimentación general.
- Un distribuidor principal.
- Derivaciones colectivas.

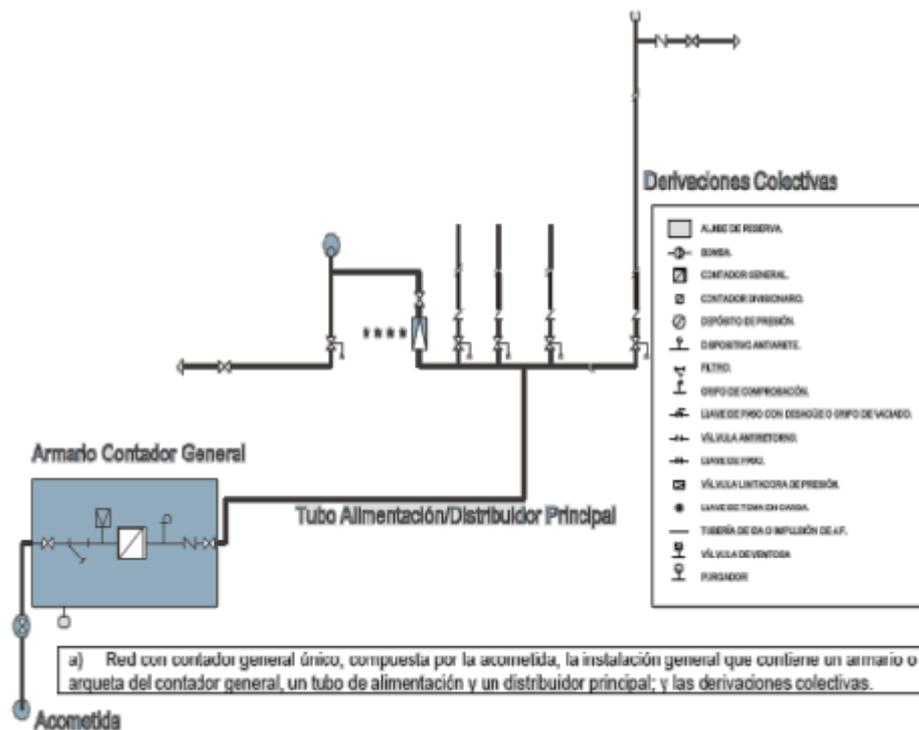


Figura N°4: Esquema general de instalación de agua sanitaria  
Fuente: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de LAS PALMAS DE GRAN GRANADA.

### **1.3.1.3. Consumos**

La previsión del consumo de agua es básica para el cálculo de las instalaciones, por ello detallaremos algunas clases de consumo que se deben tener en consideración.

- Consumo por habitante y día en un conjunto urbano o rural.
- Consumo por habitante y día en edificios, según su tipología y prestaciones.
- Consumo del edificio en períodos puntas (varias horas), expresado como fracción del gasto diario del edificio.
- Nota.- Si se refiere al agua caliente sanitaria (ACS), resulta un dato imprescindible para el cálculo de caldera y depósito acumulador.
- Consumo del edificio en hora punta, expresado como fracción del gasto diario del edificio.
- Nota.- Dato utilizable en algunos de los procedimientos para calcular diversos componentes de las instalaciones de <sup>7</sup>A.F.S. y A.C.S.
- Consumo por cada uno de los aparatos o grifos instalados.

### **1.3.2. Conceptos físicos y de fontanería básicos en redes de suministro de agua en edificios.**

#### **1.3.2.1. Teorema de Bernoulli: Aplicaciones prácticas para suministros de agua por red.**

Para poder aplicar el teorema de Bernoulli a los análisis de suministro de agua por red en un edificio, debemos partir de lo mencionado en el numeral 1.2.3 en su último párrafo, y mencionar el siguiente enunciado del Teorema de Bernoulli en donde dice que:

---

<sup>7</sup> AFS.- Agua fría sanitaria

“En el seno de un líquido perfecto en movimiento ocurre para cualquiera de sus partículas que la altura piezométrica<sup>8</sup> más la altura cinética más la altura geométrica - y que se denomina Carga Total (Ht) - es constante.”

Para identificar este fenómeno físico podemos identificar la siguiente expresión matemática:

$$H_t = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z = K$$

En donde tenemos que:

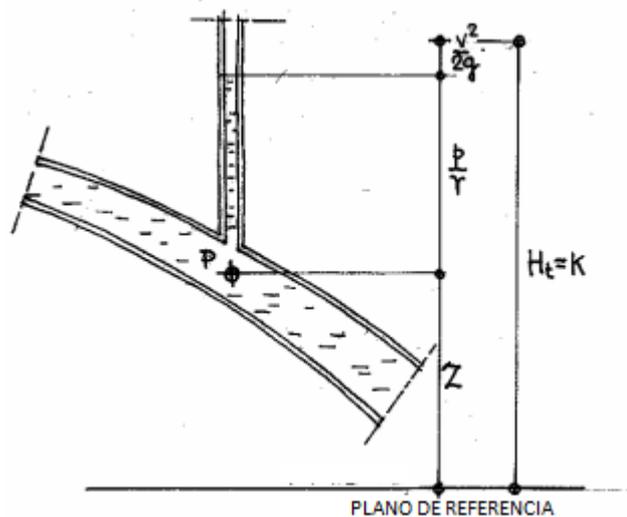


Figura N° 5: Gráfico altura piezométrica.

Fuente: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de LAS PALMAS DE GRAN GRANADA.

- $p$  = presión a lo largo de la línea de corriente
- $\gamma$  = viscosidad
- $v$  = velocidad del fluido en la sección considerada
- $g$  = aceleración gravitatoria
- $Z$  = altura en dirección de la gravedad desde un punto de referencia

<sup>8</sup>Piezométrica.- referida a la altura relativa a la presión de un líquido.

Ahora, si consideramos dos tramos de tubería con diferente seccionamiento (red pública y red edificio), pero con un Ht constante tendríamos:

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + R + \Delta R$$

Donde tendríamos que incorporar en el segundo tramo (edificio) R y  $\Delta r$  como pérdidas por rozamiento y pérdidas puntuales del sistema respectivamente. Además si consideramos que los valores de  $\gamma$  son iguales a 1 por tratarse de agua y que  $V_0^2/2g$  es despreciable frente a la altura geométrica Z, entonces tendríamos:

$$Z_0 + p_0 = Z_1 + p_1 + \sum (R + \Delta R)$$

De esta manera, nosotros podemos aplicar el teorema de Bernoulli al uso de suministro de agua por red pública, que vendría a ser el caso de nuestro trabajo de investigación, exceptuando que la presión de la red, sería dada por la presión entregada por nuestra bomba de la cisterna principal. Así tendríamos que:

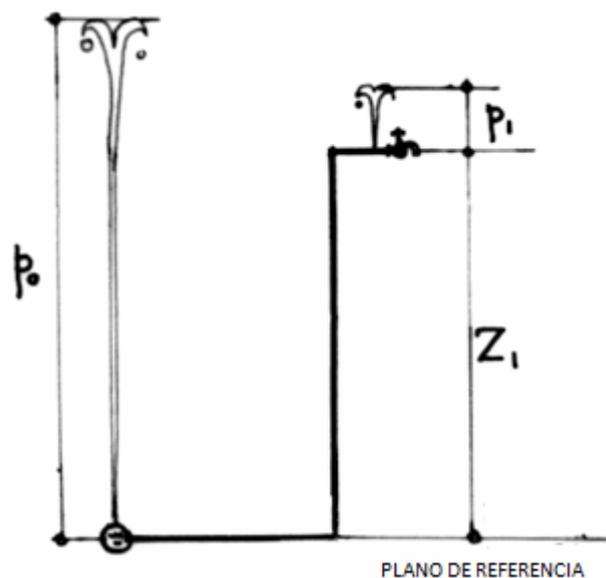


Figura N° 6: Gráfico altura piezométrica y presión de agua.  
Fuente: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de LAS PALMAS DE GRAN GRANADA.

$$0 + p_0 = Z_1 + p_1 + \sum (R + \Delta R)$$

$$p_1 = p_0 - Z_1 - \sum (R + \Delta R)$$

Dónde:

- $Z_0$  = altura de la red sobre el plano de referencia (=0)
- $p_0$  = presión de la red
- $Z_1$  = altura del grifo que se considere sobre el plano de referencia
- $p_1$  = presión pedida para el grifo.

Con estos datos, ya podemos dar un principio para el dimensionamiento de bombas para los sistemas de ACS.

### 1.3.3. Instalaciones de agua caliente

Podemos dar una primera aproximación a la clasificación de las instalaciones de ACS de la siguiente manera:

- Por su capacidad:

Individuales

Centralizados \*

- Por su función

Exclusivos \*

Mixtos

- Por el sistema de producción de ACS

## Instantáneos

### De acumulación \*

El calentador de agua que se utilizará para la producción de ACS en el edificio Manuela Sáenz de la UASB<sup>9</sup>, entra dentro de las clasificaciones que se encuentran marcadas con un \*, ya que lo utilizamos para abastecer a un importante número de usuarios, solo lo usamos para calentar agua (no para calefacción etc.), y debido a que el agua que se prepara se acumula en un depósito previo a su uso.

Una instalación de este tipo puede responder al siguiente diagrama:

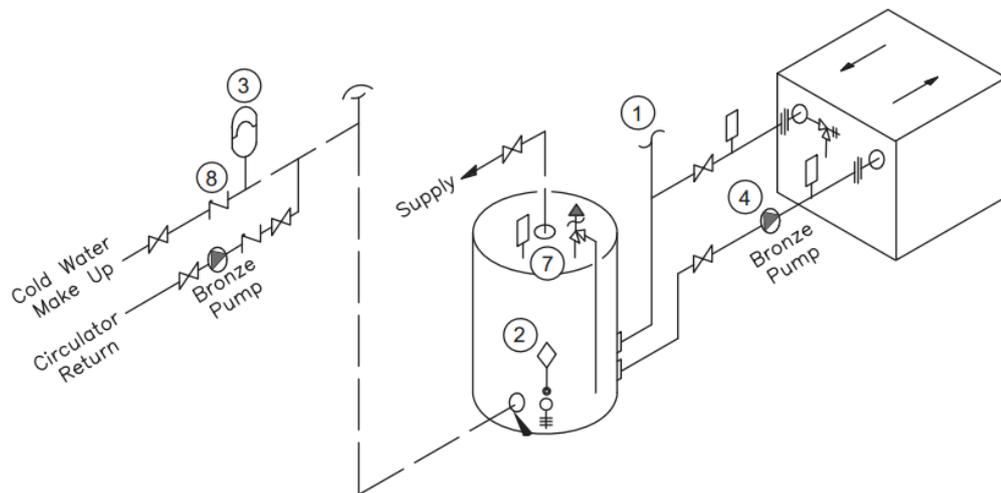


Figura N° 7: Diagrama de instalación de calentador de agua.  
Fuente: Manual de instalación Calentador RBI Dominator series.

Donde tenemos el siguiente funcionamiento:

- El agua fría, procedente de la red del edificio, entra en el acumulador a presión, desplazando al agua caliente hacia los puntos del edificio.
- La caldera mantiene la temperatura del agua del acumulador mediante el agua sobrecalentada que circula por un circuito cerrado e independiente llamado circuito primario.

<sup>9</sup> UASB.- Universidad Andina Simón Bolívar.

- Una bomba de aceleración o acelerador (bomba 3), situada en el circuito primario, se encarga de suministrar el caudal preciso de agua sobrecalentada y, por tanto, la temperatura del agua al acumulador.
- Otra bomba de aceleración o re-circulador (bombas 1 y 2) hace que el circuito secundario se mantenga permanentemente en movimiento, a fin de que no se enfríe el agua de la tubería en los períodos en que no hay consumo.

Como elementos complementarios cabe reseñar los siguientes:

- Vaso de expansión abierto, con flotador y desagüe, o cerrado (en este último caso provisto de válvula de seguridad) conectado a la parte superior de la caldera, o bien a la salida del circuito primario.
- Chimenea de dimensiones y trazado adecuados para la evacuación de los gases del hogar de la caldera.
- Purgadores en la parte alta de cada montante para la eliminación de posibles burbujas de aire.
- Tanque nodriza de combustible líquido para la alimentación del quemador.

Por su parte los elementos de control básico del conjunto son los siguientes:

- Termostato en caldera, que regula la micro-bomba y válvulas de entrada de combustible del quemador.
- Sistema termostático de control de las temperaturas de los circuitos de agua caliente.

#### **1.3.4. Calculo de caldera y acumulador**

Para realizar los cálculos de la caldera y acumulador cada uno con su expresión física que es la Potencia y el Volumen respectivamente, nos limitaremos a dar las expresiones matemáticas utilizadas así como las definiciones de su nomenclatura, debido a que no es objetivo de este trabajo de investigación, explicar el origen de dicho procedimiento matemático.

Para los cálculos de la potencia necesaria para el calentamiento de agua como para el volumen necesario para el acumulador, utilizaremos las siguientes expresiones:

$$P(\text{en Kw}) = 4,18 \frac{t_u - t_e}{h_v + h_p} \left\{ h_p QM_p + (G - QM_p H_p) \frac{h_v}{H - H_p} \right\}$$

$$V(\text{en l}) = \frac{h_v \times h_p}{h_v + h_p} (t_u - t_e) \frac{QM_p - \frac{G - QM_p H_p}{H - H_p}}{t_p - 0,4t_u - 0,6t_e}$$

En donde:

- $t_e$  = temperatura de entrada del agua fría en el acumulador (°C).
- $t_p$  = temperatura de preparación (°C).
- $t_u$  = temperatura de utilización del ACS (°C).
- $G$  = gasto diario de ACS del edificio (l.)
- $QM_p$  = caudal medio en los períodos punta (l/seg)
- $QM_v$  = caudal medio en los períodos valle (l/seg).
- $h_p$  = duración de cada período que consideramos como punta (seg)
- $h_v$  = duración de cada período que consideramos como valle (seg)
- $H$  = tiempo del día en que se considera el funcionamiento de la caldera (seg).
- $H_p$  = tiempo total de períodos puntas (seg).
- $H_v$  = tiempo total de períodos valle (=H -  $H_p$ ), (seg).
- $C$  = energía de la caldera consumida en un cierto período (k calorías).
- $J$  = energía de la caldera consumida en un cierto período (k julios).
- $P$  = potencia útil de la caldera (kw).
- $V$  = volumen del acumulador (ls).

Si analizamos la situación del sistema de ACS de la UASB, nos encontramos con

que los valores de volumen del acumulador ya están definidos del proyecto anteriormente instalado, lo que nos restaría es realizar los cálculos para la cantidad de potencia que necesita el calentador de agua para solventar las necesidades del edificio. Estos cálculos podrán ser revisados en la Anexo 1.

Para dar una idea general del estado de las instalaciones y el proceso de calentamiento de agua en la UASB, detallaremos a continuación algunos aspectos básicos de infraestructura y diseño para el sistema de ACS.

### **1.3.5. Infraestructura de planta Universidad Andina Simón Bolívar**

Empezamos por el edificio Manuela Sáenz de la Universidad Andina Simón Bolívar, que cumple la función de residencia universitaria. Es un edificio de 7 pisos y 2 subsuelos con la siguiente distribución:

- Subsuelo 2.- Parqueaderos.
- Subsuelo 1.- Parqueaderos, lavandería, bodegas y cuarto de calor.
- Pisos 1 y 2.- Oficinas, laboratorios, etc. UASB
- Pisos 3, 4, 5, 6, 7.- Residencia universitaria.

De igual manera la distribución de la residencia por habitaciones es la siguiente:

- **43 habitaciones sencillas**, para 1 o 2 personas con cama de 1 ½ plaza, escritorio, baño independiente, conexión a internet, teléfono y televisión.
- **6 habitaciones matrimoniales**, para 1 o 2 personas con cama de 2 plazas, escritorio, baño independiente, conexión a internet, teléfono y televisión.
- **suite estándar**, para 1 o 2 personas con cama de 2 plazas, escritorio, baño independiente, cocina tipo americana, sala, conexión a internet, teléfono y televisión.
- **suite estándar II**, para 1 o 2 personas con cama de 2 plazas, escritorio, baño independiente, sala, conexión a internet, teléfono y televisión.

- **suite de autoridades**, para 1 o 2 personas con cama de 2 ½ plazas, escritorio, sala, mesa comedor para 4 personas, cocina equipada, baño independiente, conexión a internet, teléfono y televisión.
- **4 departamentos tipo A**, cada uno con 2 habitaciones sencillas (con cama de 1 ¼ plazas, escritorio y conexión a internet), 1 habitación matrimonial (con cama de 2 plazas, escritorio y conexión a internet), 2 baños completos, sala, comedor para 4 personas y cocina equipada, 1 teléfono y 1 televisor.
- **4 departamentos tipo B**, cada uno con 3 habitaciones sencillas (con cama de 1 ½ plazas, escritorio y conexión a internet), 2 baños: 1 baño completo y 1 ½ baño, comedor para 4 personas y cocina equipada, 1 teléfono y 1 televisor.

El consumo promedio aproximado de agua potable es de 1154,9 m<sup>3</sup>/mes, de los cuales no se tiene un valor real al iniciar el trabajo de investigación de cuanto se destina al calentamiento del agua, por este motivo los valores de consumo se referirán a tablas internacionales de uso de agua caliente sanitaria (ACS) para residencias y hoteles .

Ahora bien, dentro del cuarto de calor tenemos los siguientes elementos que lo componen:

- **El calentador de agua.-** que como su nombre lo indica resulta el sistema más eficiente para cumplir con el propósito de calentar el agua, de esta manera representa el “corazón” del sistema.
- **Sistema hidráulico.-** que comprende tuberías de transporte de agua fría, tuberías de transporte de agua caliente, bombas, tanque de expansión, llaves de paso y válvulas.
- **Tanques de almacenamiento de agua o tanques acumuladores.-** que son los encargados de contener y almacenar el agua caliente proveniente del calentador.
- **El combustible.-** se utilizará para la combustión dentro del calentador, y en este caso es GLP que se encuentra embazado en bombonas, cada una con capacidades de 439 lts y 250 kg, ubicadas en la parte exterior del edificio.

Las características técnicas de los elementos que componen el cuarto de calor se encuentran en la sección de anexos.

La secuencia de eventos concurrentes para obtener como resultado el agua a mayor temperatura (basados en el numeral 1.3.3) es la siguiente:

- a)** Se lleva el agua de la cisterna de almacenamiento principal hacia el cuarto de calor por medio de la tubería de agua fría con la ayuda de una bomba (bomba 1).
- b)** El agua que ingresó al cuarto de calor, se mezcla con el agua de retorno del edificio, el agua de salida del calentador, e ingresa al tanque de almacenamiento.<sup>10</sup>
- c)** El agua de retorno del edificio, ingresa a la recirculación y mezcla mediante las bombas destinadas para ello (bomba 2, bomba 3), que las llamaremos bombas de recirculación, estas a su vez tienen un funcionamiento alternante para repartir el trabajo realizado.
- d)** El agua de salida del calentador (agua caliente) es agua extraída del tanque de almacenamiento por medio de la bomba del mismo calentador (bomba 4), su temperatura es elevada desde la temperatura de referencia del tanque hasta los 75°C, para posteriormente salir hacia la mezcla mencionada en el literal b).
- e)** El agua existente en los centros de consumo, será finalmente la que entrega la parte superior de tanque de almacenamiento hacia la tubería del edificio.

De esta manera el ciclo de calentamiento de agua se cierra, lo que lo convierte desde un punto de vista de la teoría del control, en un sistema de control cerrado, al tener una acción de control dependiente de la señal de salida. De igual manera que lo mencionado en el literal 1.2.3, no por entrar en la definición de sistema cerrado de control, quiere decir que el sistema termodinámico lo sea.

Todos estos elementos se encuentran regulados y programados por dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos ubicados en diferentes partes del proceso

---

<sup>10</sup> Nota.- Es necesario mencionar que el esfuerzo mecánico que se produce por el cambio de temperatura, es absorbido por el tanque de expansión, y no por la tubería.

(Referirse al Anexo 15).

#### **1.4. Resultados obtenidos después del proceso industrial.**

El principal resultado obtenido una vez cumplidos la secuencia de eventos detallados en el numeral 1.3, es agua caliente sanitaria (ACS), continua, a 55°C para el usuario final.

Así también las características químicas esperadas del ACS se presentan en el Anexo 3.

## CAPITULO II

### 2. Diseño y desarrollo del sistema SCADA para el proceso de calentamiento de agua sanitaria.

#### 2.1. Estructura del sistema SCADA.

Un sistema SCADA se define como un acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), forma parte del proceso de automatización industrial con el objetivo de automatizar el control y supervisión de datos a distancia dentro de los procesos industriales.

En forma general el sistema SCADA instalado en la UASB contiene el siguiente diagrama estructural:

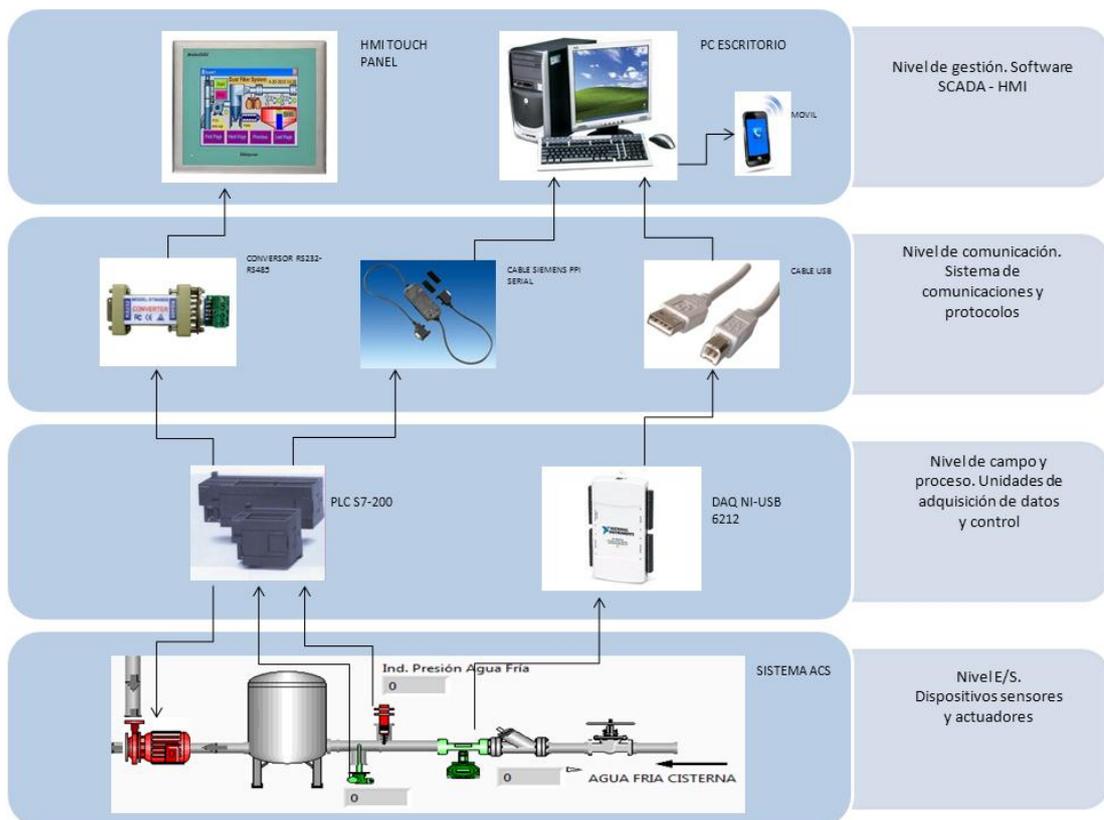


Figura N° 8: Diagrama estructural sistema SCADA UASB

Fuente: Autores

Dentro de la estructura general del sistema de adquisición de datos, podemos encontrar el siguiente esquema del flujo de información:

Disp. Móvil - <sup>11</sup>HMI PC Escritorio – PLC Siemens S7-200 – HMI Pantalla Touch

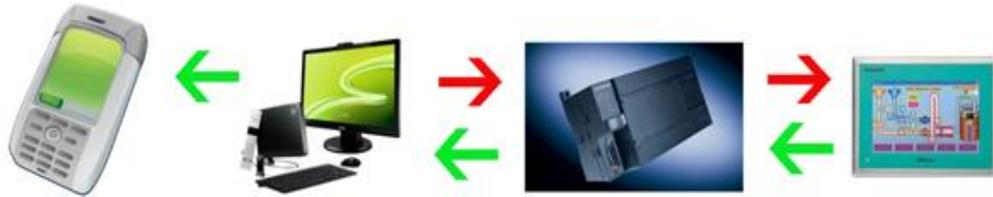


Figura N° 9: Esquema del flujo de información sistema de adquisición de datos.  
Fuente: Autores.

**Dispositivo Móvil.-** Mediante el sistema Microsoft Windows Mobile, y una conexión inalámbrica a la red en la que se encuentra el HMI <sup>12</sup>PC Escritorio, permitirá al usuario monitorear los distintos valores de temperatura, presión y visualización de alarmas disparadas en el sistema de ACS.

**HMI PC Escritorio.-** Se basa en el software LabVIEW y es el encargado del monitoreo de todas las señales provenientes de los sensores del sistema de ACS, el registro y almacenamiento de los valores de dichas señales y reportes, además tiene la opción para el cambio del valor de SETPOINT de la temperatura de retorno del sistema y disparo de alertas.

**PLC Siemens S7-200.-** Dentro del sistema, es el encargado del monitoreo de los valores de la señal de temperatura de retorno, así como de los sensores de GLP y humo, además posee el control del encendido de las bombas tanto del calentador de agua por medio de una señal proveniente del controlador instalado en el mismo calentador, como de las bombas de retorno controladas por la señal de temperatura de retorno. Así también está encargado del disparo de alertas y cierre de electroválvula de GLP.

<sup>11</sup> HMI .- Interfaz Usuario Máquina

<sup>12</sup> PC.- Personal Computer

**HMI Pantalla Touch.-** Ubicada en el tablero de control eléctrico cerca del calentador de agua, posee similares características al HMI PC Escritorio pero con limitadas opciones visuales, con lo brinda una vista rápida del estado del sistema de ACS en el sitio, además también brinda la posibilidad de modificar el valor de <sup>13</sup>SET POINT de la temperatura de retorno y visualización de alertas.

## 2.2. Instrumentos actuadores y sensores.

- **Electroválvula para gas.**



Figura N° 10: Electroválvula Gas.  
Fuente: Autores

El calentador de agua que será instalado funciona en base a gas, por lo que se ha requerido instalar una electroválvula para el flujo específicamente de este combustible.

En el sistema se ha instalado una electroválvula de gas, con la finalidad de tener control en el suministro del GLP, esto para casos emergentes como fuga de gas, alta presión del gas en la tubería; o por mantenimiento en el calentador en donde se debería cortar el suministro por precaución en el trabajo.

Este actuador va a recibir las señales de los sensores de humo, detector de gas y

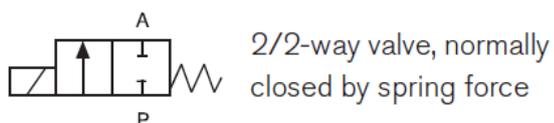
---

<sup>13</sup> SET POINT.- valor de referencia de una variable del sistema.

sensor de presión a través del <sup>14</sup>PLC, (Ver el apartado 2.3.6).

La electroválvula en su estado inicial es normalmente cerrada para lo cual, para poder abrirla y que el gas fluya por la tubería hay que enviarle por medio del PLC un pulso.

### Características técnicas:



- Voltaje: 110 VAC
- Presión: 0 – 4 bar.
- Potencia: 10 W.

TECHNICAL DATA	
<b>MEDIA</b>	
<b>FKM</b>	Hot air, <b>hot oils</b> , oils with additives, per-solutions
<b>PTFE</b>	Water, steam, fuels, hydraulic materials, alcohol, organic solvents, waste gas
<b>MEDIA TEMPERATURE</b>	
<b>FKM</b>	-10 to +130 °C
<b>PTFE</b>	-40 to +180 °C
<b>Steel</b>	Up to +250 °C (on Request)
<b>Viscosity</b>	Max. 21 mm <sup>2</sup> /s
<b>Ambient temperature</b>	Max. +55 °C (250 °C on request), please see ordering chart
<b>Voltage Tolerance</b>	± 10%
<b>Weight (Kg)</b>	0.6 (brass version)

Tabla N° 1: Características básicas Electroválvula Burkert  
Fuente: Fabricante Burkert

<sup>14</sup> PLC.- Controlador Lógico Programable.

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas ELECTROVAVULA GAS ver el Anexo 5.

- **Transmisores**

**Transmisores de Temperatura.**



Figura N°11: Transmisor de temperatura  
Fuente: Autores

Se instalaron 6 transmisores de temperatura dentro del sistema, ubicados en:

- La tubería de retorno del edificio.
- En los tanques de almacenamiento de agua caliente.
- En la tubería de salida del calentador.
- En la tubería de entrada de agua fría.
- En la tubería de salida de ACS al usuario.
- **Nota:** Referirse al Anexo12.

Los cuales nos proporcionarán información sobre la temperatura a la que se encuentra el agua, y esta a su vez será monitoreada por el operario mediante el HMI de LabVIEW o la Pantalla Touch. Cabe mencionar que los datos en la Pantalla Touch se podrán monitorear solo si el PLC se encuentra en

funcionamiento; ya que el PLC es el que comparte las variables medidas con la pantalla.

Estos transmisores de temperatura se los ha seleccionado debido a sus grandes beneficios en la implementación del sistema que se los detalla a continuación:

- Un funcionamiento fiable a través de un diseño robusto y materiales de alta calidad.
- Buena estabilidad a largo plazo, la precisión y linealidad
- Instalación rápida y segura.

**Características técnicas:**

<b>Rango de Medición:</b>	-50 °C .....150 °C
<b>Elemento sensor:</b>	Pt 100
<b>Señal de salida y la máxima</b>	4 mA..... 20 mA, 2 hilos
<b>RENDIMIENTO</b>	
<b>Transmisor de la precisión:</b>	$\leq \pm 0,2\%$ del rango
<b>Transmisor de linealidad:</b>	$\leq \pm 0,1\%$ del rango
<b>MECANICA / ELECTRONICA</b>	
<b>Tensión de alimentación:</b>	10 V DC ..... 36 V DC para la Variante con el transmisor 4mA...20mA
<b>Resistencia a la Presión:</b>	max. 120 bar

Tabla N° 2: Características básicas Transmisor de temperatura SICK  
Fuente: Fabricante SICK

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas transmisores de temperatura ver el Anexo 6.

## Tabla comparativa entre sensores de Temperatura

CARACTERÍSTICA	TERMOPAR	TERMISTOR	TERMORRESISTENCIA	PIRÓMETROS
<b>Rango de Operación(°C)</b>	-200 a 1700	-195 a 450	-250 a 650	-40 a 3000
<b>Precisión Típica</b>	±22 °C a 0°C	±0.2 °C a 25°C	±0.1 °C a 0°C	±0.5 %
<b>Deriva</b>	< ±5 C/año	< ±0.1 C/año	< ±0.1 C/año	
<b>Alcance Mínimo</b>	20	1	5	
<b>Alcance Máximo</b>	Todo el rango	100	Todo el Rango	100 a 500
<b>Tiempo de respuesta (s)</b>	1	1	3	
<b>Repetitividad (°C)</b>	0.11	0.03 a 0.11	0.04	Muy Buena
<b>Linealidad</b>	buena	Pobre	Excelente	Muy pobre

Tabla N° 3: Comparativa Transmisores de temperatura

Fuente: Autores

Debido a las características de los diferentes sensores de temperatura presentados en la tabla comparativa, tomamos la decisión de usar para la medición de temperatura en nuestro sistema un RTD-PT100<sup>15</sup>, debido a que presenta una excelente linealidad, y una muy buena precisión de medición, lo que resulta en datos de lectura obtenidos altamente fiables.

### Transmisores de Presión.



Figura N° 12: Transmisor de Presión

Fuente: Autores

<sup>15</sup> RTD-PT100. Dispositivo termo-resistivo.

Se ha instalado 3 transmisores de presión dentro del sistema, los cuales se encuentran ubicados en:

- Tubería de GLP alimentador de combustible del calentador.- Utilizado para medir la presión de la tubería de GLP
- Salida del tanque de almacenamiento.- Utilizado para medir la presión del agua que se distribuye al edificio.
- Tubería de agua fresca hacia el tanque de almacenamiento.- Utilizado para medir para presión de agua proveniente de la cisterna de almacenamiento de agua.

A continuación se detallan características del elemento seleccionado:

La señal que nos va a proporcionar el sensor es en el rango de 4 a 20 mA. Este elemento entre sus ventajas nos ofrece:

- Su tamaño compacto ocupa menos espacio.
- Instalación sencilla y ahorro de costos.
- Robusto diseño permite una mayor fiabilidad.
- Excelente relación calidad-precio.
- Soluciones óptimas gracias a una versátil capacidad de configuración.

**Características:**

<b>Rango de Medición:</b>	0 bar .....10 bar
<b>Elemento sensor:</b>	Membrana
<b>Temperatura de Proceso:</b>	0 °C..... 80 °C
<b>RENDIMIENTO</b>	
<b>Precisión:</b>	<= + / - 1%

<b>MECÁNICA / ELECTRÓNICA</b>	
<b>Señal de salida:</b>	4 ..... 20 mA
<b>Tensión de alimentación:</b>	8 V DC ..... 30 V DC
<b>AMBIENTE DE DATOS</b>	
<b>Temperatura Ambiente</b>	0°C ..... 80 °C

Tabla N° 4: Características básicas Transmisor de presión SICK  
Fuente: Fabricante SICK

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas transmisores de presión ver el Anexo 7.

- **Detectores de flujo.**



Figura N° 13: Detectores de Flujo  
Fuente: Autores

Se han instalado 4 sensores detectores de flujo, y se los ha colocado antes de las bombas de recirculación del edificio, los cuales van conectados a las entradas del PLC con el objetivo de detectar un posible error en los datos de lectura del encendido de las bombas y la presencia o no de flujo del fluido dentro de la tubería.

Su mecanismo consiste en una paleta que se ubica transversalmente al flujo que se pretende detectar. El flujo empuja la paleta que está unida a un eje que atraviesa herméticamente la pared del sensor de flujo y apaga o enciende un interruptor en

el exterior del sensor, permitiendo que circule la corriente el cual nos permite obtener una señal, que se verá reflejado en las HMI y el PLC, indicándonos si la bomba se ha encendido o no, ya que si hay un flujo de agua nos indicaría que la bomba está encendida haciendo circular el agua en dicha tubería, mientras que si no existe flujo de agua y el indicador esta encendido, el sistema entra a un estado de emergencia.

#### **Características técnicas:**

- Para tubería de 1''
- Corriente máxima 15 A
- Voltaje 120 VAC

- **Medidores de Caudal**



Figura N° 14: Medidores de Flujo  
Fuente.- Autores.

Se ha instalado 3 medidores de caudal en el sistema para poder medir el consumo de:

- Cocina.
- Retorno de agua caliente.
- Ingreso de agua fría al sistema.

Para medir el consumo de agua de las habitaciones y lavandería de la residencia, realizamos la diferencia entre el ingreso de agua fría al sistema menos el caudal de uso de la cocina. Esto podemos expresarlo de la siguiente manera:

$$I_{\text{aguafría}} = O_{\text{residencia}} + \text{Perdidas del sistema}$$

Si se desprecia las pérdidas de agua del sistema y las mediciones se realizan una vez lleno el sistema de agua donde  $V_{\text{sistemaACS}} = 0$  entonces tenemos:

$$\begin{aligned} O_{\text{residencia}} &= O_{\text{cocina}} + O_{\text{Habitaciones y lavandería}} \\ O_{\text{Habitaciones y lavandería}} &= O_{\text{residencia}} - O_{\text{cocina}} \\ O_{\text{Habitaciones y lavandería}} &= I_{\text{aguafría}} - O_{\text{cocina}} \end{aligned}$$

Debido a que existe recirculación del agua dentro del sistema para recuperar temperatura, es necesario evaluar el trabajo que realiza el calentador sobre esta cantidad de agua; para ello se ha implementado el medidor de caudal al retorno de agua caliente.

Para la medición del consumo del área de cocina el medidor se lo ha colocado en el ramal derivado hacia dicha área, ya que colocarlo antes, nos arrojaría datos donde se incluya el caudal de retorno del edificio. Ahora bien, ya que existen diversos ramales para el uso de la cocina, y es desconocido el dato del caudal de retorno específico de dichos ramales, usaremos para las horas pico de uso de la cocina, una aproximación de retorno de agua caliente no mayor al 10% del total de agua que pasa por el retorno de todo el edificio, debido al gran uso en los grifos y poco estado de agua en recirculación sin uso dentro de dicho intervalo de tiempo. Con esto daremos una ventana de error de 10% para el uso de agua en la cocina, lo que esperamos se reduzca en el transcurso de las primeras pruebas con el sistema en funcionamiento, para poder estimar con mayor exactitud el retorno real de agua proveniente de dicho ramal.

Los medidores de caudal tienen entre sus grandes ventajas:

- Reducción de los costos de mantenimiento.

- Rangos de medición ajustables reduce el número de variantes.
- Capacidad de ser utilizado con líquidos conductores y no conductores reduce las variantes y reduce los costos de almacenamiento.
- Tubo de medición recto reduce la pérdida de presión, reduciendo así los costos de energía.

### Características técnicas.

<b>Temperatura de Proceso:</b>	0 °C .....80 °C
<b>Presión del Proceso:</b>	Máx. 6 bar
<b>RENDIMIENTO</b>	
<b>Flujo Mínimo:</b>	5 L/min.
<b>Caudal máximo:</b>	240 L/min.
<b>Precisión del elemento sensor:</b>	2% (del Valor Final)
<b>DATOS ELÉCTRICOS</b>	
<b>Tensión de alimentación:</b>	18 V DC..... 30 VDC
<b>Consumo de Energía:</b>	≤ 180 mA
<b>Señal de salida:</b>	Salida analógica: 4 mA 20 mA
<b>Impulso /salida de Frecuencia</b>	0 kHz..... 10 kHz
<b>Señal de nivel inferior:</b>	3,8 mA..... 4 mA
<b>Señal de nivel superior</b>	20 mA.....20,5 mA
<b>AMBIENTE DE DATOS</b>	
<b>Temperatura Ambiente en servicio:</b>	0°C..... 60 °C
<b>Temperatura ambiente, el almacenamiento:</b>	-20°C..... 70 °C

Tabla N° 5: Características básicas Flujómetro SICK  
Fuente: Fabricante SICK

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas medidor de caudal ver el Anexo 8.

Como se puede apreciar en las características, el sensor que hemos seleccionado para la medición de caudal consumido por el edificio es un sensor por ultrasonido, se seleccionó este sensor ya que al momento de ser instalado en la tubería, este no presenta contacto con el fluido para realizar la medición, el cual es una ventaja ya

que al no entrar en contacto directo con el fluido, este no nos generaría una interrupción en el paso de agua por la tubería. A continuación se detalla el funcionamiento de este tipo de sensores:

### Funcionamiento de un medidor de caudal por ultrasonido.

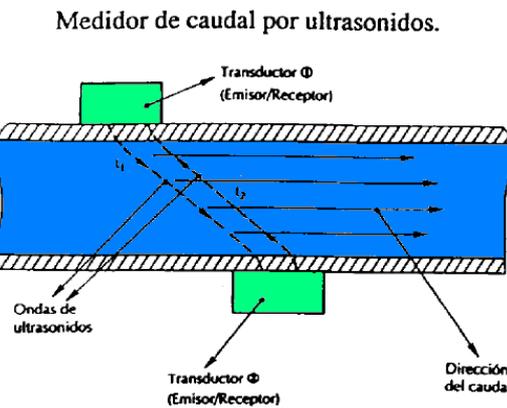


Figura N° 15: Funcionamiento sensor por ultrasonido  
Fuente: Internet

Consta de sondas, que trabajan por pares, como emisor y receptor. La placa piezo-cerámica de una de las sondas es excitada por un impulso de tensión, generándose un impulso ultrasónico que se propaga a través del medio líquido a medir, esta señal es recibida en el lado opuesto de la conducción por la segunda sonda que lo transforma en una señal eléctrica.

El convertidor de medida determina los tiempos de propagación del sonido en sentido y contrasentido del flujo en un medio líquido y calcula su velocidad de circulación a partir de ambos tiempos, y a partir de la velocidad se determina el caudal que ha pasado por el sensor.

Aquí presentamos una tabla comparativa entre los diferentes sensores de medición de caudal de fluidos:

COMPARATIVA DE LOS DISTINTOS SENSORES						
Sensor de flujo	Líquidos recomendados	Pérdida de presión	Exactitud típica en %	Medidas y diámetros	Efecto viscoso	Coste Relativo
Orificio	Líquidos sucios y limpios; algunos líquidos viscosos	Medio	$\pm 2$ a $\pm 4$ of full scale	10 a 30	Alto	Bajo
Tubo Venturi	Líquidos viscosos, sucios y limpios	Bajo	$\pm 1$	5 a 20	Alto	Medio
Tubo Pitot	Líquidos limpios	Muy bajo	$\pm 3$ a $\pm 5$	20 a 30	Bajo	Bajo
Turbina	Líquidos limpios y viscosos	Alto	$\pm 0.25$	5 a 10	Alto	Alto
Electromagnética.	Líquidos sucios y limpios; líquidos viscosos y conductores	No	$\pm 0.5$	5	No	Alto
Ultrasonic. (Doppler)	Líquidos sucios y líquidos viscosos	No	$\pm 5$	5 a 30	No	Alto
Ultrasonic. (Time-of-travel)	Líquidos limpios y líquidos viscosos	No	$\pm 1$ a $\pm 5$	5 a 30	No	Alto

Tabla N° 6: Comparativa sensores  
Fuente: Autores

### 2.2.1. Mecanismos de monitoreo de estados de emergencia

Debido a que el calentador tiene como combustible GLP, se vio la necesidad de instalar un sensor de humo y un sensor de gas, para en caso de entrar a un estado de emergencia, estos puedan detectar ya sea un incendio o un escape de gas por la tubería respectivamente, y de esta manera poder tomar acciones como; el corte de suministro de gas hacia el cuarto de calor, encendido de luces de emergencia, alertas audio visuales en los HMI etc.

Las luces que nos indican el estado de sistema tienen los siguientes estados:

- Verde: Estado Normal de Operación.
- Rojo: Estado de emergencia.

Ante cualquier cambio de estado del sistema, una alarma sonora en el cuarto de calor, advertirá sobre los eventos presentados.

- **Sensor de Humo**

El detector fotoeléctrico reacciona ante la presencia de productos de combustión (humos visibles) lo cual hace que sea ideal para detectar un incendio en su fase inicial, mucho antes de que se formen llamas. El principio de funcionamiento se basa en la técnica de dispersión de la luz: en el interior de la cámara se emite una luz infrarroja pulsante; al entrar el humo en el interior de la cámara produce la dispersión de la luz que es detectada por un fotodiodo receptor. Un circuito amplificador mide la cantidad de luz y da la señal de alarma cuando supera el nivel ajustado. Se utiliza siempre en atmósferas limpias y es indicado para detectar los incendios que producen humos visibles especialmente los producidos por materiales plásticos tales como polietileno, PVC, etc.

**Características técnicas:**

- Detectores Fotoeléctricos.
- Detector Multi-criterio que sobrepasa los requerimientos de protección.
- Cámara especialmente diseñada para minimizar la adherencia de partículas de polvo y suciedad.
- Rango de voltaje de operación de 110Vac.
- Rango de temperatura de operación de -30 a +70°C.

- **Sensor detector de Gas GD-2A MACURCO**

El detector de gas de combustión es capaz detectar la presencia de gases de

combustión como el propano o el gas natural (metano); este dispositivo se puede instalar en salas con aplicaciones que usan gases o que puedan producirse fugas.

El detector emplea un rectificador de puente de onda completa, por lo que acepta tensión de alimentación de cualquier polaridad. La unidad funciona con alimentación de CA y CC de entre 12 V y 24 V, y emplea un regulador de conmutación para ajustar de forma eficaz las diferentes tensiones de entrada al sistema interno fijo de alimentación.

El detector cuenta con un LED de estado verde y otro rojo en la parte frontal, usa un sistema interno de retardo de dos minutos para evitar las alarmas durante el calentamiento del sensor de gas. Durante el período de calentamiento, el indicador LED verde parpadea. Una vez transcurrido el tiempo de retardo, el LED verde se ilumina de forma fija indicando que la unidad opera normalmente.

El detector integra un circuito de supervisión para las funciones clave. En caso de producirse problemas debido al mal funcionamiento de componentes que pueden sufrir fallos, ambos indicadores parpadean y se activa el relé de problema. Los fallos de alimentación también hacen que el relé de problema se active. El LED rojo se ilumina a la vez que se activa el relé de alarma para indicar que se ha producido una condición de alarma.

El gas natural (metano) es más ligero que el aire y se acumula en el techo. El gas de tanques (propano) es más pesado que el aire y se acumula en el suelo. Debido a esta propiedad del gas se decidió poner un sensor de gas a 30 cm del suelo en el cuarto de calor en una ubicación apropiada que le permita censar.

#### **Características técnicas:**

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
<b>CONSIDERACIONES AMBIENTALES</b>	
<b>Temperatura (Operación):</b>	De 0°C a +49 °C (de +32 °F a +120 °F); Para instalaciones UL. De +4.4 °C a +49 °C (de +40 °F a +120 °F)

<b>SALIDAS</b>	
<b>ALARMA</b>	
<b>Potencia del Relé:</b>	0.125 A, 40 v, 3 VA
<b>Ajuste de Sensibilidad</b>	25% por debajo del LIE del propano y del metano
<b>PROBLEMAS</b>	
<b>Potencia del Relé:</b>	0.25 A, 40 V, 10 VA
<b>REQUISITOS DE ALIMENTACIÓN:</b>	
<b>CORRIENTE</b>	
<b>Alarma:</b>	a 12 VCC: 70 mA; a 24 VCC: 35 mA a 12 VCA: 100 mA; a 24 VCA: 65 mA
<b>en Reposo:</b>	a 12 VCC: 45 mA; a 24 VCC: 22 mA a 12 VCA: 65 mA; a 24 VCA: 45 mA
<b>TENSIÓN</b>	
<b>VCC de Entrada:</b>	de 12 VCC a 24 VCC
<b>VCA de Entrada:</b>	de 12 VCA a 24 VCA, 50 Hz o 60 Hz

Tabla N° 7: Características detector de GLP  
Fuente: Fabricante.

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas sensor de gas ver el Anexo 9.

## 2.3. Adquisición, monitoreo y control de datos.

### 2.3.1. Dispositivos de monitoreo, adquisición y control de datos

- **DAQ (Tarjeta de adquisición de Datos)**

El módulo USB-6212 de National Instruments es un módulo de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M energizado por bus USB y optimizado para una precisión superior a altas velocidades de muestreo. Ofrece 16 entradas analógicas, velocidad de muestreo de 400 kS/s, dos salidas analógicas, 32 líneas de E/S digital, cuatro rangos de entrada programable ( $\pm 0.2$  V a  $\pm 10$  V) por canal, disparo digital y dos contadores/temporizadores. El módulo NI USB-6212 está

diseñado específicamente para aplicaciones móviles o con restricciones de espacio. La instalación plug-and-play<sup>16</sup> minimiza el tiempo de configuración y montaje mientras que la conectividad directa con terminales de tornillo mantiene los precios bajos y simplifica las conexiones de señal. Este producto no requiere potencia externa.

Entre los sensores que estarán conectados a la DAQ rápidamente tenemos:

- Sensor de temperatura del tanque de almacenamiento.
- Sensor de temperatura de entrada de AFS.
- Sensor de temperatura de salida del calentador de ACS.
- Sensor de temperatura de salida de ACS al usuario.
- Sensor de presión de AFS.
- Sensor de presión de ACS al usuario.
- Flujómetro de AFS.
- Flujómetro retorno de ACS.

### Especificaciones Técnicas DAQ

<b>General</b>	
<b>Producto</b>	USB-6212
<b>Formato Físico</b>	USB
<b>Sistema Operativo/Objetivo</b>	Windows
<b>Entrada Analógica</b>	
<b>Canales</b>	16 , 8
<b>Canales de una sola terminal</b>	16
<b>Canales Diferenciales</b>	8
<b>Resolución</b>	16 bits

<sup>16</sup> Plug and play.- (en español "enchufar y usar") es la tecnología que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar, mediante jumpers o software específico (no controladores) proporcionado por el fabricante, ni proporcionar parámetros a sus controladores.

<b>Velocidad de Muestreo</b>	400 kS/s
<b>Máx. Voltaje de Entrada Analógica</b>	10 V
<b>Muestreo Simultáneo</b>	No
<b>Salida Analógica</b>	
<b>Canales</b>	2
<b>Resolución</b>	16 bits
<b>Máx. Voltaje de Salida Analógica</b>	10 V
<b>Razón de Actualización</b>	250 kS/s
<b>E/S Digital</b>	
<b>Canales Bidireccionales</b>	32
<b>Número de Canales</b>	32 , 0 , 0
<b>Capacidad de Corriente Simple</b>	16 mA
<b>Capacidad de Corriente Total</b>	50 mA
<b>Máximo Rango de Entrada</b>	0 V , 5.25 V
<b>Máximo Rango de Salida</b>	0 V , 3.8 V
<b>Contadores/Temporizadores</b>	
<b>Número de Contadores/Temporizadores</b>	2
<b>Resolución</b>	32 bits

Tabla N° 8: Características básicas DAQ NI  
Fuente: Fabricante National Instruments

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas DAQ ver el Anexo 7.

- **Controlador Lógico Programable.**

El controlador lógico programable seleccionado para el sistema es el SIEMEN S7-200, el cual puede ser programado mediante el programa STEP-7 Micro/Win; este constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación.

El S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario. Gracias a su diseño compacto, su configuración flexible, y su amplio juego de operaciones, el S7-200 es apropiado para solucionar algunas tareas de automatización.

La gama S7-200 nos ofrece una gama amplia de módulos lo cual nos facilita el satisfacer los requisitos de la aplicación que se requiera implementar.

El PLC S7-200 opera con el siguiente modulo que es el implementado en el sistema:

- **Modulo Analógico EM 231**

El Modulo analógico EM 231 dispone de 4 entradas analógicas de 12 bits, pueden convertir una señal analógica a su correspondiente señal digital en 149  $\mu$ s, estos proporcionan una señal digital no procesada es decir sin linealización ni filtraje, que corresponde a la tensión o a la intensidad analógicas en los terminales de entrada del módulo.

**Entradas Analógicas.-** Para nuestro sistema se ha utilizado 2 entradas analógicas, en la primera entrada se encuentra conectado un transmisor de temperatura que nos proporcionara la información del retorno del edificio y este a su vez enviara la información al PLC para que, en caso de que la temperatura en la tubería de retorno haya disminuido, este encenderá las bombas y hará recircular el agua existente en dichas tuberías depositándola en el tanque. Este módulo permite conectar señales de tensión y corriente.

Las señales obtenidas por el transmisor de temperatura ubicado en el retorno de ACS de la residencia son señales de corriente normalizados en un rango de 4 a 20 mA. El modulo dispone en su interior de una resistencia de 250 ohm integrada por cada entrada analógica.

En la segunda entrada analógica se conectó un sensor de presión, que se encuentra

midiendo la presión de la tubería de GLP, el cual enviara información hacia el PLC con señales normalizadas en un rango de 4 – 20 mA; dado el caso de una subida de presión en la tubería de gas, este sería el encargado de mandar a cerrar la electroválvula instalada en la acometida principal de GLP, y pasar a un estado de emergencia en el sistema.

En la entrada analógica número tres, se encuentra el medidor de flujo proveniente de la cocina, que posee una salida de 4 – 20 mA, y proveerá la información necesaria para el cálculo de la facturación de la cantidad de agua caliente utilizada por la cocina de la residencia universitaria.

### **2.3.2. Diseño del sistema de monitoreo y control del software**

#### **LabVIEW.**

LabVIEW posee una gran flexibilidad a la hora de combinar un lenguaje de programación con el poder de una herramienta avanzada de ingeniería. Su programación de forma gráfica permite al usuario un entendimiento diferente de los procesos que llevan al desarrollo de un completo sistema de control, análisis, presentación y monitoreo para ser aplicados en diversos métodos de adquisición de datos.

Si bien existe la posibilidad de utilizar un lenguaje de programación escrita en líneas de código, similar a lo utilizado en otras plataformas de programación, la programación en forma gráfica brinda al usuario entre algunos beneficios los siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones.
- Resulta sencillo de aprender por ser un método de programación muy intuitivo.
- Permite realizar cambios y actualizaciones tanto en el software como hardware, lo que lo convierte en un programa de gran flexibilidad.

- Brinda al usuario la posibilidad de crear aplicaciones para solucionar completamente problemas complejos.

### **2.3.2.1. Operaciones.**

Las operaciones principales que realiza el software LabVIEW como parte del monitoreo del sistema de ACS son:

#### **Para temperatura:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura de retorno de agua caliente.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura de ingreso de agua fría al sistema.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura de salida de agua caliente del calentador.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura de salida de gases del calentador de agua caliente.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura de salida de agua caliente del tanque de almacenamiento.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura dentro del tanque de almacenamiento de agua caliente.

#### **Para presión:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presión relativa para el fluido de agua fría de entrada al sistema de ACS.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presión relativa para el fluido de agua caliente proveniente de la salida del tanque de almacenamiento.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presión relativa para el GLP utilizado para el funcionamiento del calentador de ACS.

**Para detección de flujo:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería de retorno utilizando la bomba de retorno 1.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería de retorno utilizando la bomba de retorno 2.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería de ingreso al calentador de agua utilizando la bomba del calentador.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería para desfogue del agua del tanque de almacenamiento por acción gravitatoria.

**Para caudal y consumo de ACS:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de caudal de ingreso por la tubería de agua fría hacia el sistema de ACS.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de caudal de retorno de ACS hacia el tanque de almacenamiento de agua.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de caudal registrada por motivo del uso en la cocina de las instalaciones.

**Para presencia de humo:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presencia de monóxido de carbono en el cuarto contenedor del calentador de agua.

**Para presencia de GLP:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presencia de Gas Licuado de Petróleo en el cuarto contenedor del calentador de agua.

**Para falla de voltaje:**

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de pérdida de voltaje o inversión de fase existentes en el tablero eléctrico.

Las operaciones principales que realiza el software LabVIEW dentro del control del sistema de ACS son:

**Para operación de bombas de agua:**

- Control sobre la señal de funcionamiento de los contactores<sup>17</sup> para encendido o apagado de bombas de retorno 1 y 2 de ACS.
- Control sobre la señal de funcionamiento de contactor para encendido o apagado de bomba de calentador de ACS.

**Para paso de GLP:**

- Control sobre la señal de funcionamiento de contactor para apertura o cierre de la electroválvula para el paso de GLP hacia el calentador.

Para sistema de alarmas auditivas y visuales:

- Control sobre la señal de funcionamiento de relé para encendido o apagado del estado de emergencia, reflejado en señales lumínicas y sonoras.

Para el desarrollo de la aplicación en LabVIEW que será utilizada para el sistema de control y monitoreo del sistema de ACS, se ha tomado como base los siguientes diagramas de flujo y SubVIS:

---

<sup>17</sup> Contactor.- dispositivo de control electromecánico.

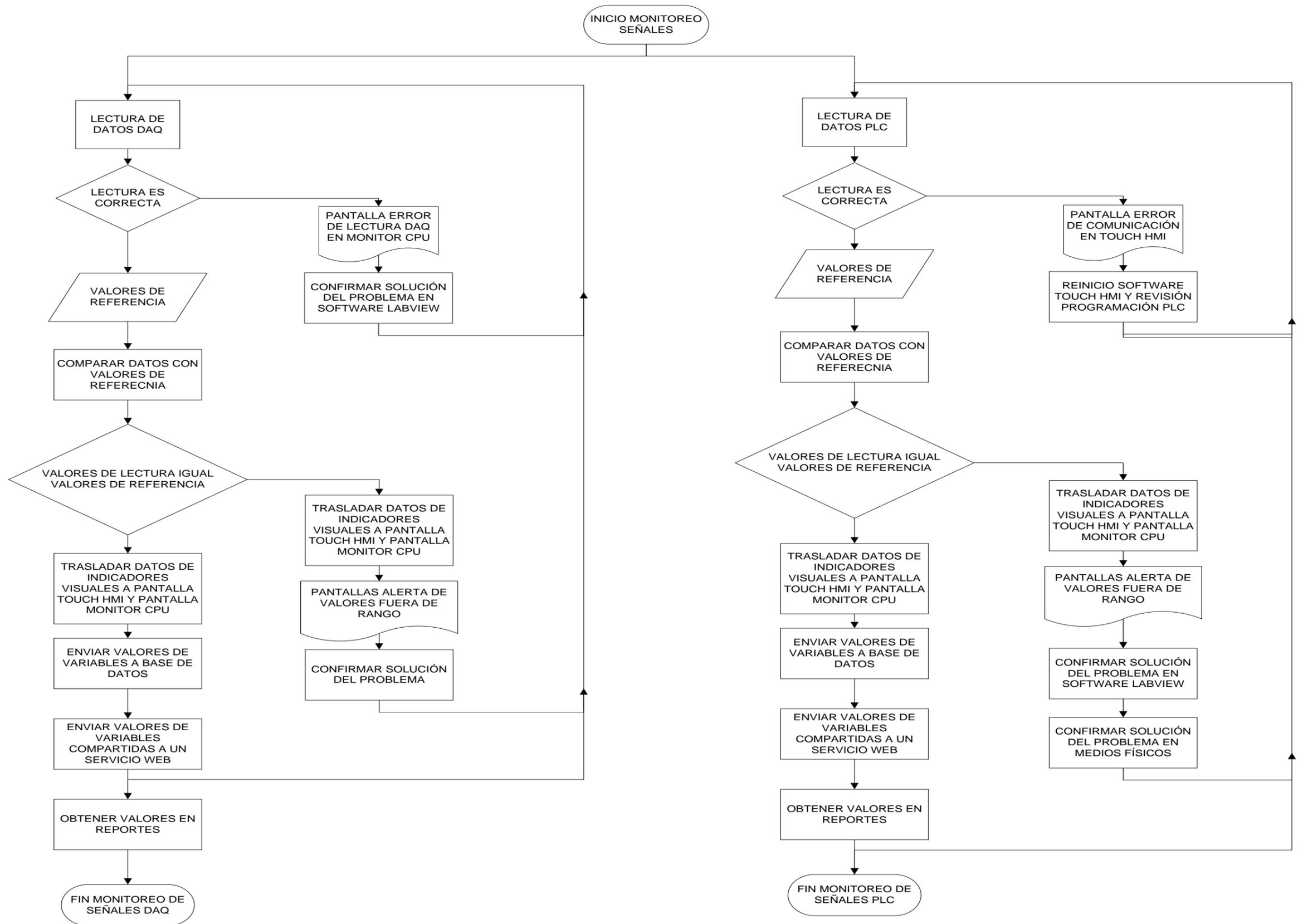


Figura N° 16: Diagrama de flujo monitoreo de señales  
Fuente: Autores

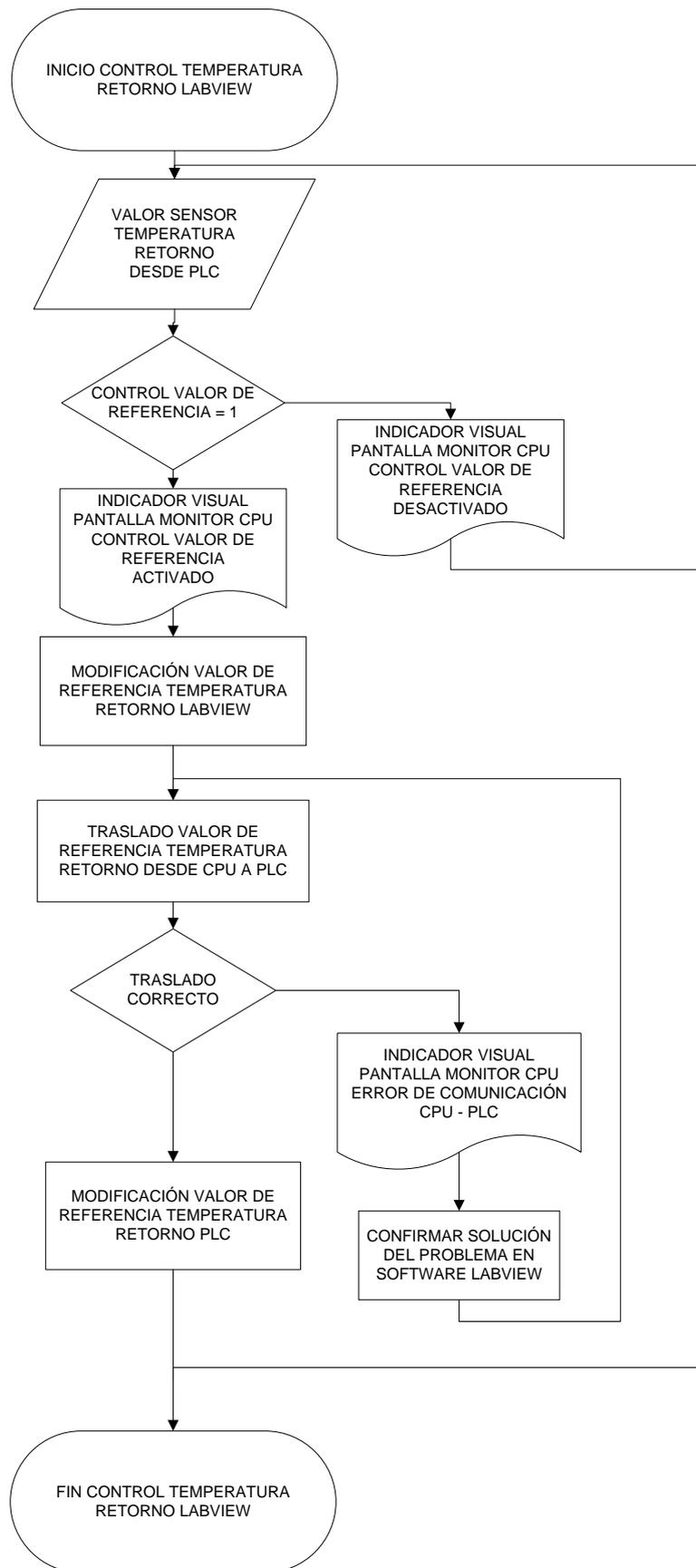


Figura N° 17: Diagrama de flujo de control temperatura de retorno.  
Fuente: Autores

Dentro del proyecto desarrollado en la aplicación LabVIEW, podemos encontrar principalmente:

### SubVIs:

- VIPrincipalLimpio.- Encargado del manejo, control, análisis, presentación y monitoreo de las variables utilizadas.
- VIEntradasAnalogasDAQ.- Cumple la función de establecer la comunicación con la DAQ para obtener los valores de las variables analógicas recibidas por la tarjeta. El Asistente DAQ nos ayudará con el ingreso y diagramas de conexión de las distintas señales analógicas que son requeridas.

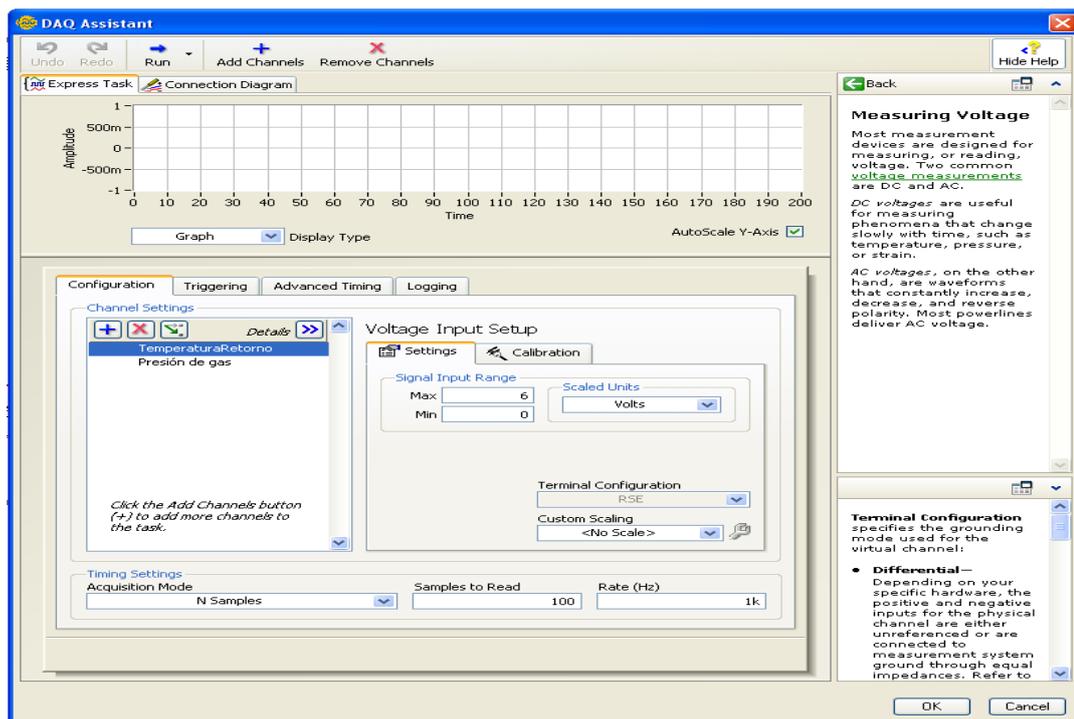


Figura N° 18: Pantalla Asistente Configuración DAQ

Fuente: Autores

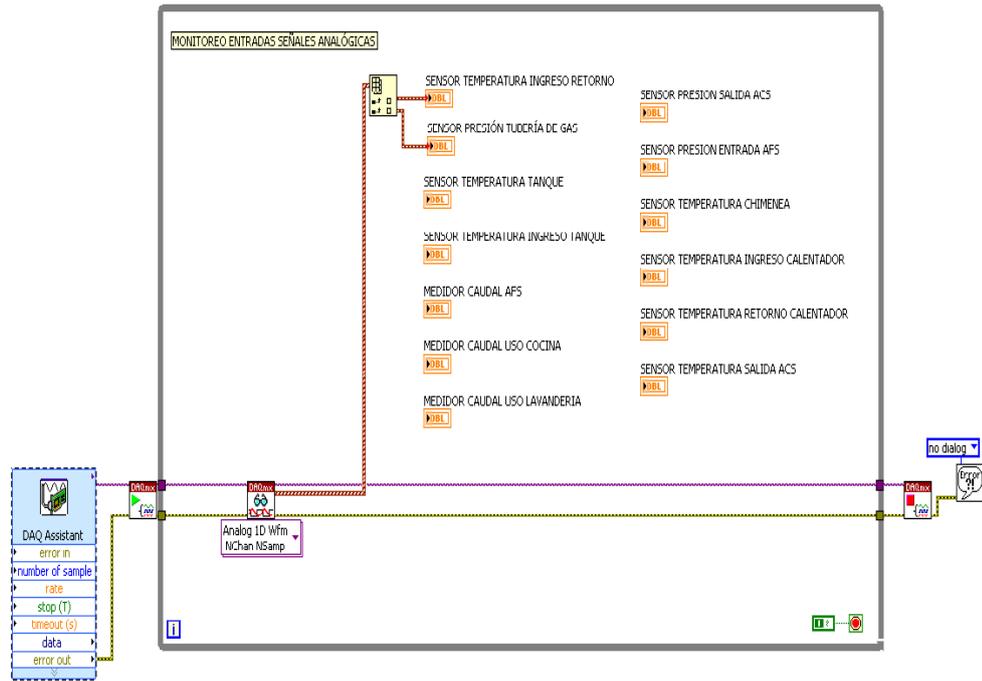


Figura N° 19: Panel de control LabVIEW programación analógica DAQ  
Fuente: Autores

- VIEntradasDigitalesDAQ.- Cumple la función de establecer la comunicación con la DAQ para obtener los estados de las variables digitales recibidas por la tarjeta. El Asistente DAQ nos ayudará con el ingreso y diagramas de conexión de las distintas señales digitales que son requeridas.

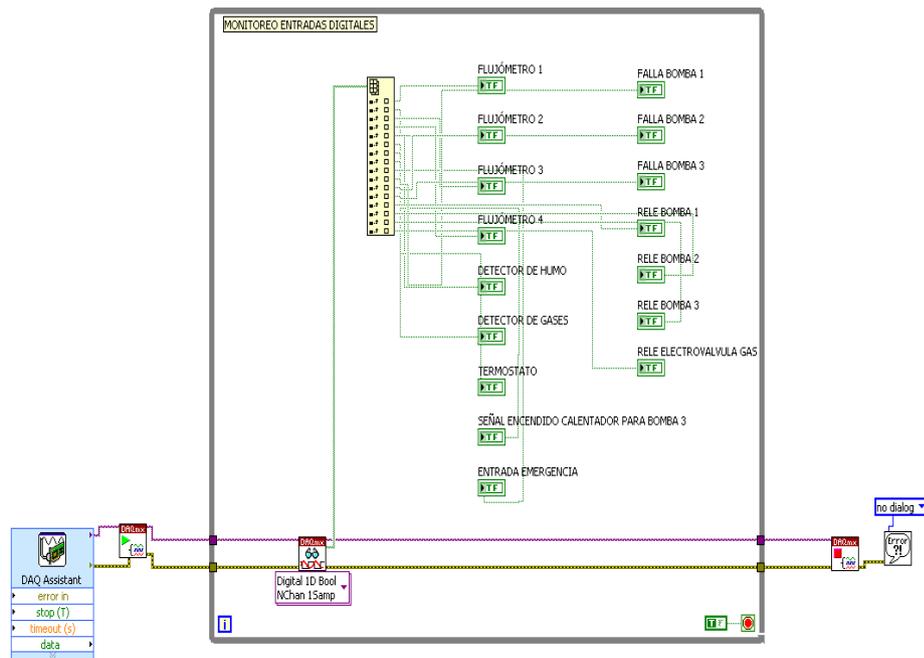


Figura N° 20: Panel de control LabVIEW programación digital DAQ  
Fuente: Autores

## Librerías:

- LibreríaOPC (OPC1).- Almacena por un lado la conexión cliente servidor bajo el estándar OPC y por otro las variables compartidas mediante dicho estándar, las mismas que podrán ser utilizadas por el PLC Siemens S7-200 y por LabVIEW.

### 2.3.3. Diseño del sistema de monitoreo y control del PLC Siemens S7-200.

Es necesario mencionar que el software STEP7 no tendrá una vinculación directa con el usuario, por lo que se presenta a continuación un compendio de las principales pantallas destinadas a la programación del PLC y su entorno gráfico

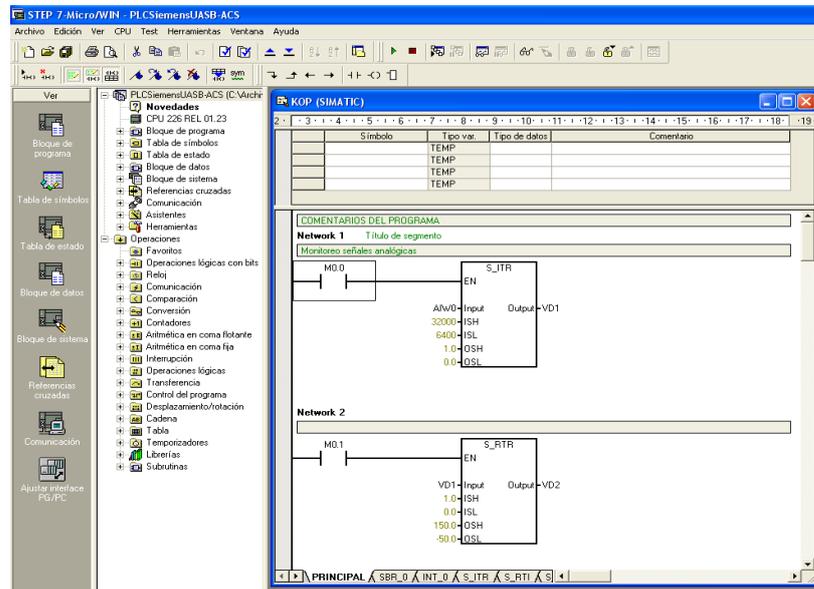


Figura N° 21: Pantalla General STEP7

Fuente: Autores

- Bloque del programa (Ventana de editor KOP (SIMATIC))

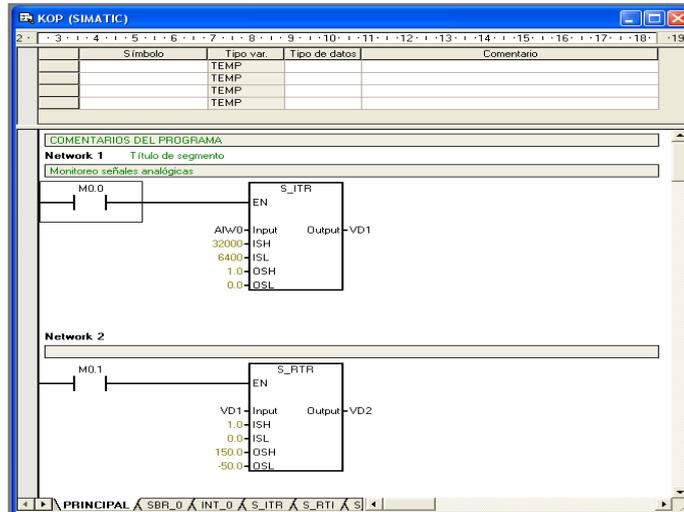


Figura N° 22: Pantalla Bloque del Programa STEP7

Fuente: Autores

- Tabla de símbolos.-

	Símbolo	Dirección	Comentario
1	Temp_Tanque	I0.0	
2	Temp_Retorno	I0.1	
3	Encendido_Bomba_1	M0.0	
4	Encendido_Bomba_2	VW0	
5	Sensor_flujo_1	I0.3	
6	Sensor_flujo_2	I0.2	
7	Sensor_de_gases	VW1	

Figura N° 23: Pantalla Tabla de Símbolos STEP7

Fuente: Autores

- Comunicación.-

Figura N° 24: Pantalla Configuración de comunicación STEP7

Fuente: Autores

- Ajustar interface PG/PC.-

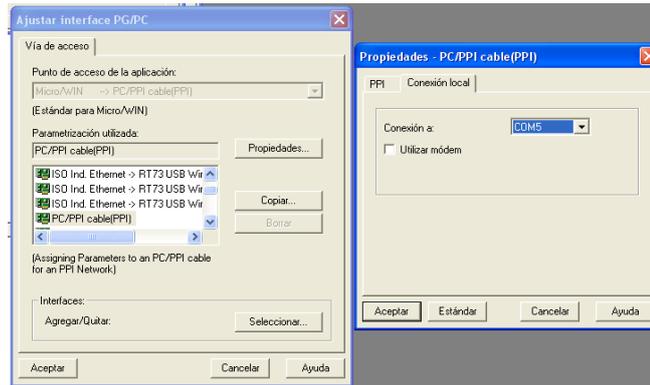


Figura N° 25: Pantalla Ajustes interface PG/PC STEP7  
Fuente: Autores

### 2.3.3.1. Operaciones.

A continuación detallaremos las operaciones que posee el algoritmo programado en el PLC, que a su vez se reflejan como las operaciones que tendrá el PLC dentro del sistema de ACS.

Podemos dar una clasificación subjetiva para las operaciones del PLC, esta puede ser:

- Operaciones de tránsito de variables compartidas en el sistema de ACS.
- Operaciones de monitoreo y control sobre variables del sistema de ACS.

Dentro de las operaciones de tránsito de variables compartidas tenemos el estado de aquellas variables, que no son monitoreadas por el PLC ni utilizadas en su algoritmo, pero necesitan ser visualizadas por el HMI Touch Panel. Entre estas tenemos:

- Presión relativa para el fluido de agua fría de entrada al sistema de ACS.
- Presión relativa para el fluido de agua caliente proveniente de la salida del tanque de almacenamiento.

- Presión relativa para el GLP utilizado para el funcionamiento del calentador de ACS.
- Temperatura de ingreso de agua fría al sistema.
- Temperatura de salida de agua caliente del calentador.
- Temperatura de salida de gases del calentador de agua caliente.
- Temperatura de salida de agua caliente del tanque de almacenamiento.
- Temperatura dentro del tanque de almacenamiento de agua caliente.
- Señal de caudal de ingreso por la tubería de agua fría hacia el sistema de ACS.
- Señal de caudal de retorno de ACS hacia el tanque de almacenamiento de agua.
- Señal de caudal registrada por motivo del uso en la cocina de las instalaciones.

Para las operaciones de monitoreo y control sobre variables del sistema de ACS tenemos:

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de temperatura de retorno de agua caliente
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería de retorno utilizando la bomba de retorno 1.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería de retorno utilizando la bomba de retorno 2.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería de ingreso al calentador de agua utilizando la bomba del calentador.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de movimiento de un fluido dentro de la tubería para desfogue del agua del tanque de almacenamiento por acción gravitatoria.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presencia de monóxido de carbono en el cuarto contenedor del calentador de agua.
- Adquisición y monitoreo sobre la señal de presencia de Gas Licuado de Petróleo en el cuarto contenedor del calentador de agua.

- Adquisición y monitoreo sobre la señal de pérdida de voltaje o inversión de fase existentes en el tablero eléctrico.
- Control sobre la señal de funcionamiento de los contactores para encendido o apagado de bombas de retorno 1 y 2 de ACS.
- Control sobre la señal de funcionamiento de contactor para encendido o apagado de bomba de calentador de ACS.
- Control sobre la señal de funcionamiento de contactor para apertura o cierre de la electroválvula para el paso de GLP hacia el calentador.
- Control sobre la señal de funcionamiento de relé para encendido o apagado del estado de emergencia, reflejado en señales lumínicas y sonoras.
- Control sobre la señal de funcionamiento de relé para encendido o apagado del ventilador ubicado en el cuarto de calor.

Resultada de vital importancia mencionar que tanto el monitoreo como el control de las variables críticas del sistema (temperatura de retorno – presión acometida de GLP) son realizados de forma permanente desde el PLC, para posteriormente ser reflejados tanto en LabVIEW como en el HMI Touch Panel.

El software STEP7 Micro/Win para PLC Siemens S7-200, nos da la posibilidad de utilizar los editores estándar KOP/FUP y AWL.

Para el desarrollo del proyecto se ha implementado la programación originalmente en el editor KOP, debido según nuestro criterio a la facilidad que posee para la simulación e interpretación del funcionamiento del PLC.

A continuación se muestra el diagrama de flujo utilizado como base para el desarrollo del algoritmo de programación del PLC.

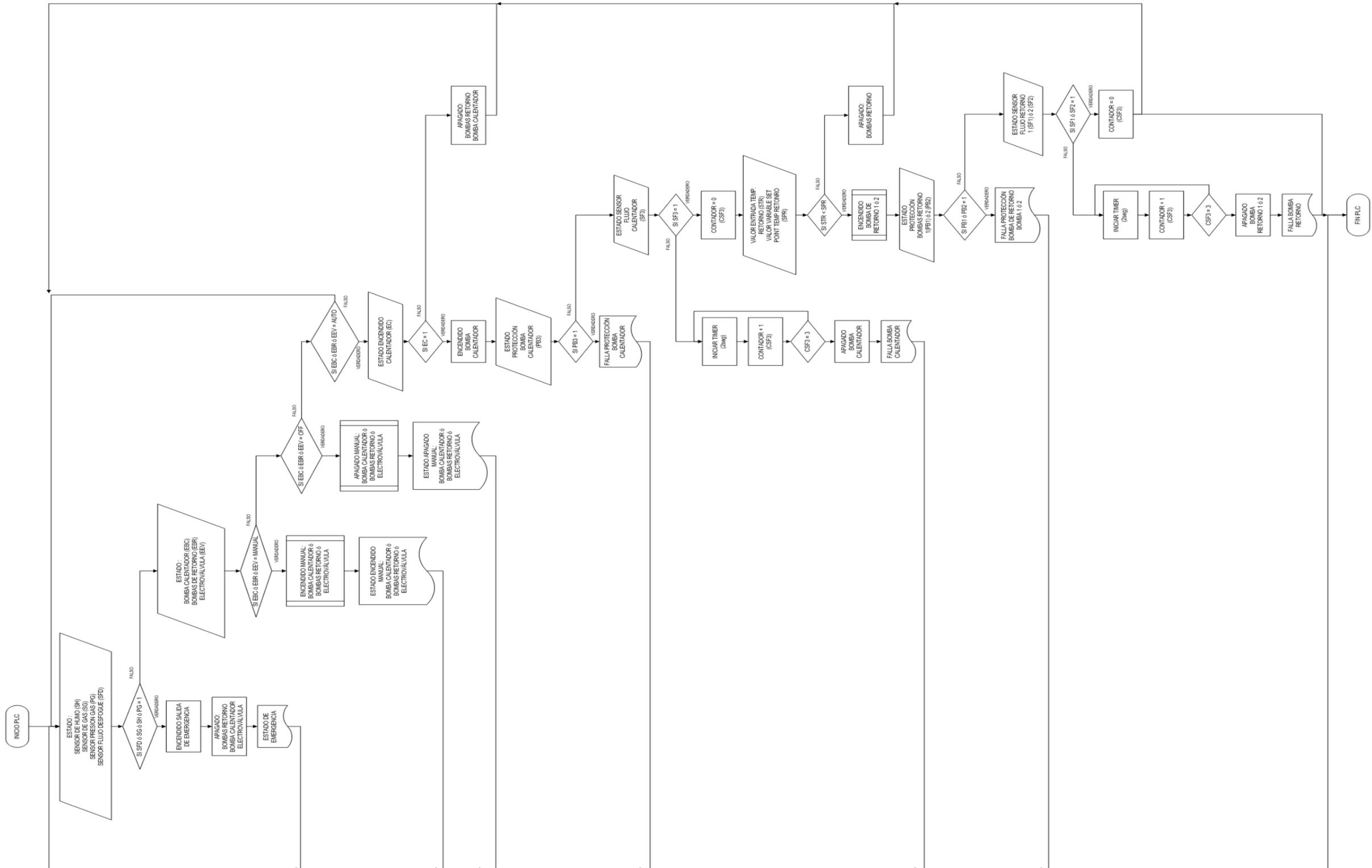


Figura N° 26: Diagrama de flujo de control de bombas  
Fuente: Autores

## **2.3.4. Diseño del sistema de monitoreo y control del HMI Touch Panel.**

Dentro del software Panel Studio, nos encontramos con un lenguaje de programación completamente orientado a objetos, que en el resultado final será la segunda interfaz gráfica con el usuario, después del LabVIEW, y que se encuentra ubicada en el sitio mismo del calentador de agua.

Las funciones de programación dentro del software son limitadas únicamente a crear una pantalla con distintos objetos a los cuales se les puede dar animación y se les puede asignar una variable que será compartida con el PLC. Esto nos obliga a centrarnos en la comunicación que establecerá la HMI Touch Panel con el PLC, y no en un algoritmo establecido que permita su funcionamiento.

Ahora bien, existen dentro del software diversos mecanismos de comunicación que tendrán que ser definidos antes de cargar el proyecto en nuestra HMI Touch Panel, entre los principales están:

- OPC Servers

OPCSiemens

- Other Networks

Modbus

Profibus DP-V1

- General

Modbus Slave

Modbus Slave TCP

En nuestro caso, al tratarse de un PLC S7-200 de la marca Siemens, hemos

elegido la comunicación OPCSiemens, lo que resulta un complemento ya que LabVIEW se comunica con el PLC mediante S7200.OPCServer.

De esta manera podemos dar etiqueta a las variables compartidas tanto desde LabVIEW, como desde el PLC.

Como un adicional dentro de la programación podemos incluir la recuperación de los valores de las variables hacia un memoria extraíble, lo que posteriormente podrá ser utilizado y visualizado en la aplicación “Historical Viewer” del mismo paquete Panel Studio. La guía para el uso de esta extensión se la puede encontrar en el Anexo 14

#### **2.3.4.1. Operaciones.**

Las operaciones de monitoreo del HMI Touch Panel son para las variables de:

- Presión relativa para el fluido de agua fría de entrada al sistema de ACS.
- Presión relativa para el fluido de agua caliente proveniente de la salida del tanque de almacenamiento.
- Presión relativa para el GLP utilizado para el funcionamiento del calentador de ACS.
- Temperatura de ingreso de agua fría al sistema.
- Temperatura de salida de agua caliente del calentador.
- Temperatura de salida de gases del calentador de agua caliente.
- Temperatura de salida de agua caliente del tanque de almacenamiento.
- Temperatura dentro del tanque de almacenamiento de agua caliente.
- Señal de caudal de ingreso por la tubería de agua fría hacia el sistema de ACS.
- Señal de caudal de retorno de ACS hacia el tanque de almacenamiento de agua.
- Señal de caudal registrada por motivo del uso en la cocina de las instalaciones.

- Señal de funcionamiento de los contactores para encendido o apagado de bombas de retorno 1 y 2 de ACS.

Las operaciones de control del HMI Touch Panel sobre el sistema son:

- Control sobre el valor de SETPOINT para la señal de temperatura de retorno de agua caliente.

## 2.4. Sistema de comunicaciones y protocolos.

Dentro del proceso de monitoreo y control del sistema de ACS, tenemos los siguientes mecanismos lógicos de comunicación:

- **Protocolo de comunicación TCP/IP.-** Permite la comunicación entre el Dispositivo Móvil y el HMI PC Escritorio mediante una red inalámbrica.
- **Estándar de comunicación OPC (S7-200 PCAccess).-** Nos permite comunicarnos desde el HMI PC Escritorio con el PLC Siemens S7-200 mediante un cable serial, que posee un convertidor RS-232 (PC) a RS-485 (PLC).
- **Estándar de comunicación OPC (OPCSIEMENS Panel Studio).-** Permite la comunicación entre el PLC Siemens S7-200 y el HMI Pantalla Touch mediante un cable serial, que posee un convertidor RS-232 (Pantalla Touch) a RS-485 (PLC).
- **Driver NI DAQ 6212.-** Permite la interpretación del lenguaje de la tarjeta de adquisición de datos para convertirla y transferirla a la base de datos del sistema SCADA.

Cada uno de los dispositivos entre los cuales se realiza la comunicación posee un intérprete para su lenguaje, así que en un inicio existirán tantos protocolos como dispositivos de adquisición de datos. De esta manera podemos obtener el siguiente esquema y diagrama de conectividad lógica.

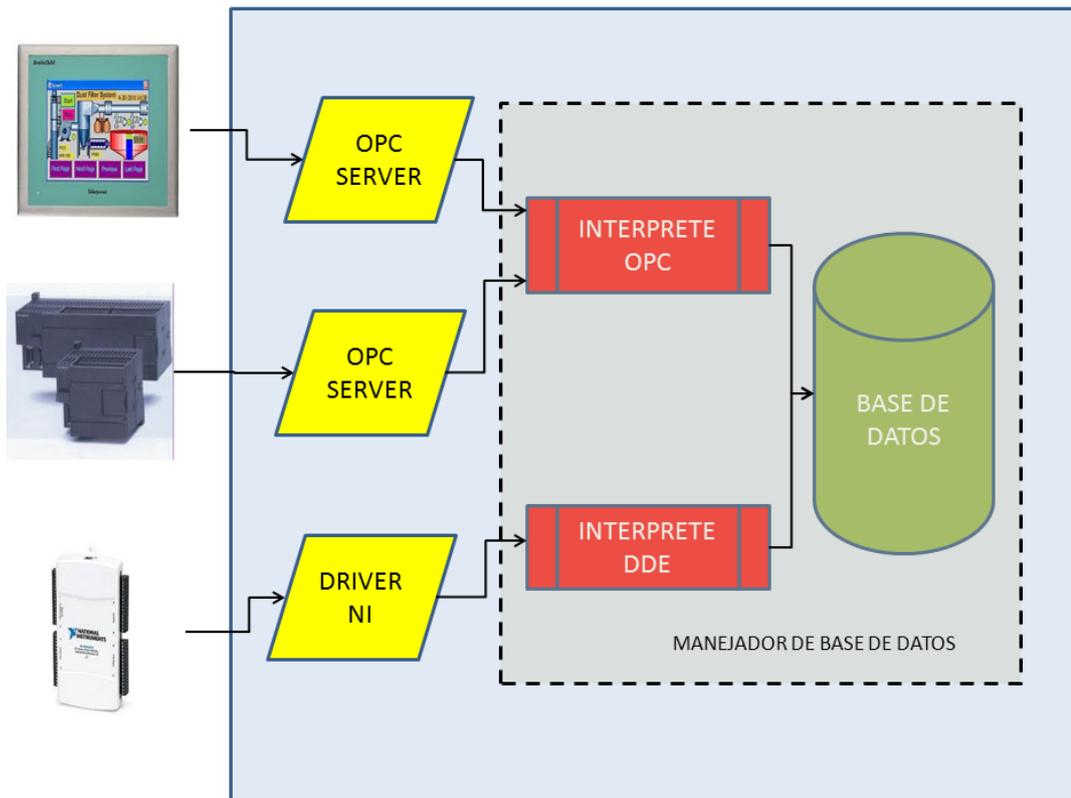


Figura N° 27: Diagrama de conectividad lógica  
Fuente: Autores

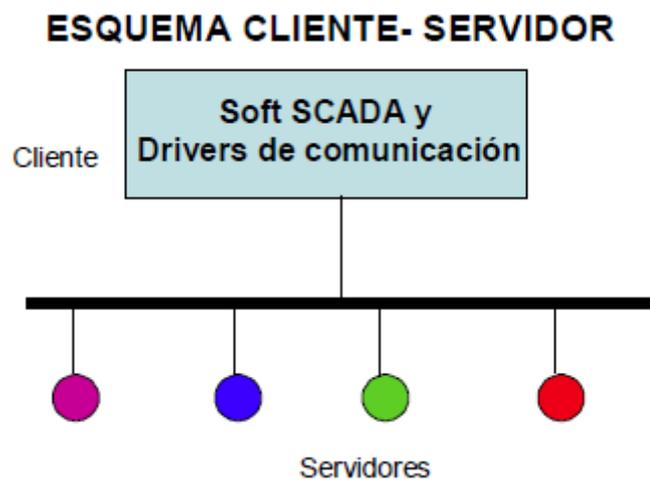


Figura N° 28: Modelo de comunicación sistema de adquisición de datos.  
Fuente.- Electrónica General y Aplicada – UNCuyo : Unidad 9. Sistemas SCADA

### Mecanismos físicos de comunicación.

Dentro de los mecanismos físicos de comunicación tenemos los siguientes:

- **Cable Siemens PPI.-** es un convertidor RS232-RS484 que permite una interface punto-punto entre el PLC Siemens S7-200 y la PC de escritorio.
- **Cable USB.-** es un bus universal en serie que permite el enlace entre la NI-DAQ 6212 y la PC de escritorio.
- **Convertidor RS232-RS485.-** permite el enlace entre el puerto RS485 del PLC Siemens S7-200 y el puerto RS232 del HMI Touch Panel.
- **Router Inalámbrico.-** permite el enlace entre el puerto LAN de la PC de escritorio y el receptor wireless del dispositivo móvil.

El uso de estos distintos métodos de comunicación tanto físicos como lógicos, nos permiten un intercambio de información bastante amplio, lo que a su vez se refleja en comodidad para el operador, supervisor, etc., además de un índice de seguridad superior al tener siempre al alcance mecanismos de comprobación de alarmas y reportes del sistema de ACS.

El último nivel de la estructura del sistema SCADA presentado en la introducción del presente capítulo, será abordado con detalle en el apartado 2.6 debido a su extenso desarrollo.

## **2.5. Sistema operativo y plataformas de programación.**

### **2.5.1. Sistema operativo Microsoft Windows XP**

El sistema operativo utilizado en la PC de escritorio para el monitoreo del sistema de ACS, será Microsoft Windows XP Profesional Versión 2002 Service Pack 3.

Microsoft Windows XP es una versión de Microsoft Windows en su línea de sistemas operativos. Fue lanzado al mercado el 25 de octubre de 2001. A diferencia de versiones anteriores de Windows, el sistema operativo XP posee una arquitectura de Windows NT proveniente del código de Windows 2000, que llevan a mejoras en la estabilidad y el rendimiento. Tiene una interfaz gráfica de usuario reajustada de manera notable., la cual incluye características rediseñadas,

algunas de las cuales se asemejan ligeramente a los sistemas operativos anteriores.

Windows XP Service Pack 3 (SP3) build 5512 fue lanzado para fabricantes el 21 de abril de 2008, y al público en general, a través del Centro de descargas de Microsoft y Windows Update, el 6 de mayo de 2008. SP3 contiene nuevas características: actualizaciones independientes de Windows XP y características tomadas de Windows Vista.

De acuerdo con informaciones reveladas por Microsoft, hay un total de 1073 arreglos en SP3. Según las declaraciones de Microsoft, el soporte para el SP3 finalizará el 8 de abril de 2014.

Los requerimientos mínimos del sistema operativo Windows XP SP3 son:

- Procesador 233 MHz (recomendado de 300 MHz o superior) Intel Pentium/Celeron o AMD K6/Athlon/Duron o compatible.
- 128 MB de RAM o más (mínimo 64 Mb, pero con limitación de rendimiento y algunas características).
- 1,5 Gb disponibles en el disco duro
- Adaptador de vídeo Súper VGA (800 × 600) o de mayor resolución
- Unidad de CD-ROM o DVD

### **2.5.2. Software de programación STEP 7 Micro/Win**

El software de programación STEP 7 Micro/Win, desarrollado por la empresa SIEMENS para sus PLCs de la línea S7-2xx, permite la creación de un programa S7 dentro de un proyecto, el mismo que se compone de una fuente de alimentación, una CPU, y módulos de entradas y salidas sean digitales o análogas.

Ofrece potentes herramientas que permiten ahorrar tiempo, lo que redundará en un enorme ahorro de costos durante el trabajo cotidiano. El software de programación se maneja de forma análoga a las aplicaciones estándar de Windows. Micro/Win está dotado de todas las herramientas necesarias para

programar la serie completa de PLCs S7-2xx. Para ello, se pone a disposición un repertorio de instrucciones de gran rendimiento, así como la programación conforme a la norma IEC 1131.

Entre sus principales características tenemos:

- Al programar es posible conmutar a voluntad entre los editores estándar KOP/FUP y AWL.
- **Funciones online integradas**
  - Edición en runtime.
  - Estado online
  - Posibilidad de ayuda contextual online para todas las funciones.
- **Notación simbólica y tablas de símbolos caras e informativas**
  - Tablas de símbolos estándar
  - Tablas autodefinidas
- **Programación estructurada con librerías**
  - Protocolo USS para el control de accionamientos.
  - Librería Modbus.
  - Librerías autodefinidas.
- **Programación estructurada con subprogramas**
  - Subprogramas parametrizables
  - Subprogramas protegidos por contraseña
  - Activación repetida en el programa de usuario
  - Posibilidad de importar / exportar subprogramas.
- **Búsqueda y eliminación de errores**
  - Búsqueda rápida de errores online
  - Localización de errores mediante clic con el ratón

### **2.5.3. Software de programación LabVIEW National Instruments.**

LabVIEW es un software desarrollado por la empresa National Instruments, destinado a ingenieros y científicos, en donde sus principales objetivos son crear

aplicaciones (VIs Instrumentos Virtuales) destinadas al monitoreo y control de diversos sistemas, brindando un extenso entorno de desarrollo y una herramienta potente al servicio de los mayores requerimientos del mercado.

Esta plataforma de desarrollo fue creada en 1976 hasta llegar a la versión 2011. Su principal característica, que potenciada, marca la diferencia con aplicaciones similares, es su lenguaje de programación G (programación gráfica, es decir que la programación no se escribe, se dibuja), lo que lleva a la resolución de problemas de manera rápida y segura.

Presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones:

Puerto serie

Puerto paralelo

GPIB

PXI

VXI

TCP/IP, UDP, DataSocket

Irda

Bluetooth

USB

OPC

- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones:

DLL: librerías de funciones

.NET

ActiveX

Multisim

Matlab/Simulink

AutoCAD, SolidWorks, etc.

Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.

Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.

Adquisición y tratamiento de imágenes.

Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).

Tiempo Real estrictamente hablando.

Programación de FPGAs para control o validación.

Sincronización entre dispositivos.

## **2.6. Interfaz usuario – máquina (HMI)**

### **2.6.1. Manejador de base de datos.**

El administrador de la base de datos (DBA) es el programa responsable de los aspectos ambientales de una base de datos, que en nuestro caso son tablas en Microsoft Access.

El manejador de la base de datos es el software LabVIEW, que entre sus responsabilidades incluye:

- Recuperabilidad<sup>18</sup>.- crea y prueba respaldos.
- Integridad.- Verifica o ayuda a la verificación de la integridad de los datos.
- Seguridad.- Define controles de acceso a los datos.
- Disponibilidad.- asegura el mayor tiempo de encendido y enlace.
- Desempeño.- asegura el máximo desempeño con las limitaciones existentes.

Con esto podemos asegurarnos el manejo del entorno de la base de datos que se puede revisar en el siguiente gráfico.



Figura N° 29: Entorno base de datos.  
Fuente.- Electrónica General y Aplicada – UNCuyo: Unidad 9. Sistemas SCADA

### 2.6.2. Estructura básica de pantallas LabVIEW.

Destinas a una ser la principal interfaz con el usuario final, las pantallas se basan en una organización por pestañas, cada una con la presentación de su respectiva pantalla que permita visualizar de la mejor manera tres aspectos importantes:

- **Sistema de calentamiento.**- Nos muestra el diagrama esquemático ilustrativo, donde se puede encontrar los distintos estados y valores de las variables que pertenecen al sistema de control y monitoreo, de manera que

<sup>18</sup> Recuperabilidad.- referido a la recuperación de datos e información de respaldos.

permitan al usuario tener un clara idea de cómo funciona el sistema y la situación en la que se encuentra.

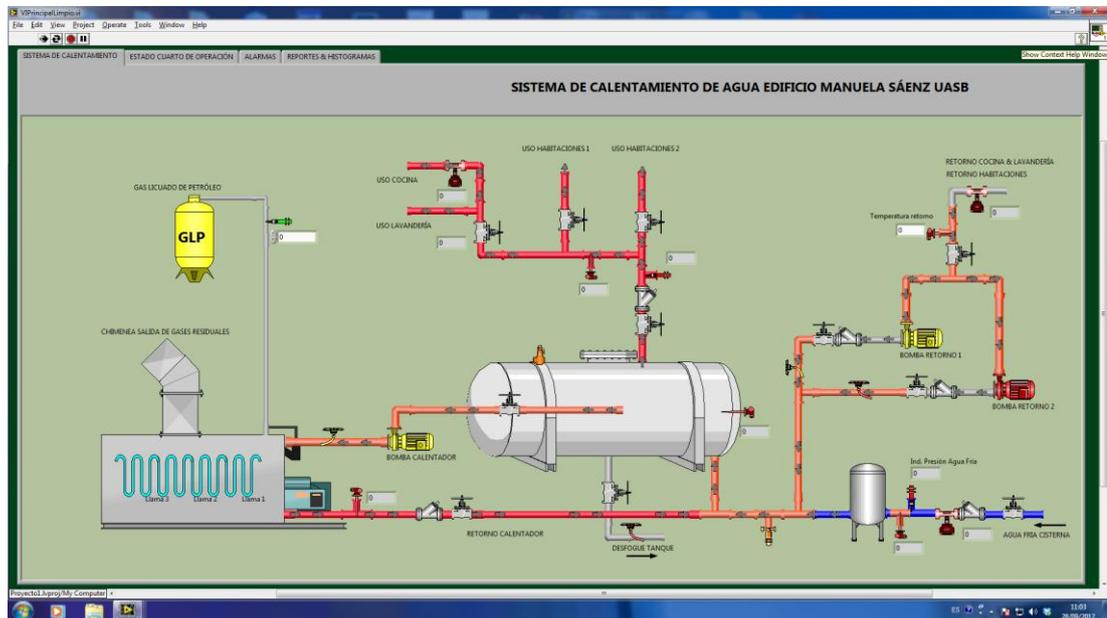


Figura N° 30: Pantalla Sistema de ACS HMI LabVIEW.  
Fuente.- Autores.

- **Cuarto de operación.-** Indica al usuario la ubicación física del calentador, tanques de almacenamiento de agua caliente, tablero eléctrico, ubicación de sensores ubicados en la obra civil y de alarmas de estado del sistema.

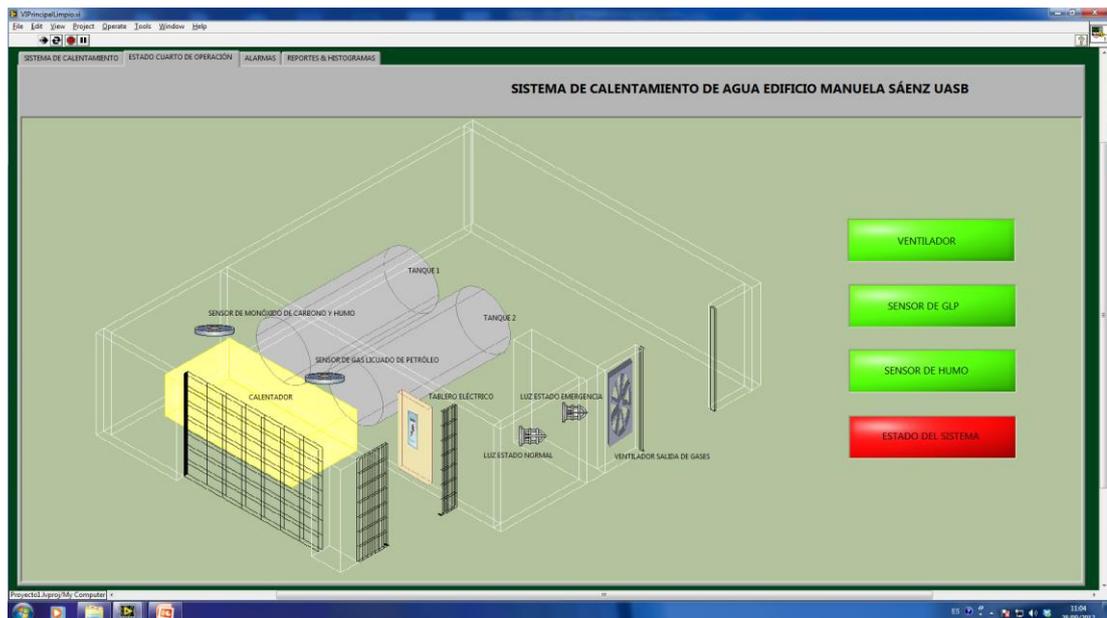


Figura N° 31: Pantalla estado del cuarto de operación HMI LabVIEW.  
Fuente.- Autores.

- **Alarmas.-** Indica un resumen de alarmas producidas en tiempo real de las variables críticas del sistema de ACS.

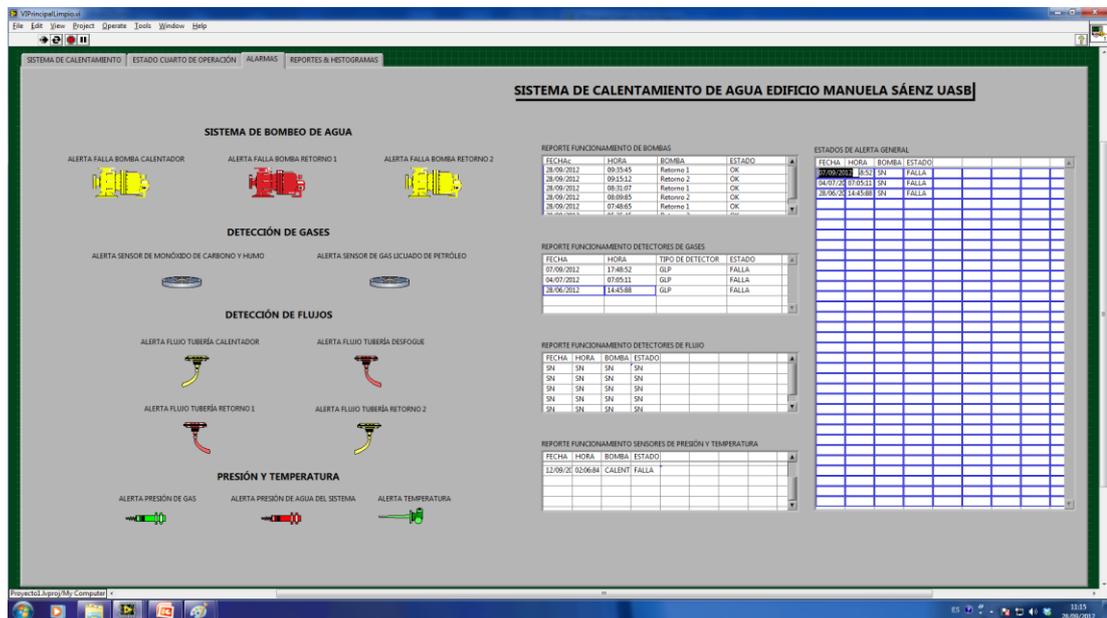


Figura N° 32: Alarmas HMI LabVIEW.  
Fuente.- Autores.

### 2.6.3. Estructura básica de pantallas HMI Touch Panel

Las pantallas dentro del Panel Studio, posteriormente reflejadas en el HMI Touch Panel, son extremadamente limitadas y definidas, y se derivan de un compendio de las pantallas creadas en el software LabVIEW, y parten principalmente de un gráfico esquemático que nos servirá de mapa para localizar los datos necesarios en cada parte del sistema.

Cada pantalla posee botones de navegación, así como los datos estrictamente necesarios que den una idea general de su funcionamiento, sin dejar de lado la veracidad de la información que reflejan.

Entre las pantallas tenemos las siguientes:

- Esquemática

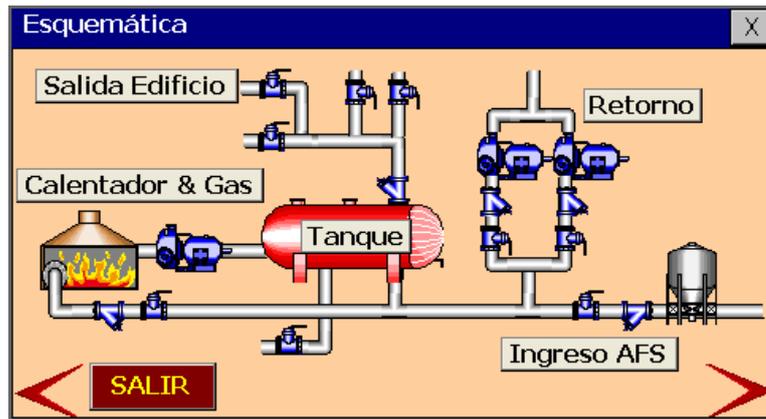


Figura N° 33: Pantalla esquemática del sistema de ACS.  
Fuente.- Autores.

- Tanque

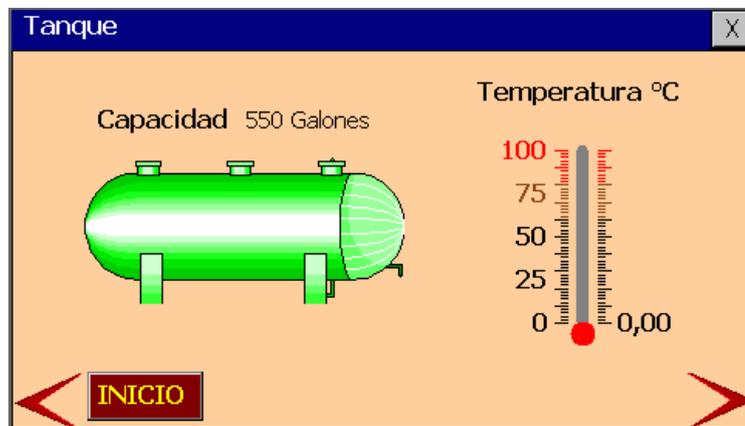


Figura N° 34: Pantalla descripción del tanque de almacenamiento.  
Fuente.- Autores.

- Retorno

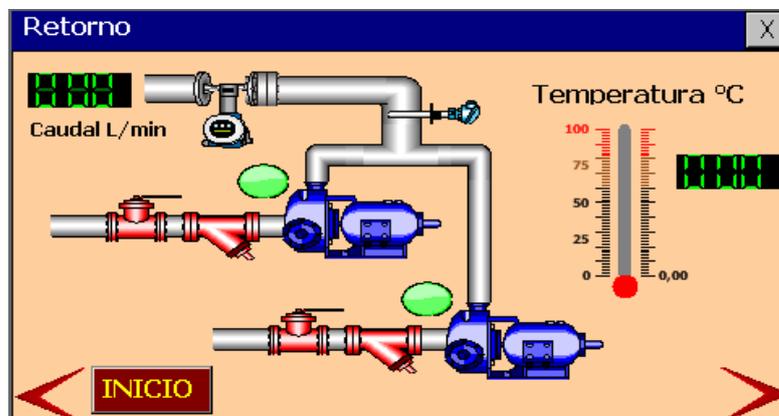


Figura N° 35: Pantalla descripción del retorno de ACS.  
Fuente.- Autores.

- Salida Edificio

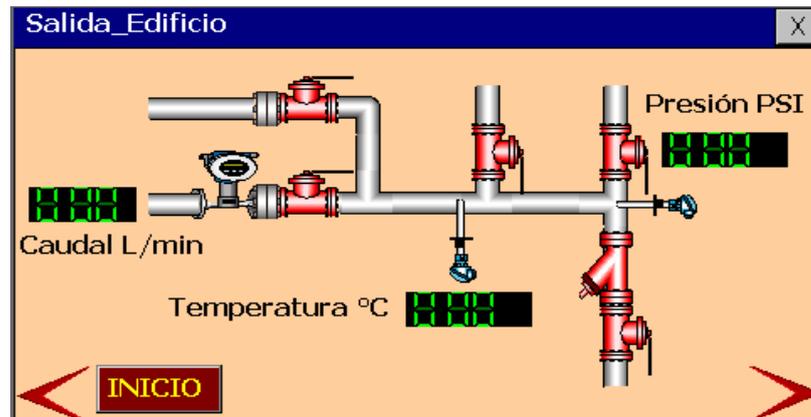


Figura N° 36: Pantalla descripción de Salida al edificio ACS.  
Fuente.- Autores.

- Ingreso AFS

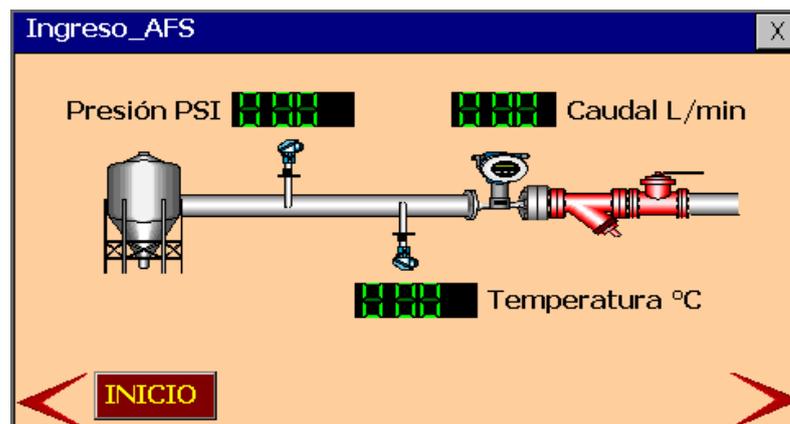


Figura N° 37: Pantalla descripción del Ingreso de AFS.  
Fuente.- Autores.

- Calentador

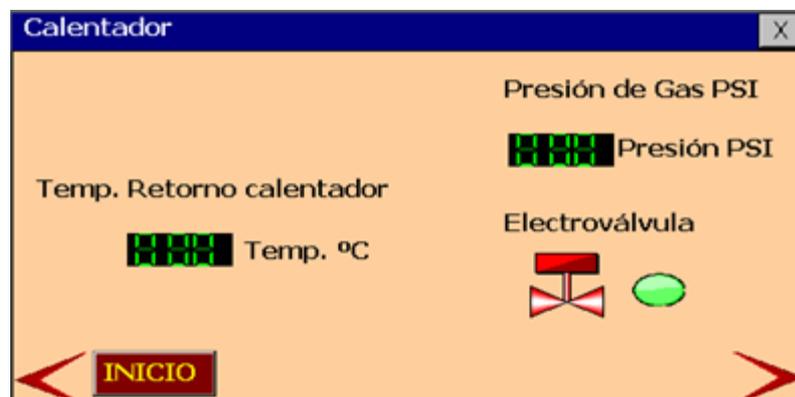


Figura N° 38: Pantalla descripción del calentador.  
Fuente.- Autores.

#### **2.6.4. Reportes y alarma.**

En un principio podemos distinguir que una alarma es provocada por un evento fuera de lo considerado normal dentro de los valores de una variable, sea esta digital o analógica.

Para cada uno de los momentos de lectura de los datos de una variable podemos considerar que estos se encuentran en un estado de alarma o bien en un estado sin alarma.

Si el estado es el de alarma entonces se puede definir qué tipo de alarma puede ser. Para las variables digitales podemos hablar de un nivel de alarma que es la FALLA, debido a que su otro estado sería sin alarma o bien un segundo fallo.

En el caso de las variables analógicas podemos definir según nuestro criterio la cantidad de niveles de alarma de una variable que consideremos oportuna. Pero en forma general se puede considerar cuatro niveles que son:

- Muy Bajo: cuando se encuentra muy por debajo de un valor de referencia
- Bajo: cuando se encuentra por debajo de un valor de referencia.
- Alto: cuando se encuentra por arriba de un valor de referencia.
- Muy Alto cuando se encuentra muy arriba de un valor de referencia.

Los rangos de diferenciación de estos niveles deben ser definidos según el criterio de funcionamiento de las variables. En el caso del sistema de la UASB, se considera únicamente Bajo y Alto.

Las alarmas pueden definirse en algunos casos no solo para los valores de las variables, sino también considerando el tiempo de variación de dichos valores. Para ello es necesario agrupar las alarmas según sea la referencia a la cual será referida, ya sea por tiempo o dimensión.

Los reportes por otro lado no son más que el reflejo de los datos adquiridos por el sistema, de una manera que permita un claro entendimiento de la situación del mismo, y que facilite la formulación de conclusiones que a su vez llevarán a mayores argumentos a la hora de tomar una decisión.

Los reportes se los puede encontrar tanto para las alarmas como para los valores de las variables del sistema en un rango determinado de tiempo.

## **2.7. Funciones auxiliares y de respaldo.**

Dentro de los alcances que por definición se presentan para un proyecto SCADA, tenemos hasta cierta medida una intervención del usuario desde un puntal administrativo y no desde uno puramente técnico. Para solventar esta necesidad que se presenta al implementar un sistema como el desarrollado en el presente trabajo de investigación, se ha realizado una interfaz tanto en un dispositivo móvil, como una aplicación para la PC de escritorio, pero enfocadas a la parte administrativa para datos obtenidos así como para equipos y materiales utilizados.

### **2.7.1. Aplicación orientada a un dispositivo móvil (AODM).**

Esta aplicación permite la comunicación remota vía Internet a la estación maestra para poder tener acceso a su pantalla principal en donde se encuentra el HMI de LabVIEW. De esta manera tendremos exactamente la misma información en tiempo real a la que se puede tener acceso desde cualquier parte del globo.

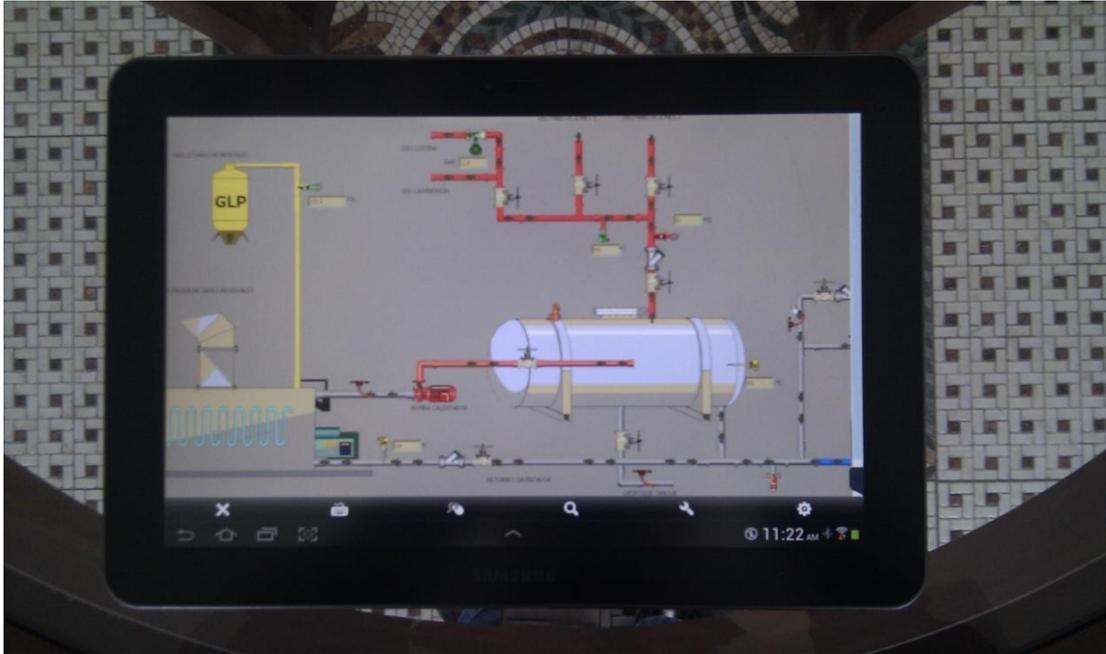


Figura N° 39: Pantallas de Estados y Controles HMI Dispositivo Móvil.  
Fuente.- Autores.

### **2.7.2. Aplicación orientada a la administración del mantenimiento (UKSILDUS).**

La aplicación fue desarrollada con el propósito de brindar una herramienta administrativa para el seguimiento, aplicación y evaluación de los procesos de mantenimiento de la UASB, que serán puestos a prueba dentro del entorno del Sistema de Calentamiento de Agua Sanitaria. Se puede revisar el manual de la aplicación en el anexo 10.

La aplicación de escritorio fue desarrollada en lenguaje JAVA dentro de la plataforma Netbeans. De igual manera tiene vinculada una base de datos desarrollada en SQLServer.

#### **Aplicación de escritorio.**

La aplicación tiene como punto de partida los siguientes aspectos:

- **Bienes.-** destinado a la gestión de bienes muebles e inmuebles.
- **Actividades y Planificación.-** destinado a la planificación de las actividades de mantenimiento que deberán ser realizadas a los bienes.
- **Ordenes de trabajo.-** Permite emitir una orden para el cumplimiento de las actividades anteriormente ingresadas y programadas.
- Con esto ya podremos dar un avance a la administración del mantenimiento. Las opciones restantes aún se encuentran en periodo de desarrollo y no serán incluidas en el presente trabajo de investigación.
- El manual de usuario, así como un ejemplo sobre una orden de trabajo se indica en el Anexo 16.
- Base de datos.
- La base de datos tiene un modelo relacional, de donde podemos obtener el siguiente diagrama de relaciones y esquema relacional respectivamente.

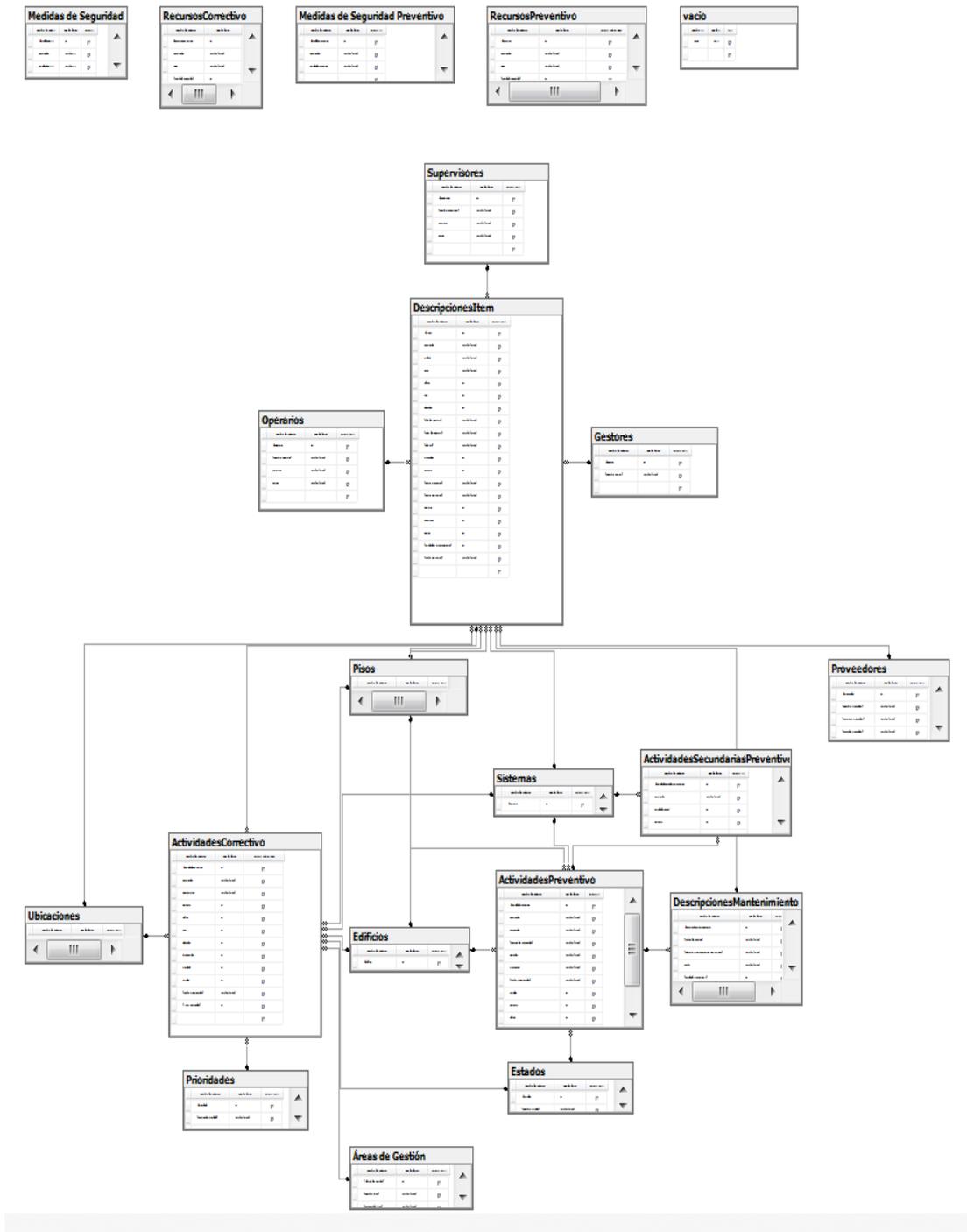


Figura N°40: Diagrama de relaciones UKSILDUS  
Fuente.- Autores.

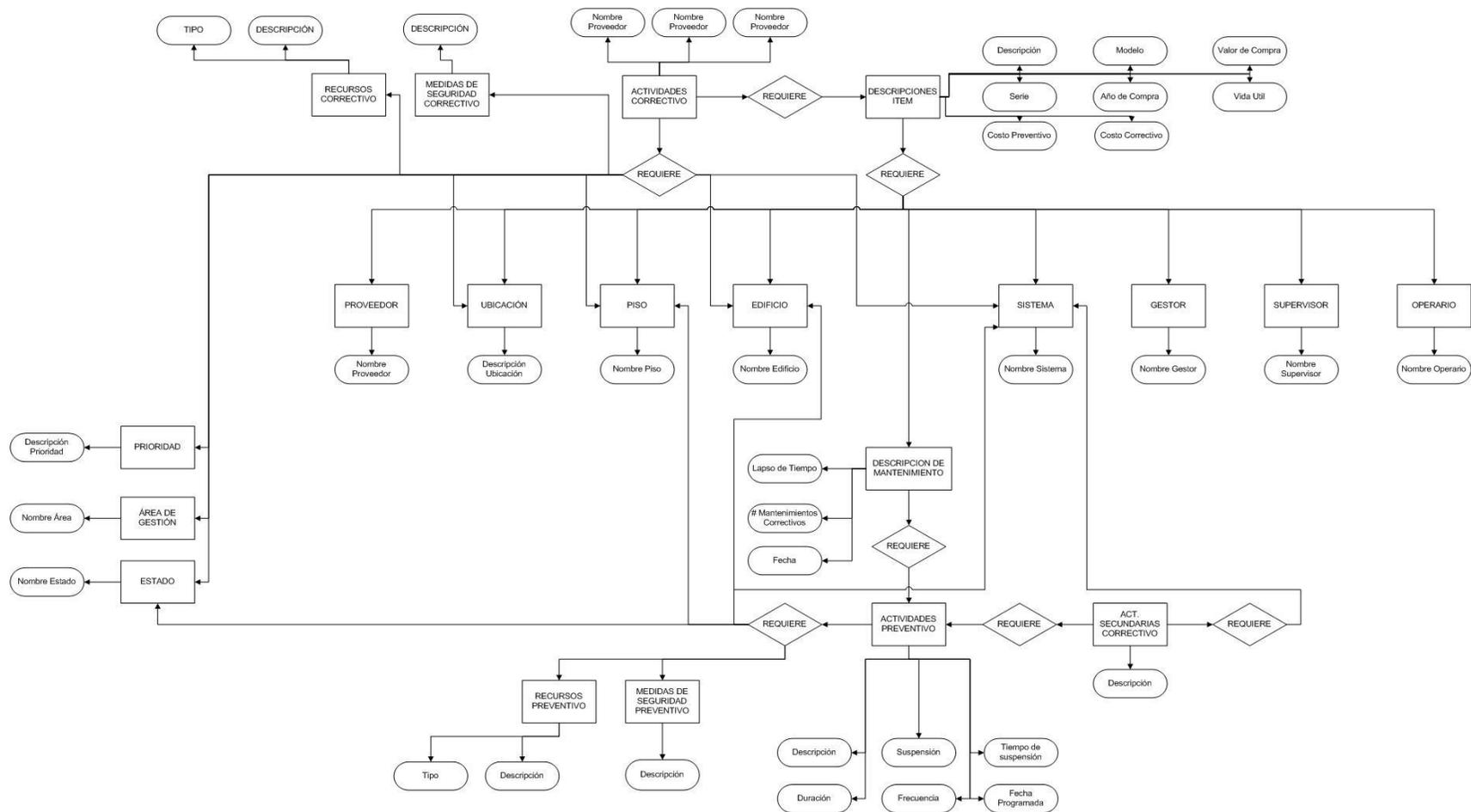


Figura N° 41: esquema relacional UKSILDUS  
Fuente.- Autor

## **CAPITULO III**

### **3. Implementación del sistema SCADA en el proceso de calentamiento de agua sanitaria.**

#### **3.1. Levantamiento de planos y procesos hidráulico-mecánicos y eléctricos del antiguo sistema de visualización de variables y control.**

Previo a la instalación del sistema actual de ACS, la UASB contaba con un sistema de calentamiento de agua que presentaba diversos inconvenientes, los cuales dificultaban la toma de decisiones correctas a la hora de un mantenimiento del sistema, además de no contar con información pertinente sobre el trabajo realizado por el caldero, ya que como elementos de medición del sistema solo existían manómetros de presión y temperatura, que por su largo tiempo de uso poseían un considerable deterioro que se reflejaba en una incorrecta información visual al operador. A continuación se detalla la información levantada del sistema anterior.

##### **3.1.1. P&ID**

DIAGRAMA PID ORIGINAL

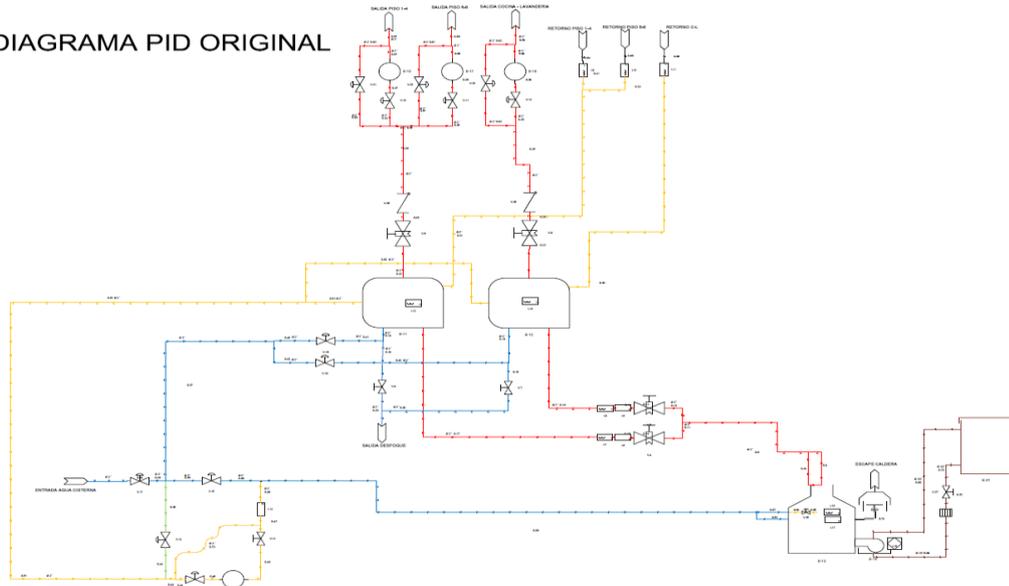


Figura N° 42: Diagrama P&ID sistema retirado.  
Fuente: Autores.

### 3.1.2. Diagrama de fuerza

El sistema de fuerza contaba con 5 bombas trifásicas de 3 HP las cuales para su correcto funcionamiento requerían de una alimentación de acometida trifásica. A continuación se muestra el diagrama de fuerza:

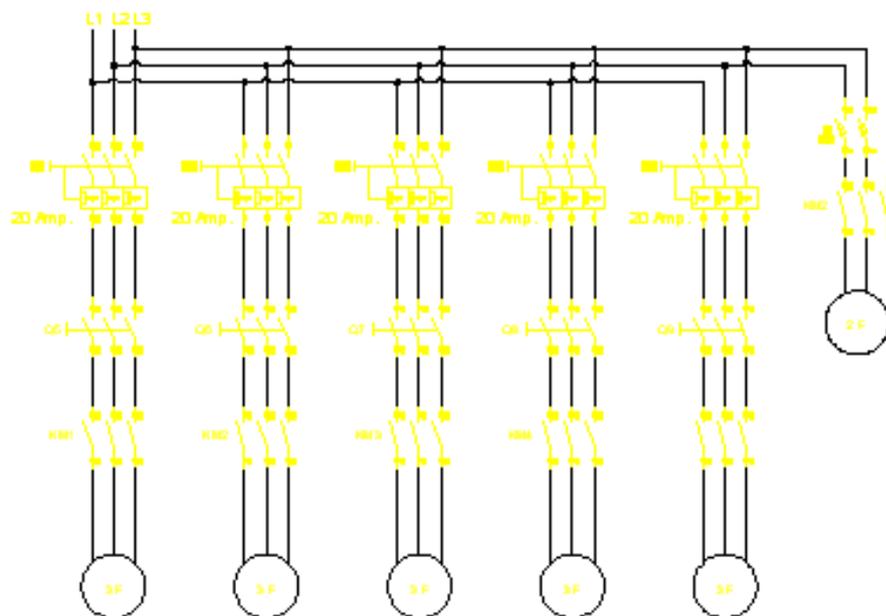


Figura N° 43: Diagrama fuerza bombas retiradas.  
Fuente: Autores.

### **3.1.3. Funcionamiento del antiguo sistema de control de ACS**

Como se puede observar en los planos levantados, el sistema se podía controlar mediante selectores de 3 posiciones, los cuales permitían poner en funcionamiento las bombas del sistema de 2 modos:

- Modo manual.
- Modo automático.

#### **Forma manual**

Este modo de funcionamiento permitía poner en funcionamiento directo las bombas, con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de las mismas, este método era muy utilizado por el personal de mantenimiento en caso de una anomalía de las mismas, este les permitía observar la falla y proceder a reparar dicho daño.

#### **Forma Automática**

En este modo el sistema no estaba siendo monitoreado por un controlador, el sistema constaba con acuastatos<sup>19</sup>, los cuales disponen de un regulador de temperatura para su modo de trabajo, en la cual el operario define la temperatura en la cual tenían que entrar a trabajar las bombas.

Los acuastatos censan la temperatura del agua mediante un termopar, el cual está en directo contacto con el agua, en este caso, cuando el agua de la tubería del retorno del edificio bajaba del punto de referencia para el cual estaban programados, estos envían una señal de pulso hacia un contacto el cual a su vez se cerraba, permitiendo así la activación de los contactores, los cuales permitían el accionamiento de las bombas. Cabe recalcar que el control de una bomba era

---

<sup>19</sup> Acuastato.- dispositivo electromecánico para medición de temperatura.

completamente independiente de la otra, ya que en cada tubería de retorno se encontraba instalado un acuastato.

El control de la caldera se lo realizaba por medio del controlador HoneyWell, el cual receptaba la señal enviada del acuastato del tanque de almacenamiento de ACS, dicha señal también era aprovechada para accionar la bomba que se encontraba entre el tanque de almacenamiento y la caldera, que ayuda a la recirculación del agua con el objetivo de alcanzar la temperatura optima de consumo, una vez alcanzada la temperatura, el agua regresaba a ser depositada en el tanque, a continuación se muestra una fotografía del controlador de la caldera y el diagrama de control.



Figura N° 44: Controlador HoneyWell  
Fuente: Autores

El archivo gráfico así como los diagramas de control se los puede revisar en los Anexos 17 – 18.

A partir de aquí nos centraremos en el nuevo trabajo realizado para el sistema de ACS.

### **3.2. Diseño del nuevo sistema de alimentación y acople eléctrico.**

Para la operación del control del sistema, se diseñó e implemento un circuito electromecánico en base a relés que nos permitirá seleccionar el modo de operación de las bombas y la electroválvula mediante selectores de 3 posiciones. Cabe mencionar que el monitoreo de las señales del sistema de ACS, no entra dentro de ninguna clasificación de los modos de operación.

Entre los métodos de operación de control del sistema tenemos: manual y automático.

- **Modo manual**

Este modo basa su funcionamiento en selectores los cuales se encuentran en el tablero de control ubicado en el cuarto de calor de la UASB, mediante el cual el operador del sistema puede accionar y poner en funcionamiento los siguientes elementos:

- Bomba 1- recirculación edificio
- Bomba 2 - recirculación edificio
- Bomba 3 - recirculación tanque de almacenamiento - calentador
- Electroválvula gas.

En este modo cada elemento dispone de un selector manual de tres posiciones (manual – desconectado – automático) en el cual al momento de ponerlo en modo manual enciende el elemento correspondiente, en modo desconectado lo deshabilita y en automático lo deja en control del PLC, así también se dispone de una luz piloto que nos indica el estado de funcionamiento del elemento. Este modo es muy útil para momentos en que el equipo esté sometido a mantenimiento, o para pruebas aisladas de correcto funcionamiento.

- **Modo Automático.**

En este modo el funcionamiento del sistema se lo encarga al PLC, mediante la obtención de señales accionara el funcionamiento del elemento que debe actuar de acuerdo a lo requerido por el sistema.

La información de las mediciones obtenidas por el sistema de monitoreo, así como su uso en el HMI de LabVIEW y en el HMI de la Pantalla Touch, no se verán afectadas independientemente del modo de operación de control del

sistema. En este momento podemos mencionar también que las funciones de monitoreo se encuentran directamente relacionadas con los mecanismos de adquisición que posee de forma independiente cada variable del sistema.

### **3.2.1. Descripción breve del control del sistema**

El control del sistema dispone de operación Manual y Automático, en el modo manual la persona encargada de la operación del sistema podrá corroborar el perfecto funcionamiento de las bombas y electroválvula mediante el accionamiento de selectores de 3 posiciones. En el modo automático del sistema el encargado de ejecutar el proceso es el PLC mediante instrucciones programadas y señales obtenidas de los transmisores y sensores acoplados, tanto de señal digital como analógicos.

El PLC se ha programado de manera que; cuando la temperatura en el retorno del edificio baje del punto de referencia, entonces este procederá a encender las bombas de recirculación de manera alternante, lo que permitirá que el agua que ha perdido temperatura, se reemplace por otra que este a la temperatura idónea para el consumo de la residencia, siempre considerando que el trabajo realizado por dichas bombas es repartido obteniendo una mejor confiabilidad del sistema.

El encendido del calentador no lo realiza el PLC, ya que el calentador posee su propio controlador y un sensor de temperatura que se encuentra inmerso dentro de un termo-pozo en el tanque de almacenamiento de ACS, el cual le dará la señal para su encendido en caso de que la temperatura del agua disminuya por debajo del punto de referencia dentro del tanque, este a su vez manda a encender la bomba 3 que está entre el tanque de almacenamiento y el calentador.

El PLC también está encargado de supervisar el sistema de alarmas, ya que su confiabilidad permite realizar esta importante acción dentro del sistema, por lo que para cualquier anomalía que se presente, el PLC mandara a desconectar el circuito de control y fuerza, precautelando de esta forma el estado de las instalaciones, del personal, así como demás elementos del sistema.

### 3.2.2. Diseño de alimentación.

El diseño del sistema de alimentación del tablero se lo ha realizado tomando en cuenta una acometida trifásica desde el tablero principal de la Universidad Andina Simón Bolívar, en dicha acometida se instaló un supervisor de voltaje, de la acometida trifásica se obtuvo 110 Vac entre una fase y el neutro, con lo cual se alimentó directamente el circuito de fuerza para el manejo de las bombas. En el interior del tablero contamos con fuentes de 24V y 5V. Cada circuito se encuentra dimensionado con sus respectivas protecciones para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y asegurar las elementales condiciones eléctricas de seguridad, para que el personal pueda operar el sistema de una forma segura y responsable. Ver grafica a continuación:



Figura N° 45: Puerta tablero de control.  
Fuente: Autores.

### 3.2.3. Acoples Eléctricos<sup>20</sup>

Para el funcionamiento de los diferentes elementos de control y monitoreo del sistema como son sensores y actuadores, se ha requerido realizar acoples eléctricos de 110 Vac a 24 Vdc y 5 Vdc, para los cuales se ha utilizado fuentes de voltaje y relés.

---

<sup>20</sup> Conexión entre dos circuitos eléctricos, con transferencia de energía de uno a otro

- Fuente de voltaje.

La fuente de voltaje es un elemento electrónico modificador de la electricidad que convierte la tensión alterna en continua, así como reduce o aumenta la tensión de entrada. Esto es utilizado para el correcto funcionamiento de algunos dispositivos de control, sensores y actuadores.

Dentro de nuestro sistema, las fuentes nos permitirán reducir y convertir 110 Vac a 24 Vdc, utilizados para la alimentación de los diferentes sensores y actuadores; así también utilizaremos una fuente a 5 Vdc para lo referente a la alimentación de entradas de la DAQ mediante contactos de relés y contactores.

- Relés.

El relé es un elemento electromecánico que puede actuar como interruptor o conmutador, dependiendo del número de contactos, accionado por una corriente eléctrica. Consta de un circuito de excitación, formado por la bobina unida a la armadura fija, y un circuito de trabajo, compuesto por la armadura móvil y el grupo de contactos.

Para el sistema en forma general se utilizó relés para protección de las salidas digitales del PLC11 y para lecturas de alarmas a las entradas del PLC.

### **3.3. Implementación tablero de control y electrónica auxiliar.**

El tablero de control se lo instalo en la parte exterior del cuarto de calor junto al calentador de agua; es de acero inoxidable y doble fondo, para la instalación del tablero de control se tomó las debidas precauciones tanto en el cableado como en la instalación de los diferentes elementos de protección y monitoreo del sistema.

Haciendo referencia al diseño realizado por nosotros; Se realizó el montaje del cableado eléctrico interno del tablero tomando en consideración la norma NE

60617 la cual define la simbología de los elementos para el diseño de los esquemas eléctricos y lo referente a la numeración para la identificación de las borneras, en caso de un mantenimiento o sustitución de algún elemento del tablero con la aplicación de esta norma se nos facilitaría la identificación de la posición del elemento y su respectivo cableado.

La norma dice “se deben separar los bornes de conexión en grupos tal que como mínimo queden 2 grupos: uno para los circuitos de control y otro grupo para los circuitos de potencia se identificara con un nombre distinto con un código alfanumérico cuya primera letra siempre será ‘X’ seguida por un numero identificador del grupo (Ejm. X1, X2, X3.....Xn)”<sup>1</sup>.

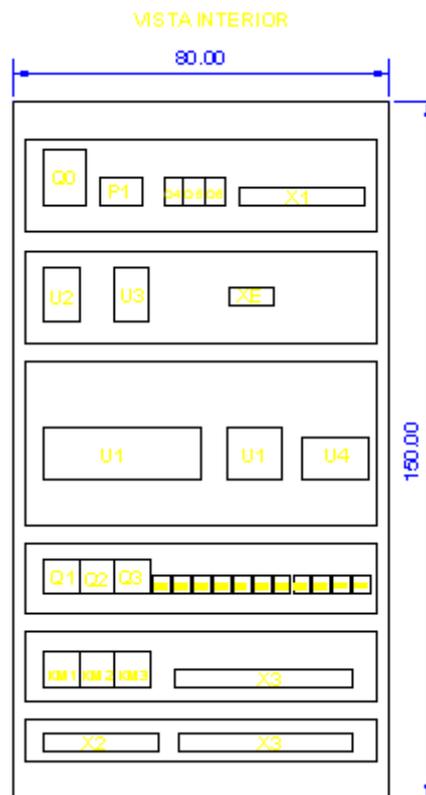


Figura N° 46: Distribución tablero de control.  
Fuente: Autores.

Se colocó riel DIN mediante la cual están sujetas las protecciones (Breakers); Relés y demás elementos del tablero; luego se realizó el cableado de la acometida del tablero; el cual energiza las bombas, Calentador, PLC, Fuentes DC y supervisor de voltaje y los dispositivos de control (Contactores y Relés).

En la puerta del tablero se realizó la instalación y cableado de selectores para modo manual o automático para la operación de Bombas y electroválvula, y luces piloto las cuales nos indicaran el funcionamiento o falla de dichos elementos, también se realizó la instalación y cableado de la pantalla touch con su respectiva alimentación a 24 VDC y su cable de comunicación con el PLC. Las cuales servirán al operador para hacer lectura o verificar el correcto funcionamiento del sistema de manera visual.

En la regleta X1 se colocó la alimentación para el tablero proveniente de la protección principal; dejando así X1.1 hasta X1.8 para la línea y X1.9 hasta X1.16 para el neutro.

En la regleta X2 se colocó el cableado de alimentación tanto para las bombas provenientes de sus guarda-motores y accionamientos electromecánicos.

En la Regleta X3 se realizó el montaje de los dispositivos visuales, auditivo y una electroválvula (actuador) los cuales operaran en caso de que se produzca un estado de emergencia en el cuarto de Calor.

También se colocaron las líneas positiva y negativa respectivamente obtenidas de una fuente de 24 VDC (X3.1 hasta X3.10), los cuales nos permitirá la alimentación de los sensores, modulo analógico y de los contactos de algunos Relés lo cuales están conectados a la entrada del PLC para recibir información del estado de algunos elementos y puedan ser monitoreadas en el HMI.

También están destinadas para una fuente de 5 Vdc (X3.11 hasta X3.19), la cual nos permitirá conectar señales obtenidas a las entradas digitales de la DAQ (Tarjeta de adquisición de Datos), mediante contactos de relés, los cuales se accionan mediante la alimentación de su respectiva bobina indicándonos el estado del elemento a monitorear.

Los bornes (93 hasta 108) de la regleta X3, se destinó para la conexión de las señales analógicas obtenidas por los diferentes sensores colocados en el sistema

para la DAQ; y los bornes (50 hasta 58) se los destino para la entradas analógicas del Módulo del PLC.

Para poder acoplar las salidas del PLC a la etapa de control y Potencia, se colocó relés a las salidas digitales para proteger el PLC.

Para hacer el control de las bombas de Recirculación del edificio Manuela Sáenz (UASB), se conectó un sensor de temperatura a dicha tubería el cual envía su señal analógica (4 – 20 mA) a un módulo que está en constante comunicación con el PLC, el cual envía la señal para que se enciendan en caso de que la temperatura de la tubería ha bajado, se la hace recircular con el fin de que vuelva a obtener la temperatura optima de consumo.

Para poder monitorear con el PLC y la DAQ el estado de los contactores y protecciones de cada motor se realizó el respectivo cableado de los contactos auxiliares hacia las entradas digitales tanto del PLC como de la DAQ.

También se instaló un pulsador para parado de emergencia el cual está colocado en la puerta del tablero para facilidad del operario. Para que en un accionar rápido se pueda deshabilitar el funcionamiento del sistema en caso de que este llegara a fallar o se produjera algún incidente externo que pudiera poner en riesgo el sistema.

### **3.4. Implementación sensores y actuadores**

Para la instalación de los sensores y actuadores se tomó en cuenta las recomendaciones de los manuales de cada elemento, para su correcto funcionamiento en el caso de que vayan en tubería de agua caliente o agua fría para el caso de los medidores de flujo.

Para la operación del sistema de calentamiento de agua, se realizó el cableado de las señales eléctricas hacia el tablero y luego derivado al PLC o la DAQ.

Para la colocación de los sensores en el sistema hubo que perforar la tubería y adaptar los sensores mediante conectores tipo montura excepto los sensores medidores de flujo que van en línea con la tubería de agua; para que los sensores queden fijos y enroscados y poder tener una mejor lectura de la señal.

Tanto para la alimentación de los sensores como para la señal obtenida del sensor se utilizó un cable flexible de 3 hilos desde el tablero de control hacia cada uno de los sensores mediante tubería CONDUIT teniendo en consideración no poner demasiado cerca de la tubería de agua caliente ya que esto nos podría ocasionar problemas en lecturas erróneas de los sensores debido al calentamiento del conductor.

La colocación de la electroválvula debido a términos de seguridad se decidió colocarla lo más cercana posible a la fuente de suministro de gas, para que en caso de que se active; su corte de suministro sea lo más eficaz posible. Esta electroválvula trabaja conjuntamente con el sensor de humo y de Gas.

Se colocó el sensor de Gas y de Humo de acuerdo al manual en una parte en donde su ubicación sea la apropiada y pueda censar correctamente y nos envíe señal hacia el PLC en caso de un estado de emergencia en el cuarto de calor.

Para poder monitorear la red eléctrica del tablero se colocó un supervisor de voltaje, en la cual la señal de salida del supervisor está conectada a un relé, y en caso de una falla se abrirá la alimentación del circuito de control quedando fuera de operación todos los elementos disponibles en el tablero, esto con el fin de salvaguardar los equipos, y un contacto de dicho relé está conectado a una de las entradas digitales de la DAQ dando aviso en el HMI de que se ha producido un fallo en la alimentación de la Red.

En el sistema se implementó la ubicación de sensores detectores de flujo los cuales al activarse nos indican que hay un flujo de Agua en la tubería y como conclusión que la bomba se ha encendido y está en perfecto funcionamiento.

Se instaló un sensor de presión que varía en un rango entre 0 a 10 bares en la tubería de suministro de Gas hacia el calentador, el cual sería una señal de monitoreo para el HMI, el cual nos indica que el gas en la bombona se está terminando y por ello la disminución de la presión o también puede ser el caso de una posible fuga de gas por la tubería.

La bomba que extrae el agua del tanque y hace circular a través del calentador para incrementar su temperatura, funciona mediante la señal de un termopar que se encuentra inmerso en el interior del tanque.

Se implementó un sensor de temperatura a la salida del calentador para monitorear a que temperatura sale el agua del calentador y obtener información de cuanto incremento de temperatura gano el agua ya que tenemos en el tanque de almacenamiento un sensor de temperatura inmerso con lo cual se podría obtener la información de la temperatura del agua antes de ingresar al calentador.

En la tubería principal de abastecimiento de agua fría se colocó un sensor para con este dato y el dato que obtenemos de la temperatura a la salida del calentador podemos obtener un dato importante, mediante estas medidas de temperatura se puede saber cuánto combustible el calentador necesito quemar para subir la temperatura del agua lo cual se vería reflejado en la eficiencia del calentador.

En la instalación para los flujómetros se tuvo que hacer una reducción de la tubería debido a que el diámetro del flujómetro era menor con lo cual se decidió hacer un bypass para en caso de tener que sacarse el flujómetro por cuestiones de mantenimiento o reparo, no dejar sin abastecimiento de agua el edificio ya que estos van en línea con la tubería.

A la salida del tanque acumulador de agua se colocó un sensor de temperatura para saber si el agua que sale para los puntos de consumo está a una temperatura adecuada para el consumo de las personas.

## CAPITULO IV

### 4. Pruebas y análisis de resultados.

#### 4.1. Pruebas de rendimiento y normatividad.

Los límites de temperatura a los que se debe encontrar el agua al momento de entrega al usuario son de **42°C como mínimo y 55°C como máximo**. El límite inferior está dado por el nivel de confort del usuario y considerando que a dicha temperatura no se requiere una mezcla con agua fría al momento del uso. El límite superior está definido considerando que a temperaturas mayores se acelera el nivel de corrosión de los elementos del sistema, debido a la mayor capacidad de ionización del agua. De igual manera el límite máximo de uso para evitar quemaduras al usuario es de 65°C.

Si bien los límites de temperatura del agua son 42°C a 55°C, se ha considerado un límite de control con una diferencia de temperatura de 2°C entre el límite inferior y el límite superior, desde 48°C a 51°C. Esto con el objetivo de obtener la capacidad de los elementos del sistema ante un control más estricto.

Dentro de las pruebas realizadas detallaremos la toma de datos continuos que serán reflejados en histogramas gráficos. Posteriormente se analizará distintos parámetros estadísticos como la varianza, la media y la desviación estándar que desembocarán en la formulación de líneas base y gráficas de capacidad e intervalos según el comportamiento de cada una de las variables de lectura del sistema de ACS que para este análisis son:

- Temperatura al usuario final.
- Presión de GLP
- Presión de agua.
- Consumo total de ACS.
- Consumo ACS cafetería

Los datos de presiones y consumo de ACS se analizaron únicamente mediante datos históricos recogidos en el periodo de un mes aproximadamente.

### Consumo total de Agua Caliente Sanitaria

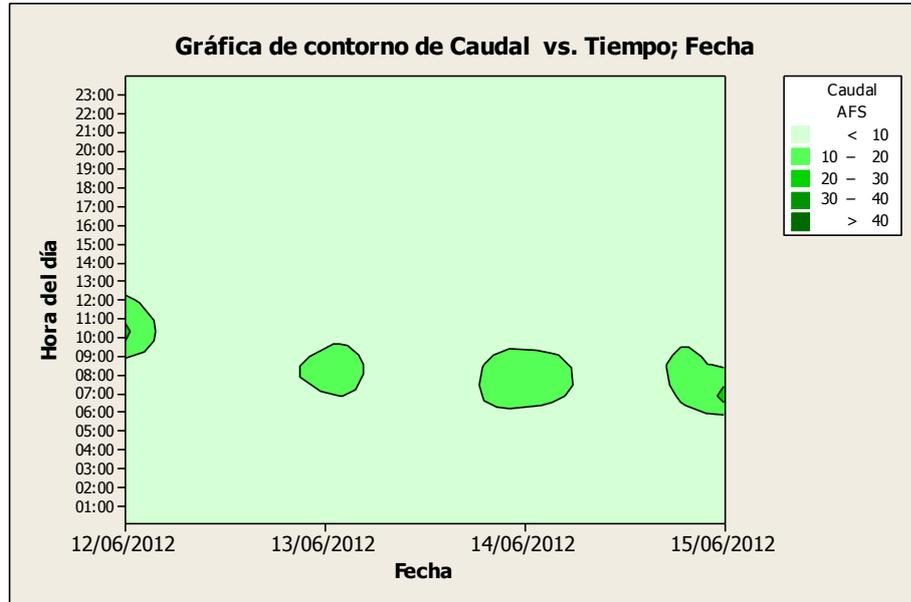


Figura N° 47: Grafica de contorno de Caudal vs Tiempo; Fecha.  
Fuente: Autores.

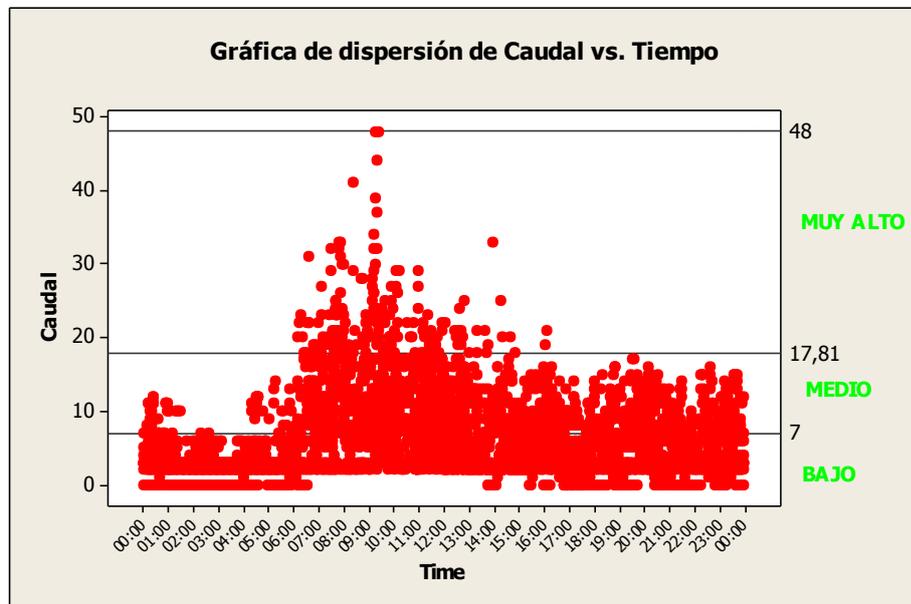


Figura N° 48: Grafica de dispersión de Caudal vs Tiempo.  
Fuente: Autores.

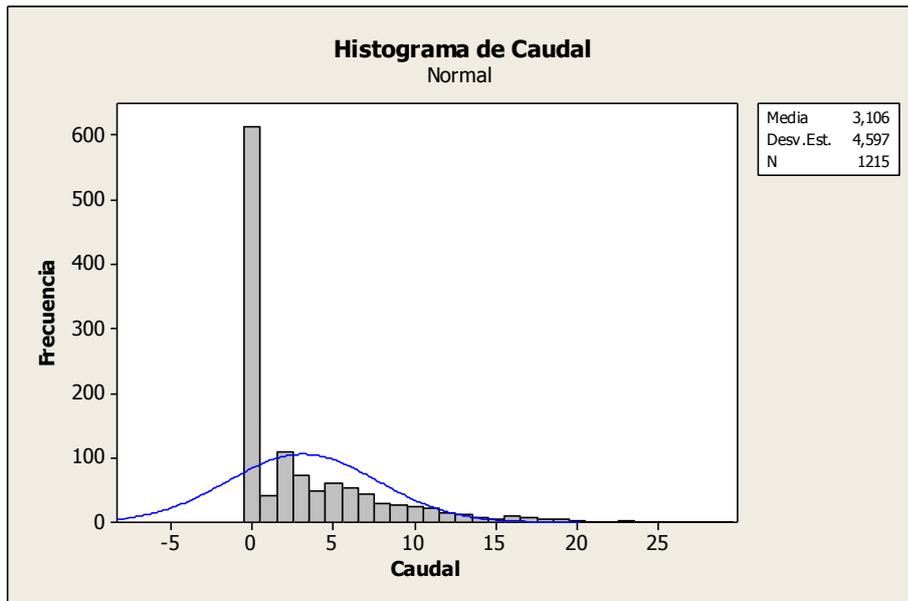


Figura N° 49: Histograma de Caudal.  
Fuente: Autores.

Con esto se puede determinar los distintos niveles de caudal a la hora del día en que se presentan y con qué frecuencia, con el objetivo de determinar los momentos de mayor demanda de agua caliente y por consiguiente mayor trabajo del calentar y mejor requerimiento de control.

### Consumo de Agua Caliente Sanitaria de Cafetería

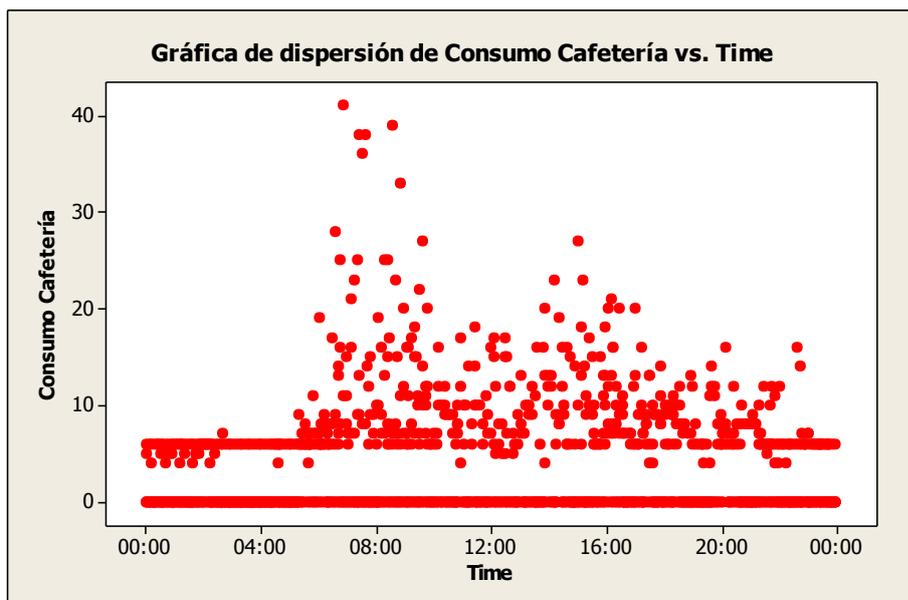


Figura N° 50: Gráfica de dispersión de Consumo Cafetería vs. Tiempo.  
Fuente: Autores.

El consumo de la cafetería es una fracción del consumo total del sistema y representa aproximadamente el 22% del total con un promedio de 1,8 m<sup>3</sup> por día. Con esto se permite realizar el cobro de los valores por este servicio por parte de la Universidad Andina Simón Bolívar.

### Presión de Gas Licuado de Petróleo

Si bien el sistema de GLP no se encuentra completamente operativo para cumplir con los requerimientos del calentador de agua, es posible identificar un patrón de cambio frente al encendido del calentador en las horas de la madrugada donde no existe otro consumo paralelo.

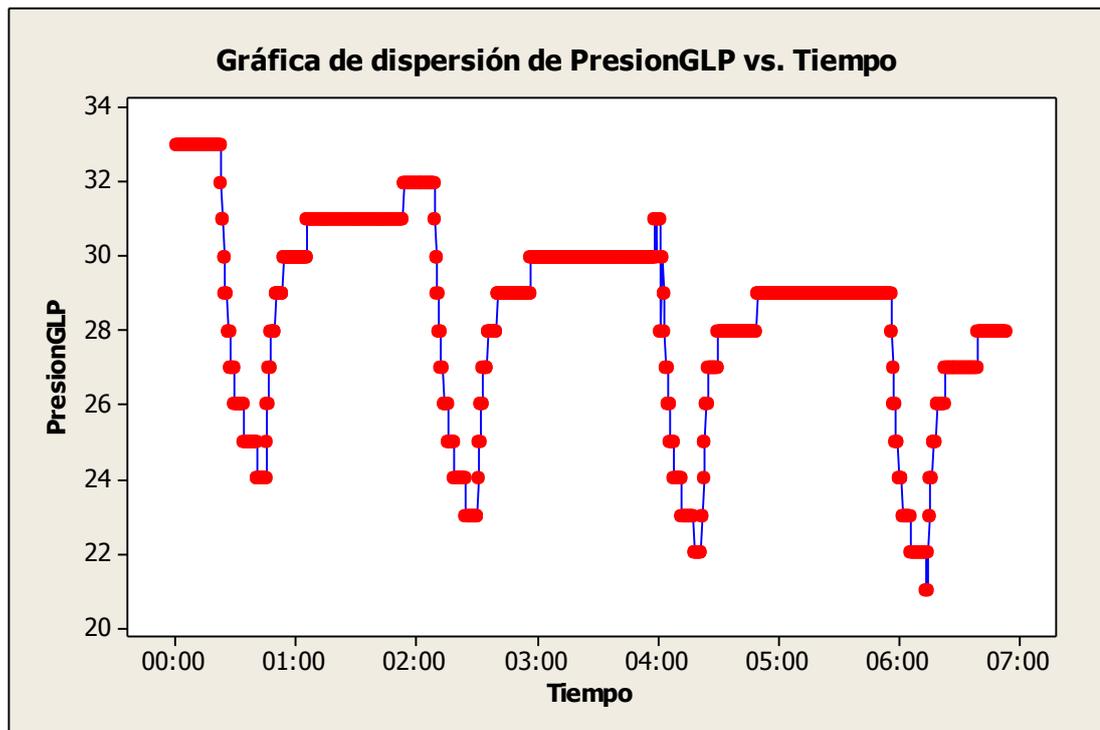


Figura N° 51: Gráfica de dispersión de Presión de GLP vs. Tiempo.  
Fuente: Autores.

### Presión de Agua

La variable de presión de agua suministrada al sistema de agua caliente, es de exclusivo control de la bomba que se encuentra en la cisterna de almacenamiento, por lo que únicamente podemos limitarnos a monitorear su funcionamiento.

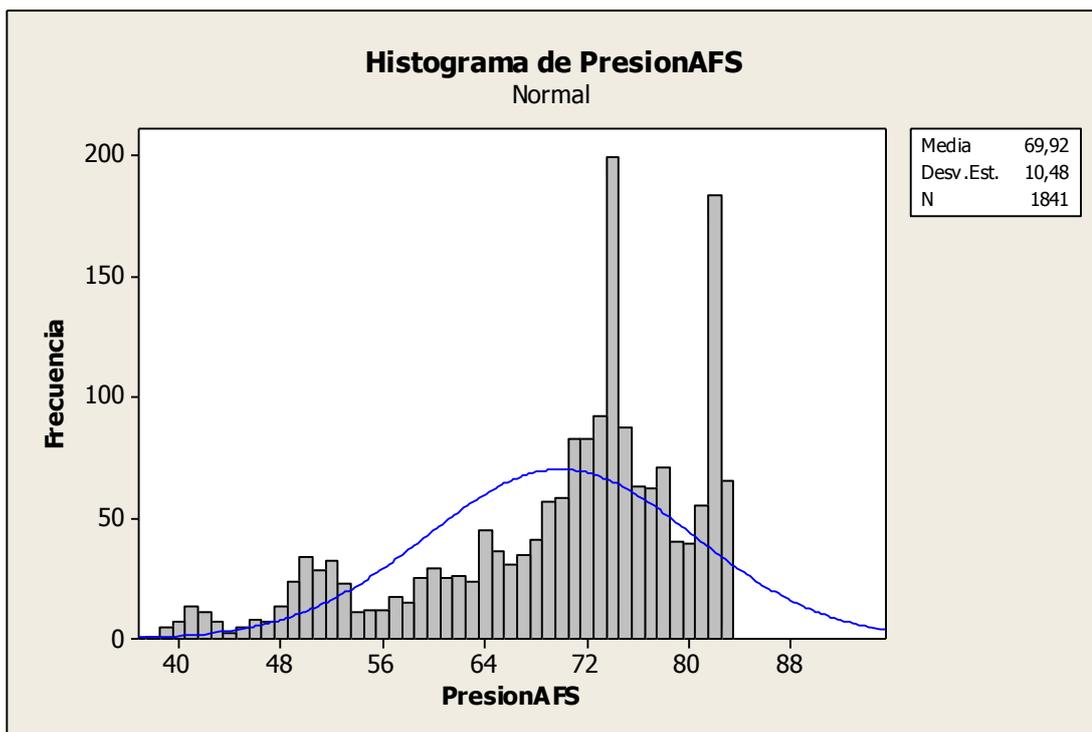


Figura N° 52: Histograma de Presión de Agua.  
Fuente: Autores.

### Temperatura al Usuario Final

Los datos de temperatura al usuario final, fueron obtenidos de diversas pruebas realizadas con el objetivo de cumplir con los límites de temperatura tanto de uso como de control. Las pruebas fueron:

- Uso de temperatura de tanque para control ON/OFF de calentador y bombas.
- Uso de temperatura de usuario para control ON/OFF de calentador y bombas.
- Uso de temperatura de retorno para control ON/OFF de calentador y bombas.
- Uso de temperatura de tanque para control ON/OFF de calentador y uso de temperatura de usuario para control ON/OFF de bombas de retorno.

Debido al alto consumo centralizado, resultó inevitable que las configuraciones de SETPOINT y diferencial de temperatura propios del calentador, fueran colocados en los límites permitidos, obteniendo de esta manera la máxima capacidad tanto de respuesta al cambio de temperatura mediante el diferencial de 1°C como de capacidad de consumo con los quemadores a máxima potencia.

Los resultados en el uso de la temperatura de **tanque** para control ON/OFF de calentador y bombas son:

- Máxima temperatura de usuario: 51°C
- Mínima temperatura de usuario: 36°C
- Tiempo aproximado fuera de los límites: 2 horas
- Porcentaje aproximado de tiempo del día cubierto por el control del sistema: 91,6%.

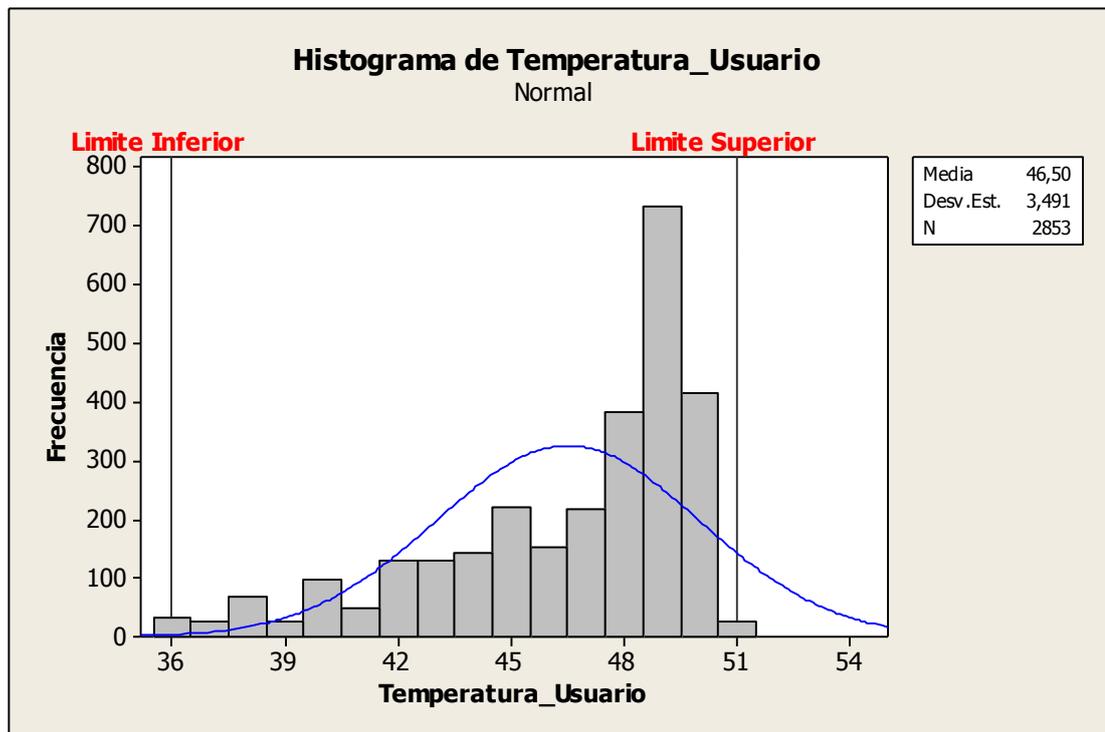


Figura N° 53: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Tanque.  
Fuente: Autores.

Los resultados en el uso de la temperatura de **usuario** para control ON/OFF de calentador y bombas son:

- Máxima temperatura de usuario: 57°C
- Mínima temperatura de usuario: 34°C
- Tiempo aproximado fuera de los límites: 1:40 horas
- Porcentaje aproximado de tiempo del día cubierto por el control del sistema: 93,6%

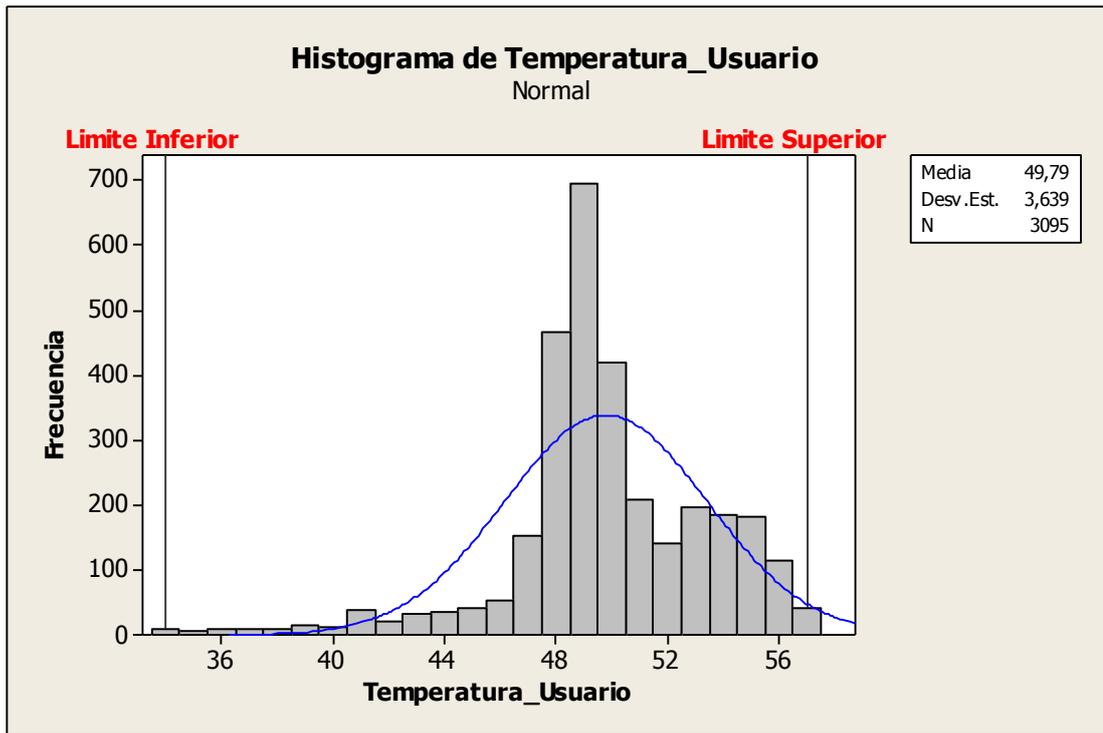


Figura N° 54: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Usuario.  
Fuente: Autores.

Los resultados en el uso de la temperatura de **retorno** para control ON/OFF de calentador y bombas son:

- Máxima temperatura de usuario: 68°C
- Mínima temperatura de usuario: 38°C
- Tiempo aproximado fuera de los límites: 3:22 horas
- Porcentaje aproximado de tiempo del día cubierto por el control del sistema: 85,2%.

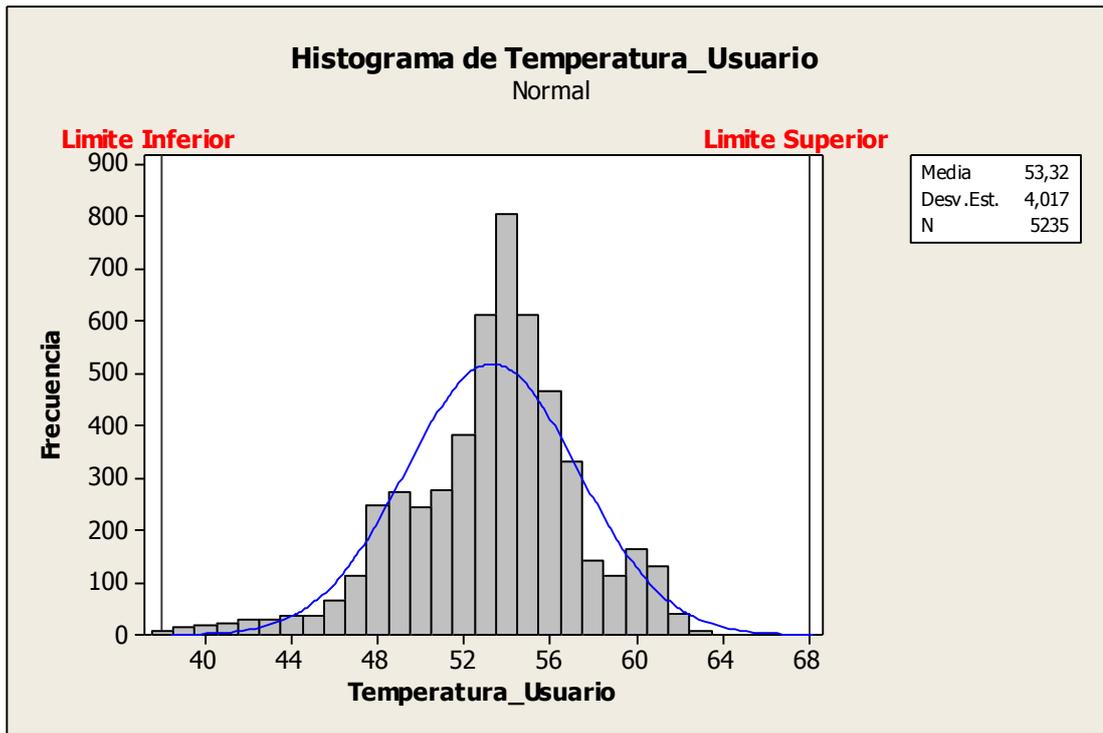


Figura N° 55: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Retorno.  
Fuente: Autores.

Los resultados en el uso de **temperatura de tanque para control ON/OFF de calentador** y uso de **temperatura de usuario para control ON/OFF de bombas de retorno** son:

- Máxima temperatura de usuario: 55°C
- Mínima temperatura de usuario: 41°C
- Tiempo aproximado fuera de los límites: 0:10 horas
- Porcentaje aproximado de tiempo del día cubierto por el control del sistema: 99,3 %

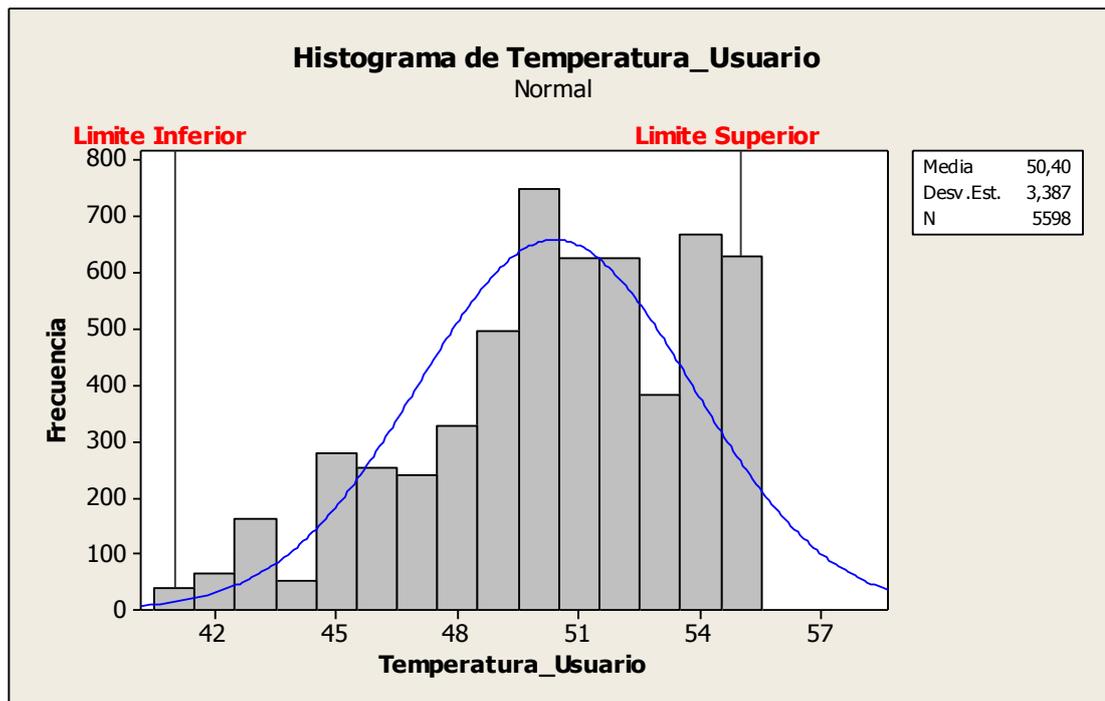


Figura N° 56: Histograma de Temperatura de Usuario Control Temp. Usuario y Temp. Retorno.  
Fuente: Autores.

#### 4.1.1. Normatividad

A lo largo de la ejecución del proyecto se ha tomado en cuenta la siguiente normativa:

- Para tablero y cableado.- norma NE 60617 (IEC 60617).
- Para instalaciones de sistemas de ACS.- Código Técnico de la Edificación HS 4 (CTE), reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE), NTE-IFC
- Para sensores de presión.- compatibilidad electromagnética EN 61326.
- Para sensores de temperatura.- norma IEC-751.
- Para medidor de caudal.- referencia a la norma ISO 4006.
- Para electroválvula de GLP.- Norma CEI-EN 50082-1.

Cada una de las normativas antes mencionadas viene como parte de la garantía de fábrica de cada uno de los equipos e instalaciones. El desarrollo de las aplicaciones informáticas, no responden a norma alguna debido a que fueron diseñadas de acuerdo al criterio de los autores.

## 4.2. Análisis Económico

**INGRESOS Y  
EGRESOS  
(EN DÓLARES)**

CUENTAS	OCT	DIC 2012	DIC 2013	DIC 2014	NOV 2015	DIC 2015	DIC 2016	DIC 2017
<b>INGRESOS</b>								
AHORRRO EN COBRO GLP COCINA	150,00	450,00	1.897,92	1.967,76	170,24	2.042,93	2.099,73	2.152,85
COBRO USO ACS COCINA	210,00	630,00	2.657,09	2.754,87	238,34	2.860,10	2.939,62	3.013,99
AHORRO EN COMBUSTIBLE ACS	70,00	210,00	1.283,81	1.368,58	118,40	1.420,86	1.460,36	1.497,30
COSTO DE OPORTUNIDAD	280,00	840,00	3.542,78	3.673,16	317,79	3.813,47	3.919,49	4.018,65
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>710,00</b>	<b>2.130,00</b>	<b>9.381,60</b>	<b>9.764,37</b>	<b>844,78</b>	<b>10.137,37</b>	<b>10.419,18</b>	<b>10.682,79</b>
<b>EGRESOS</b>								
<b>Gastos Administrativos</b>								
Depreciación Mensual	365,59	1.096,78	4.387,11	4.387,11	-	3.290,33	-	-
<b>Total Gastos Administrativos</b>	<b>365,59</b>	<b>1.096,78</b>	<b>4.387,11</b>	<b>4.387,11</b>	<b>-</b>	<b>3.290,33</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>365,59</b>	<b>1.096,78</b>	<b>4.387,11</b>	<b>4.387,11</b>	<b>-</b>	<b>3.290,33</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>RESULTADO DEL EJERCICIO</b>	<b>344,41</b>	<b>1.033,22</b>	<b>4.994,49</b>	<b>5.377,26</b>	<b>844,78</b>	<b>6.847,04</b>	<b>10.419,18</b>	<b>10.682,79</b>

17.407,23

Tabla N° 9: Ingresos y Egresos del proyecto  
Fuente: Autores

CONCEPTO	Inversión Inicial	Año 1 2012	Año 2 2013	Año 3 2014	Año 4 2015	Año 5 2016
<b>INGRESOS</b>						
INVERSION DE LA UNIVERSIDAD	17.111,32					
Total Ingresos		2.130,00	9.381,60	9.764,37	10.137,37	10.419,18
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>17.111,32</b>	<b>2.130,00</b>	<b>9.381,60</b>	<b>9.764,37</b>	<b>10.137,37</b>	<b>10.419,18</b>
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>1.033,22</b>	<b>4.387,11</b>	<b>4.387,11</b>	<b>3.700,00</b>	<b>-</b>
<b>SALDO FINAL</b>	17.111,32	1.096,78	4.994,49	5.377,26	6.437,37	10.419,18
<b>VALOR ACTUAL NETO</b>	<b>2.409</b>					
<b>RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)</b>	<b>14,08%</b>					
<b>TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)</b>	<b>15,03%</b>					
<b>TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE INVERSION</b>	<b>35 meses</b>					

Tabla N° 10: Indicadores económicos  
Fuente: Autores

### 4.3. Análisis de Consumo

Debido a que el sistema de abastecimiento de GLP hacia el equipo de calentamiento de agua es compartido con el concesionario de la cocina cafetería y lavandería, es necesario estimar el consumo de combustible mediante el cálculo de potencia utilizada y el poder calorífico del combustible. A continuación se presenta una tabla con los valores evaluados.

Porcentaje de uso residencia	100,00%
Cantidad de usuarios	1
Consumo por usuario por día (litros)	8200
Nota.- Rango de 55 -100 Considerando una ducha diaria, uso de lavadero y +/- 14%	
G = gasto diario de ACS del edificio (l.)	8200
te = temperatura de entrada del agua fría en el acumulador (°C).	18
tu = temperatura de utilización del ACS (°C).	49
tp = temperatura de preparación (°C).	55
QMp = caudal medio en los períodos punta (l/seg)	0,325396825
QMv = caudal medio en los períodos valle (l/seg).	
Numero de periodos de punta	3
Numero de periodos de valle	3
hp = duración de cada período que consideramos como punta (seg)	8400
hv = duración de cada período que consideramos como valle (seg)	20400
H = tiempo del día en que se considera el funcionamiento de la caldera (seg).	79200
Hp = tiempo total de períodos puntas (seg).	25200
Hv = tiempo total de períodos valle (=H - Hp), (seg).	54000
Potencia Kw	12,29810185
Potencia necesaria Kw	17,21734259
Energía necesaria Kcal-h/día	325752,1219
Energía necesaria BTU-h/día	1292667,15
Potencia Calentador a GLP BTUI-h/día	11880000
Porcentaje de eficiencia del calentador GLP	85,00%
Poder calorífico GLP (BTU/kg)	40284,9
Cantidad de GLP (kg/día)	32,08813104

Cantidad de GLP (kg/mes)	962,6439313
Precio GLP (USD/Kg)	0,9889
GASTO DIARIO CON GLP (USD)	31,73195279
GASTO MENSUAL CON GLP (USD)	951,9585836

Tabla N° 11: Cálculo de potencia calentador de agua

Fuente: Autores

De igual manera se puede determinar los valores de consumo de agua caliente por parte de cada uno de los usuarios del edificio resumido en la siguiente tabla.

Lugar de consumo	Consumo promedio m3/día		
Edificio Completo	8,2		
Cocina-Cafetería	2,05	7,9329882 USD/día	Cobrado al concesionario
Habitaciones	6,15		

Tabla N° 12: Cálculo de consumo de ACS

Fuente: Autores

El análisis de consumo de combustible del sistema de calentamiento de agua, llevó a la corrección del factor de conversión utilizado en el cobro de GLP a la cocina. Un análisis de consumo de GLP de la cocina se muestra a continuación.

m3 PROMEDIO MENSUAL	195,790
m3 PROMEDIO DIARIO	7,530
LITROS PROMEDIO DIARIO	30,377
BTU PROMEDIO DIARIO	798.360,502
KG PROMEDIO DIARIO	17,041

<b>RELACIONES</b>	
<b>Litros LP</b>	<b>m3 GAS VAPOR GLP</b>
1	0,2479
<b>Litros LP</b>	<b>Kg GLP</b>
1	0,561
<b>Litros de GLP</b>	<b>BTUs</b>
1	26282

<b>Precio GLP</b>	0,97
-------------------	------

	<b>NUEVO</b>	<b>ANTERIOR</b>
<b>FACTORES DE CONVERSIÓN</b>	2,15	1,5
<b>COSTO MENSUAL (USD)</b>	420,949	293,685
	<b>DIFERENCIA (USD)</b>	<b>127,264</b>

Tabla N° 13: Cálculo de consumo y factor de GLP de la cocina  
Fuente: Autores

## Conclusiones

La puesta en operación del sistema SCADA para generación de agua caliente sanitaria con las características implementadas en el presente proyecto, coloca a la residencia de la Universidad Andina Simón Bolívar dentro de la vanguardia tecnológica orientada a servicios de hospedaje y hotelería, brindando un servicio de primera categoría considerando la naturaleza propia de una residencia sin fines de lucro.

El estudio sobre sistemas de agua caliente sanitaria, sistema centralizado de GLP<sup>21</sup> y sus respectivos mantenimientos, resultó necesario para generar un completo proyecto de reingeniería, donde las características de dichos sistemas fueron incluidas al proyecto original planteado a la Universidad Andina Simón Bolívar.

El capital de inversión, el requerimiento de confiabilidad y seguridad, el impacto ambiental, y el alto requerimiento de confort de la Universidad Andina Simón Bolívar, son adicionales a la definición donde un bien debe ser administrado durante su vida útil mediante el desarrollo e implementación de sistemas de adquisición de datos, permitiendo de esta manera generar procesos de mantenimiento adecuados.

El servicio de agua caliente en las habitaciones de la residencia de la Universidad Andina Simón Bolívar, marca el punto de inflexión para el correcto funcionamiento del sistema, debido a que dicho servicio no puede ser interrumpido inesperadamente en ningún momento del día.

El sistema SCADA, se presenta como un punto de referencia tanto en lo procedimental, metodológico así como tecnológico para futuros proyectos desarrollados en la Universidad Andina Simón Bolívar, debido a que resalta la importancia del registro de datos técnicos, que permiten tener una interpretación real y completa sobre el estado y funcionamiento de los sistemas existentes en las instalaciones.

---

<sup>21</sup> GLP.- Gas Licuado de Petróleo.

El sistema de adquisición de datos en tiempo real implementado, garantiza información sobre la situación actual e histórica del sistema de agua caliente, permitiendo tomar acciones de mantenimiento adecuadas, con el objetivo de evitar daños y preservar el correcto funcionamiento de los equipos.

El sistema de agua caliente, no requiere intervención de un operador, debido a que los sensores y controles instalados, permiten una respuesta automática de los equipos ante las variaciones de temperatura, eventos o alarmas generados dentro del sistema.

Al tratar con un sistema termodinámico abierto, se pueden medir perfectamente aquellas transformaciones de energía tales como las existentes en la tubería, juntas y tanque de almacenamiento de agua caliente en las que existen flujos de materia, utilizando para dichas mediciones parámetros como la entalpía o la entropía.

Tomando en consideración los datos históricos del consumo de agua caliente referidos a las figuras 46 a 48, se puede clasificar dicho consumo en; Muy Alto de 6:30 am hasta 12:00 pm, Medio de 12:00 pm a 10:30 pm y Bajo de 10:30 pm a 6:30 am. Así también al ser el consumo de agua caliente y la variación de la temperatura, inversamente proporcionales, nos permite concluir que dichas variaciones se presentan más significativas en las horas de la mañana.

Con base en las pruebas realizadas como; el seguimiento de la temperatura de tanque, temperatura de usuario, temperatura de retorno, así como del caudal total de agua caliente, se determinó que el control implementado para cumplir con los rangos de temperatura de 42°C a 55°C, sea un control digital Encendido/Apagado en las bombas que sea dependiente de la temperatura de usuario, y un control digital Encendido/Apagado para el calentador de agua dependiente de la temperatura del tanque de almacenamiento, ya que estas dos variables siguen de mejor manera el comportamiento del consumo promedio de agua caliente a lo largo del día, y en distintas partes del sistema.

El sistema de control permite mantener la temperatura dentro de los límites

especificados durante el 99,3% del día aproximadamente, ya que existe un registro constante de 41°C (1°C por debajo del límite inferior de 42°C), que se presenta durante 10 minutos al día en promedio, debido a una media de caudal mayor a 17,81 l/min. A partir de este valor, a mayor caudal de consumo menor será la temperatura, transformándose en una relación inversamente proporcional.

El nuevo sistema permite una mejora de 7°C al límite inferior (De 35°C a 42°C) y 10°C al límite superior (De 65°C a 55°C) frente al sistema anterior. Lo que se refleja en un mejor servicio al usuario y una menor corrosión en el sistema.

Basados en las pruebas de funcionamiento de campo y cálculos realizados con registros obtenidos del sistema de adquisición de datos referidos a la figura 55, se determinó que un mejor control a la temperatura del usuario no es posible debido a que el dimensionamiento del calentador se realizó desconociendo el consumo de agua tan alto y centralizado en las horas de la mañana, además de la gran capacidad del tanque de almacenamiento que fue reutilizado del sistema anterior.

La evaluación del sistema de abastecimiento de GLP, permitió identificar un error en el factor de conversión de 0,7 puntos de diferencia (De 1,5 a 2,2), lo que provoca un subsidio involuntario de 75% del valor facturado de GLP al concesionario del comedor de la Universidad Andina Simón Bolívar.

La medición real del consumo de agua caliente en la cafetería de Universidad Andina Simón Bolívar, permite establecer un cobro real de este servicio a la empresa concesionaria, reemplazando los cálculos de estimación existentes.

El uso de productos de National Instruments como el software de programación LabVIEW y la tarjeta de adquisición de datos NI-6212, facilitaron la interpretación y escalamiento de las señales tanto analógicas como digitales obtenidas desde los sensores, mediante los drivers, herramientas de programación gráfica, asistentes y librerías que vienen incluidos para el uso de dichos productos.

El software y la capacidad de almacenamiento interno que vienen incorporados a

la pantalla HMI BrainChild, permiten tener un respaldo y un posterior procesamiento de la información que ingresa al dispositivo, lo que garantiza que los datos obtenidos podrán ser rescatados en caso de falla de conexión con el servidor de almacenamiento y procesamiento de datos.

El uso del protocolo de comunicación OPC, permitió una mejor identificación y uso de las variables de comunicación, así como facilitó el reconocimiento del tipo de información que se maneja entre los dispositivos del sistema.

La implementación de tecnologías como la ultrasónica en la medición del consumo de agua, permiten garantizar la no interferencia del instrumento de medición en el flujo normal de agua dentro del proceso, lo que lleva a mejorar la precisión y veracidad de la información obtenida.

La capacidad de expansión de los dispositivos de adquisición de datos (PLC Siemens S7-200 y DAQ NI 6212), brinda la posibilidad de incorporar en el futuro nuevos elementos de medición o control, que aporten al mejoramiento del sistema ya instalado.

## Recomendaciones

Para mejorar los límites de variación de temperatura, se recomienda un control analógico y elementos de igual respuesta proporcional instalados en el sistema como; válvulas proporcionales al ingreso de agua fría del tanque de almacenamiento de agua, además de una revaloración de la capacidad de almacenamiento del tanque y evaluaciones sobre un posible mayor consumo de combustible.

Con el objeto de diferenciar la temperatura de salida para cada una de los usuarios de sistema de agua caliente sanitaria, se recomienda instalar válvulas mezcladoras proporcionales en los ramales de direccionamiento de uso,

Si se desea que el valor de consumo de GLP se realice mediante un método no matemático, se recomienda la instalación de un medidor de gas con la capacidad de incorporarse al sistema de adquisición de datos instalado.

Desarrollar e implementar procedimientos administrativos tales como la conformación de un equipo de trabajo que dé seguimiento al comportamiento del sistema de calentamiento de agua y conduzca al mejor aprovechamiento del sistema de adquisición de datos.

Para el cobro de agua caliente sanitaria en la cafetería se recomienda establecer un valor fijo por el servicio y un valor variable dependiente del medidor de consumo instalado en la tubería de la cocina, con el objetivo de obtener mediante el valor fijo un retorno a los gastos de mantenimiento del sistema, y mediante el valor variable un retorno a los gastos de combustible empleado en el proceso de distribución y calentamiento de agua.

Desarrollar y ejecutar un correcto plan de mantenimiento considerando las recomendaciones de los fabricantes y los horarios de intervención menos perjudiciales para el usuario.

Realizar análisis de calidad en cuanto a la dureza del agua y un tratamiento periódico para evitar problemas de legionelosis<sup>22</sup> y corrosión en el sistema pudiendo ser tomada en cuenta las instrucciones del Anexo 1.

Se deben garantizar los servicios de conectividad, mantenimiento mínimo y suministro de energía eléctrica y GLP por parte de la Universidad Andina Simón Bolívar, para el funcionamiento ininterrumpido del sistema.

Desarrollar el proyecto de viabilidad para la instalación de paneles solares, que sean un complemento para la recuperación de temperatura del sistema de agua caliente sanitaria.

Realizar una re-ingeniería del sistema de abastecimiento y distribución de GLP en las instalaciones de la Universidad Andina Simón Bolívar, procurando el continuo suministro tanto de caudal como presión hacia el equipo de calentamiento de agua.

Una vez revisados los datos de presión de agua en el sistema de calentamiento, se recomienda una inspección y evaluación sobre el control y dimensionamiento de las bombas que se encuentran en la cisterna utilizadas con el fin de dar presión al usuario final.

---

<sup>22</sup> Legionelosis.- enfermedad bacteriana de origen ambiental.

## Bibliografía

- ROCA, Manuel. Fontanería. Departamento de construcción arquitectónica. Editorial ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. 2007.
- GARCÍA SAN JOSÉ, Ricardo. Salas de calderas. Ediciones El Instalador Marzo 2000.
- BOLTON, W. Ingeniería de control. Editorial Alfa0. Segunda Edición. México 1999.
- SOISSON, Harold. Instrumentación Industrial. Editorial Limusa. 2006.
- ENRIQUEZ, Gilberto. Abc de la Instrumentación en el control de procesos industriales. Editorial Limusa. 2004.
- PACHECO, Jesús. Medición y control de procesos industriales. Editorial Trillas. 2000.
- CHAVARRÍA, Luis. SCADA System's and Telemetry. Atlantic International University. México.2007
- PROSENER. Salas de Calderas Normativa básica y diseño. Primera edición.
- MENDIBURU, Henry. Sistemas SCADA. Publicaciones Galeon. 2000.
- UN, Cuyo. Unidad 9 Sistemas SCADA. Publicaciones de electrónica general y aplicada Universidad Nacional de Cuyo.
- OSINERGMIN. Propiedades y características del Gas Licuado de Petróleo. Septiembre 2011.
- BOLTZMANN, Ludwig. Escritos de mecánica y termodinámica. Editorial Alianza. 1986.
- SIEMENS. Manual del sistema de automatización S7200. Edición 08/2005.
- NATIONAL INSTRUMENTS. Manual NI USB-6212. Disponible en [info@ni.com](mailto:info@ni.com).
- [http://editorial.dca.ulpgc.es/servicios/2\\_fontaneria/index.htm](http://editorial.dca.ulpgc.es/servicios/2_fontaneria/index.htm)
- <http://es.scribd.com/doc/31247582/trabajo-de-instrumentacion>
- <http://es.scribd.com/doc/38917057/Simbologia-Industrial>
- <http://www.sp.san.gva.es/sscc/puntosMenu.jsp?CodPor=21&Opcion=SANM S14111&MenuSup=SANMS1411&Nivel=2>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Windows\\_XP](http://es.wikipedia.org/wiki/Windows_XP)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Termodin%C3%A1mica>

## Glosario

- SCADA.- Supervisory Control And Data Acquisition – Control de Supervisión y adquisición de datos.
- ACS.- Agua Caliente Sanitaria.
- AFS.- Agua Fría Sanitaria.
- GLP.- Gas Licuado de Petróleo.
- UASB.- Universidad Andina Simón Bolívar.
- AC.- Corriente Alterna.
- DC.- Corriente Continua.
- PLC.- Controlador lógico programable.
- DAQ.- Adquisición de datos.
- SubVI.- Instrumento Virtual secundario del software LabVIEW.
- OPC.- OLE (Microsoft) para procesos de control de arquitectura cliente-servidor.

## ANEXO 1: MANTENIMIENTO PREVENTIVO SOBRE LA RED DE ACS

	<b>Parámetro a controlar</b>	<b>Periodicidad del control</b>	<b>Criterio de aceptación</b>	<b>Acciones en caso de incumplimiento</b>
<i>Red de agua caliente sanitaria</i>	Temperatura en depósito acumulador	Mensual	Mínimo 60 °C	Regular temperatura. Aislamiento de las tuberías y depósitos
	Temperatura en muestra rotatoria representativa de grifos y duchas	Mensual	Mínimo 50 °C	Regular temperatura en depósito. Preferiblemente, aislamiento de las tuberías.
	Determinación en grifo (muestra rotatoria) del nivel de desinfectante	Trimestral	Debe estar entre los límites establecidos por la legislación vigente.	Aumentar la concentración de desinfectante en el agua de aporte o en el depósito.
	Ausencia de agua estancada	Semanal	No deben existir estancamientos en zonas nos usadas.	En las zonas no usadas, abrir grifos y duchas dejando correr el agua unos minutos.
	Estado general de conservación y limpieza de los depósitos	Trimestral	Ausencia de suciedad, incrustaciones, corrosión o sedimentos.	En presencia de suciedad, limpiar.  En presencia de incrustaciones, corrosión o sedimentos realizar un tratamiento adecuado del agua.
	Estado general de conservación y limpieza del circuito (muestra representativa rotatoria de red, duchas y grifos)	Mensual	Ausencia de fugas, suciedad, incrustaciones, corrosión o sedimentos	En presencias de fugas, reparar.  En presencia de suciedad, limpiar.  En presencia de incrustaciones, corrosión o sedimentos realizar un tratamiento adecuado del agua
	Revisión general del funcionamiento de la instalación	Anual	Correcto funcionamiento	Reparar o sustituir elementos defectuosos
	Limpieza y desinfección de depósitos	Anual	Realizar al menos una vez al año.	Limpieza y desinfección.
	Equipos de tratamiento del agua (estos equipos generalmente se instalan en la entrada general de agua)	Mensual	En filtros: elementos filtrantes limpios	Limpiar o sustituir elemento filtrante
			En descalcificadores: dureza residual según especificaciones	Ajustar o reparar
			En dosificadores: dosis pre-establecidas	Ajustar o reparar
	Controles analíticos de calidad microbiológica	Semestral	Recuento total de bacterias aerobias < 100 UFC/ml	Verificar sistema de desinfección. En caso necesario, desinfección del circuito
			<i>Legionella</i> < 1000 UFC/l.	Verificar sistema de desinfección. Desinfección del circuito

Tabla N° 14: Mantenimiento preventivo red de ACS

Fuente: Autores

## ANEXO 2: ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ACS.

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	FUNCIÓN
F1	Flujómetro	Retorno ACS	Medir caudal de retorno de ACS
F2	Flujómetro	Salida de ACS hacia la cocina	Medir caudal salida a la cocina
F3	Flujómetro	Entrada AFS	Medir caudal de entrada de AFS
P1	Transmisor de presión	Entrada AFS	Medir presión de AFS
P2	Trasmisor de presión	Salida ACS al usuario desde tanque	Medir presión de ACS a la salida al usuario
P3	Trasmisor de presión	Entrada de GLP al calentador	Medir presión de tubería de GLP
T1	Transmisor de temperatura	Entrada AFS	Medir temperatura de entrada de AFS
T2	Transmisor de temperatura	Retorno ACS	Medir temperatura de retorno de ACS
T3	Transmisor de temperatura	Salida al tanque desde calentador	Medir temperatura del ACS a la salida del calentador
T4	Transmisor de temperatura	Tanque de almacenamiento 1	Medir temperatura tanque 1
T5	Transmisor de temperatura	Tanque de almacenamiento 2	Medir temperatura tanque 2
T6	Transmisor de temperatura	Salida ACS al usuario desde tanque	Medir temperatura de ACS a la salida al usuario

Tabla N° 15: Elementos de instrumentación del sistema de ACS.

Fuente: Autores

### ANEXO 3: CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL AGUA CALIENTE SANITARIA.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA CALIENTE SANITARIA	
PH	$7 < x < 8,5$
Contenido de cloruros mg/l	$50-100 < x < 200-300$
Salinidad (reflejada en conductividad)	200 a 650 $\mu\text{S/cm}$
Temperatura °C	$45 < x < 60$

Tabla N° 16: Características básicas del ACS.

Fuente: Autores

## ANEXO 4: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DAQ

<b>General</b>	
<b>Producto</b>	USB-6212
<b>Familia de Productos</b>	DAQ Multifunción
<b>Formato Físico</b>	USB
<b>Sistema Operativo/Objetivo</b>	Windows
<b>Familia de Productos DAQ</b>	Serie M
<b>Tipos de Medida</b>	Codificadores de cuadratura , Voltaje
<b>Compatibilidad con RoHS</b>	Sí
<b>Entrada Analógica</b>	
<b>Canales</b>	16 , 8
<b>Canales de una sola terminal</b>	16
<b>Canales Diferenciales</b>	8
<b>Resolución</b>	16 bits
<b>Velocidad de Muestreo</b>	400 kS/s
<b>Máx. Voltaje de Entrada Analógica</b>	10 V
<b>Rango de Voltaje Máximo</b>	-10 V , 10 V
<b>Precisión Máxima del Rango de Voltaje</b>	2.69 mV
<b>Sensibilidad Máxima del Rango de Voltaje</b>	91.6 $\mu$ V
<b>Rango de Voltaje Mínimo</b>	-200 mV , 200 mV
<b>Mínima Precisión del Rango de Voltaje</b>	0.088 mV
<b>Mínima Sensibilidad del Rango de Voltaje</b>	4.8 $\mu$ V
<b>Número de Rangos</b>	4
<b>Muestreo Simultáneo</b>	No

<b>Memoria Interna</b>	4095 muestras
<b>Salida Analógica</b>	
<b>Canales</b>	2
<b>Resolución</b>	16 bits
<b>Máx. Voltaje de Salida Analógica</b>	10 V
<b>Rango de Voltaje Máximo</b>	-10 V , 10 V
<b>Precisión Máxima del Rango de Voltaje</b>	3.512 mV
<b>Rango de Voltaje Mínimo</b>	-10 V , 10 V
<b>Mínima Precisión del Rango de Voltaje</b>	3.512 mV
<b>Razón de Actualización</b>	250 kS/s
<b>Capacidad de Corriente Simple</b>	2 mA
<b>Capacidad de Corriente Total</b>	4 mA
<b>E/S Digital</b>	
<b>Canales Bidireccionales</b>	32
<b>Canales de Entrada Únicamente</b>	0
<b>Canales de Salida Únicamente</b>	0
<b>Número de Canales</b>	32 , 0 , 0
<b>Temporización</b>	Software
<b>Niveles Lógicos</b>	TTL
<b>Entrada de Flujo de Corriente</b>	Sinking
<b>Salida de Flujo de Corriente</b>	Sourcing
<b>Filtros de Entrada Programables</b>	No
<b>¿Soporta Estados de Encendido Programables?</b>	Sí

<b>Capacidad de Corriente Simple</b>	16 mA
<b>Capacidad de Corriente Total</b>	50 mA
<b>Temporizador Watchdog</b>	No
<b>¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?</b>	No
<b>¿Soporta E/S de Patrones?</b>	No
<b>Máximo Rango de Entrada</b>	0 V , 5.25 V
<b>Máximo Rango de Salida</b>	0 V , 3.8 V
<b>Contadores/Temporizadores</b>	
<b>Número de Contadores/Temporizadores</b>	2
<b>Operaciones a Búfer</b>	Sí
<b>Eliminación de Rebotes</b>	Sí
<b>Sincronización GPS</b>	No
<b>Rango Máximo</b>	0 V , 5.25 V
<b>Frecuencia Máxima de la Fuente</b>	80 MHz
<b>Generación de Pulso</b>	Sí
<b>Resolución</b>	32 bits
<b>Estabilidad de Tiempo</b>	50 ppm
<b>Niveles Lógicos</b>	TTL
<b>Especificaciones Físicas</b>	
<b>Longitud</b>	16.9 cm
<b>Ancho</b>	9.4 cm
<b>Altura</b>	3.1 cm
<b>Conector de E/S</b>	Terminales de tornillo

Tabla N° 17: Especificaciones técnicas DAQ.  
Fuente: National Instruments

## ANEXO 5: ESPECIFICACIONES ELECTROVÁLVULA GLP

TECHNICAL DATA	
Orifice	DN 1.0 - 6.0 mm
Body material	Brass with stainless steel seat 1.4305 or stainless steel body 1.4581
Coil material	Epoxy
Coil insulation class	H
Seal material	FKM, PTFE (others on request)
MEDIA	
FKM	Hot air, hot oils, oils with additives, per-solutions
PTFE	Water, steam, fuels, hydraulic materials, alcohol, organic solvents, waste gas
MEDIA TEMPERATURE	
FKM	-10 to +130 °C
PTFE	-40 to +180 °C
Steel	Up to +250 °C (on Request)
Viscosity	Max. 21 mm <sup>2</sup> /s
Ambient temperature	Max. +55 °C (250 °C on request), please see ordering chart
Voltage Tolerance	± 10%
Duty cycle	100 % continuous rating
Electrical connection	Cable plug for Ø 7 mm cable, acc. To DIN EN 175301-803 Form A (supplied as standard)
Protection class	IP 65 with cable plug
Weight (Kg)	0.6 (brass version)
Installation	As required, preferably with actuator upright

Tabla N° 18: Especificaciones electroválvula GLP  
Fuente: Burkert

## ANEXO 6: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSMISORES DE TEMPERATURA

Rango de Medición:	-50 °C .....150 °C
Elemento sensor:	Pt 100
Señal de salida y la máxima	4 mA..... 20 mA, 2 hilos
Carga óhmica RA:	(AR <= (L+ - 9V)/0,023 A [Ohm])
<b>RENDIMIENTO</b>	
Precisión del elemento sensor:	De clase A según IEC 60751
Transmisor de la precisión:	≤ ± 0,2% del rango
Transmisor de linealidad:	≤ ± 0,1% del rango
<b>MECANICA / ELECTRONICA</b>	
Material de la carcasa:	Acero Inoxidable 1.4571
Piezas en contacto:	Acero Inoxidable 1.4571
corriente de medición:	0,3 mA ..... 1 mA
Tensión de alimentación:	10 V DC ..... 36 V DC para la Variante con el transmisor 4mA...20mA
Resistencia a la Presión:	max. 120 bar
<b>AMBIENTE DE DATOS</b>	
Temperatura de Ambiente	-40°C..... 85°C
Temperatura de almacenamiento y Transporte	-40°C..... 85°C
Resistencia a los golpes según Norma IEC 60751	500 g.

Tabla N° 19: Especificaciones técnicas transmisores de temperatura  
Fuente: SICK

## ANEXO 7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSMISOR DE PRESIÓN

Rango de Medición:	0 bar .....10 bar
Elemento sensor:	Membrana
Temperatura de Proceso:	0 °C..... 80 °C
Temperatura de Servicio	0 °C..... 80 °C
<b>RENDIMIENTO</b>	
Precisión:	<= + / - 1% (del rango)
La no Linealidad:	0,5% (Línea recta más ajustada (BFSL))
<b>MECÁNICA / ELECTRÓNICA</b>	
Material de la carcasa:	316 L
Grado de Protección	IP 67
Señal de salida:	4 ..... 20 mA
Tensión de alimentación:	8 V DC ..... 30 V DC
<b>AMBIENTE DE DATOS</b>	
Temperatura Ambiente	0°C ..... 80 °C
Cargas de Choque:	500 g según IEC 60068-2-27 (golpes)
Vibración de Carga:	10 g. de acuerdo con IEC 60068-2-6 (Vibraciones en la resonancia)

Tabla N° 20: Especificaciones técnicas transmisores de presión  
Fuente: SICK

## ANEXO 8: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MEDIDORES DE CAUDAL.

Temperatura de Proceso:	0 °C .....80 °C
Presión del Proceso:	Máx. 6 bar
Temperatura de Servicio	0 °C..... 80 °C
<b>RENDIMIENTO</b>	
Flujo Mínimo:	5 L/min.
Caudal máximo:	240 L/min.
Conductividad:	sin limite
Precisión del elemento sensor:	2% (del Valor Final)
Resolución	0,03 L/min.
<b>DATOS ELÉCTRICOS</b>	
Tensión de alimentación:	18 V DC..... 30 VDC
Consumo de Energía:	≤ 180 mA
Señal de salida:	Salida analógica: 4 mA 20 mA de corriente de flujo.
Impulso /salida de Frecuencia	0 kHz..... 10 kHz
ancho de Pulso:	≤ 1 s
corriente de salida:	<100 mA
Tiempo de Repuestas:	Filtro de 100 ms, el filtro de baja 300 ms, 1 s medio filtrante, el filtro fuerte 4,2 s.
Salida de carga:	< 500 Ohm
Señal de nivel inferior:	3,8 mA..... 4 mA
señal de nivel superior	20 mA.....20,5 mA
<b>AMBIENTE DE DATOS</b>	
Temperatura Ambiente en servicio:	0°C..... 60 °C
Temperatura ambiente, el almacenamiento:	-20°C..... 70 °C

Tabla N° 21: Especificaciones técnicas medidores de caudal  
Fuente: SICK

## ANEXO 9: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DE GAS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CONSIDERACIONES AMBIENTALES	
Temperatura (Operación):	De 0°C a +49 °C (de +32 °F a +120 °F); Para instalaciones UL. De +4.4 °C a +49 °C (de +40 °F a +120 °F)
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Color:	Blanco
Dimensiones (Al.xAn.XPr.)	11.4 cmX12.7cmX4.1 cm (4.5 pulg. X 5 pulg. X 1.625 pulg.)
Peso	0.25 Kg (0.54 libras)
SALIDAS	
ALARMA	
Configuración del Relé	Un SPDT (Formato C)
Potencia del Relé:	0.125 A, 40 v, 3 VA
Ajuste de Sensibilidad	25% por debajo del LIE del propano y del metano
PROBLEMAS	
Configuración del Relé	un SPST (Formato A)
Potencia del Relé:	0.25 A, 40 V, 10 VA
REQUISITOS DE ALIMENTACIÓN:	
CORRIENTE	
Alarma:	a 12 VCC: 70 mA; a 24 VCC: 35 mA a 12 VCA: 100 mA; a 24 VCA: 65 mA
en Reposo:	a 12 VCC: 45 mA; a 24 VCC: 22 mA a 12 VCA: 65 mA; a 24 VCA: 45 mA
TENSIÓN	
VCC de Entrada:	de 12 VCC a 24 VCC
VCA de Entrada:	de 12 VCA a 24 VCA, 50 Hz o 60 Hz

Tabla N° 22: Especificaciones técnicas sensor de gas  
Fuente: MACURCO

## **ANEXO 10: MANUAL DE USUARIO SOBRE FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL SOFTWARE “UKSILDUS”**

### **Administración de bienes muebles e inmuebles.**

Para poder gestionar los bienes muebles e inmuebles destinados a mantenimiento, primero debemos partir de un levantamiento de la información real existente en las instalaciones de UASB.

Una vez realizado lo mencionado, la aplicación de permite el ingreso, modificación y búsqueda en la base de datos de la información de un bien a la vez.

A continuación daremos un ejemplo de cómo utilizar las opciones de “Bienes”.

El sistema SCADA del sistema de ACS tiene instalado una tarjeta de adquisición de datos exclusiva para su uso. Para poder gestionar este bien dentro de ULSILDUS, realizaremos los siguientes pasos:

- Ingresamos a la aplicación.
- Damos clic en “Bienes”
- Escogemos el sistema al cual pertenece la tarjeta. En este caso es “Sistemas Integrados”, ya que el sistema de ACS está incluido en esta categoría.
- Una vez ahí tendremos 3 opciones para continuar; insertar nuevo equipo, fichas técnicas y búsqueda de equipo. Seleccionaremos “INSERTAR NUEVO EQUIPO”.



Figura N° 57: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

- Una vez dado el clic, llegaremos a la ventana FICHA, donde podremos ingresar la información en los campos destinados.

Figura N° 58: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

- Una vez ingresada la información damos clic en “Insertar”.
- Para verificar que la información ha sido ingresada a la base de datos correctamente, en la primera ventana seleccionaremos “BUSQUEDA DE EQUIPO” en donde podremos buscar por distintos parámetros.

- Una vez encontrado el bien, nos referiremos al código señalado.
- Con este código nos dirigimos a la opción “FICHAS TÉCNICAS” en donde ingresaremos el código referido, y nos indicará la correspondiente ficha del bien, que podrá ser modificada en esta opción.

The screenshot shows a web application window titled 'UKSILDUS - FICHA TÉCNICA'. The main content area is yellow and contains a form with the following fields and values:

Field Name	Value	Unit/Label
CÓDIGO	4	
DESCRIPCIÓN	Bomba Calentador ACS	
MODELO	Monofásica 110V-5A-1/2HP	
NÚMERO DE SERIE	Ninguno	
EDIFICIO	Manuela Saenz	
PISO	Subsuelo 2	
UBICACIÓN	Cuarto de calor	Código Ubicación: 20
AÑO DE COMPRA	2012	
VALOR DE COMPRA	850	USD
VIDA UTIL	60	MESES
PROVEEDORES	Pablo Calderón	
SISTEMA	Sistemas Integrados	
COSTO POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO	0	USD
COSTO ULTIMO MANTENIMIENTO CORRECTIVO	.100,	USD
RESPONSABLE OPERATIVO	Julio Llanganate	
RESPONSABLE SUPERVISIÓN Y CONTROL	Néstor Xavier Maya I.	
RESPONSABLE CONDUCCIÓN Y GESTIÓN	Eco, Ángel Castro	
FECHA ULTIMA MODIFICIACIÓN	Tue May 08 2012	
LAPSO DE TIEMPO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO	100	DÍAS (Descripción de Mantenimiento): 23
NÚMERO DE MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS		Ver Actividades Mant. Correctivo
ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO	*Denominación: 24	Ver Actividades Mant. Preventivo Insertar Descripción Mant. Preventivo

At the bottom right of the form is a 'Guardar' button.

Figura N° 59: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

- Con esto hemos ingresado exitosamente un bien para su utilización dentro de la aplicación UKSILDUS.

### Administración de recursos y planificación.

- Procedemos a elegir la opción “RECURSOS & PLANIFICACIÓN”, y elegimos el sistema al que pertenece el bien.
- Aquí nos encontraremos con un primer parámetro a considerar que es el tipo de mantenimiento que realizaremos; puede ser Preventivo o Correctivo.

- Para cualquiera de los dos casos se tendrá dos opciones; la de “ACTIVIDADES Y RECURSOS” y “CALENDARIO”.

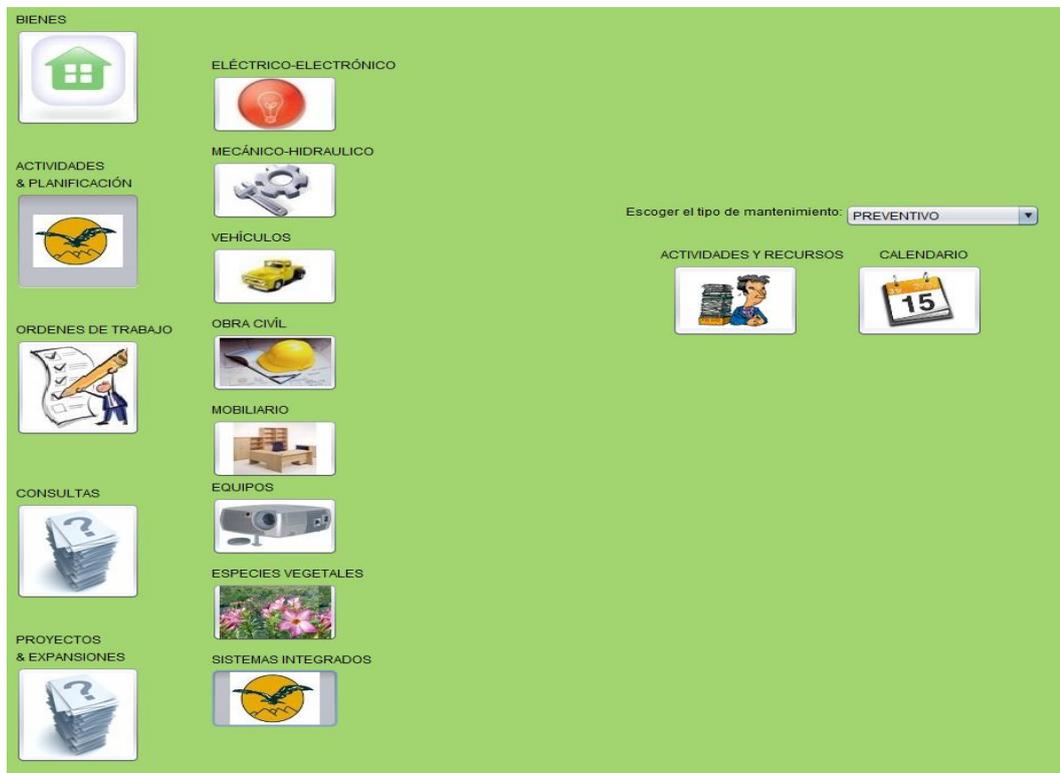


Figura N° 60: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

- En la primera ingresaremos toda la información requerida para las actividades sean de mantenimiento preventivo o de correctivo, y en la segunda daremos una fecha para su realización.

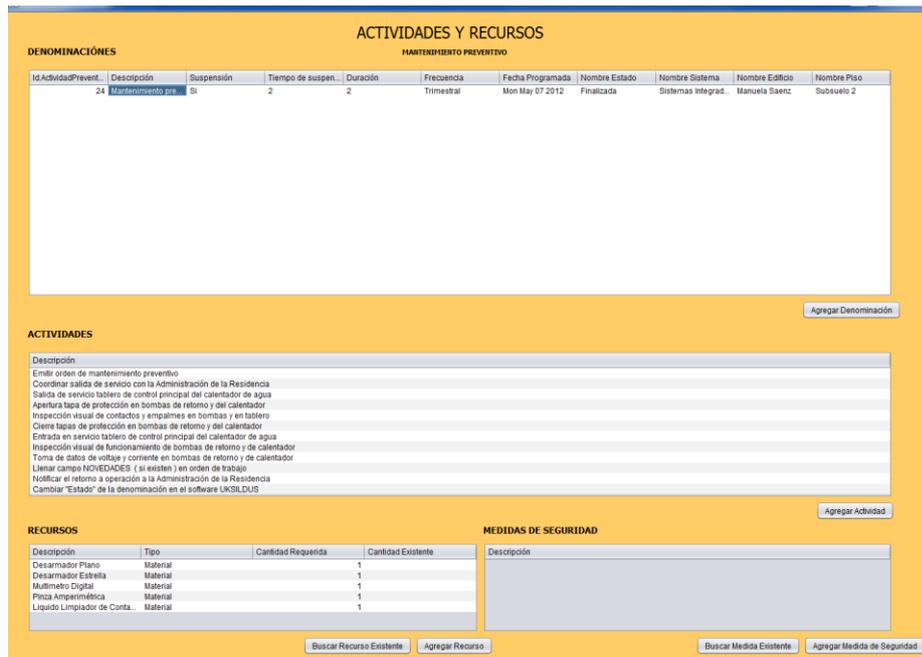


Figura N° 61: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores



Figura N° 62: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

## Ordenes de trabajo

- Al igual que en las opciones anteriores después de seleccionar “ORDENES DE TRABAJO”, seleccionaremos el sistema.
- Una vez ahí tendremos 3 opciones para continuar; hoja de ruta, Orden Mantenimiento Preventivo y Orden Mantenimiento Correctivo.

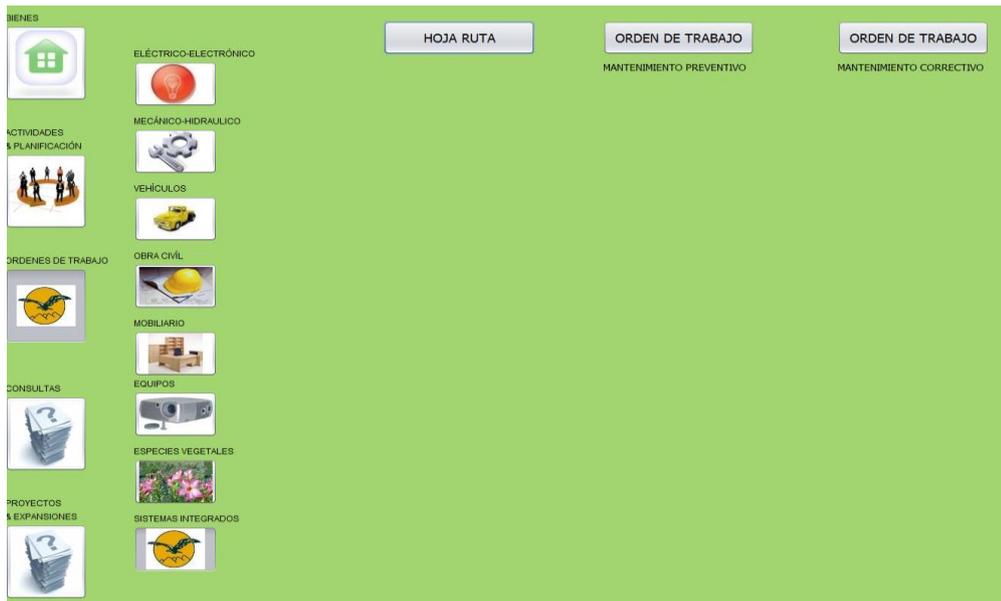


Figura N° 63: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

- Dentro de “HOJA RUTA”, encontraremos las diferentes opciones para realizar una breve inspección en el sistema seleccionado.
- En “ORDEN DE TRABAJO MANTENIMIENTO PREVENTIVO” tendremos que seleccionar la fecha requerida y automáticamente tendremos llenos los campos para imprimir la orden respectiva.



Figura N° 64: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

- En el caso de “ORDEN DE TRABAJO MANTENIMIENTO CORRECTIVO”, tendremos que elegir las actividades de mantenimiento correctivo que se deseen programar independientemente de si estuvieron o no registradas en el calendario. Al ingresar la fecha automáticamente nos indicará las actividades correctivas programadas, pero con la facilidad de retirarlas si es necesario.

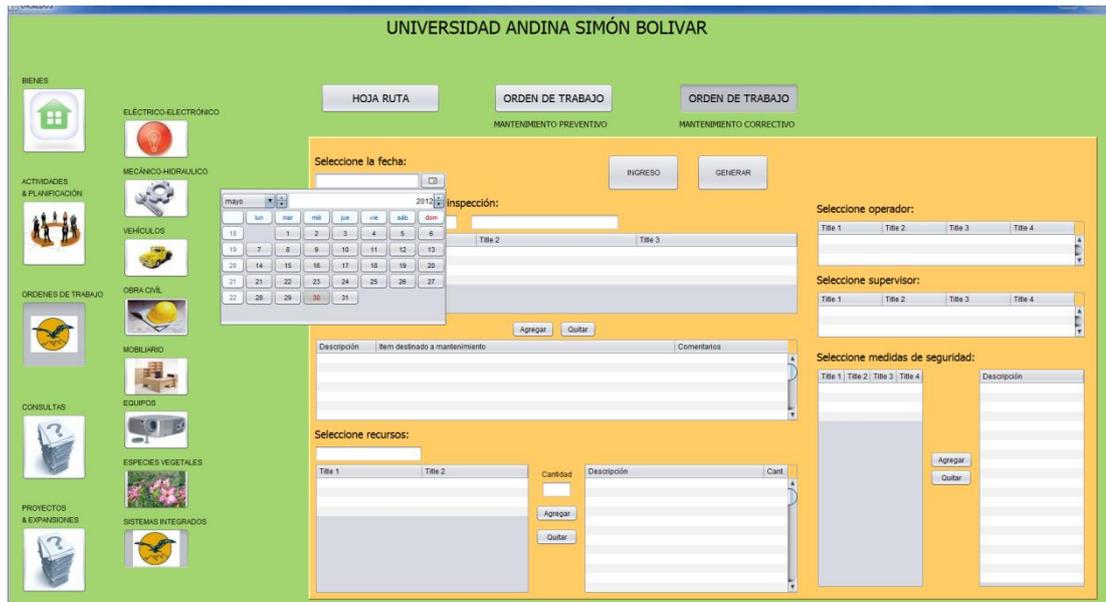


Figura N° 65: Pantalla software UKSILDUS  
Fuente: Autores

Con esto ya podremos dar un avance a la administración del mantenimiento. Las opciones restantes aun se encuentran en periodo de desarrollo y no serán incluidas en el presente trabajo de investigación.

## ANEXO 11: MANUAL DE USUARIO SOBRE FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL SOFTWARE “HISTORICAL VIEWER”

Para poder visualizar los datos obtenidos del HMI de la pantalla táctil, deberemos emplear la aplicación Historical Viewer.

En el presente anexo incluiremos las instrucciones integras indicadas en la ayuda del software Panel Studio no en el idioma original, debido a que la mala traducción puede causar confusión en la interpretación.

1. En primer lugar asegúrese de que el registro de datos y la tendencia histórica se ha configurado correctamente en el panel de operador y están funcionando bien en el tiempo de ejecución. Crear un botón en la pantalla de operador. Enlace con una función- "Alarmas de volcado de datos".

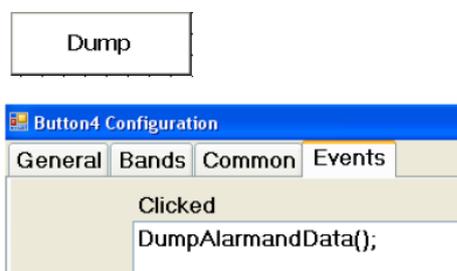


Figura N° 66: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

2. Verifique el contenido de una memoria USB. Asegúrese de que está vacía.
3. Inserte un dispositivo USB en el puerto USB del panel de operador.
4. En tiempo de ejecución, compruebe si los datos históricos se muestran correctamente en la tendencia histórica. Si es necesario, pulse el botón "Zoom" y verificar la presencia de datos.

5. Pulse sobre el boton "Dump". Luego, transfiera los datos históricos y las alarmas de la memoria interna / tarjeta SD de memoria USB.

6. Ahora, quitar de la memoria USB de operador. Inserte una memoria USB en el PC y comprobar su contenido. Se debe tener archivos similares a los siguientes:

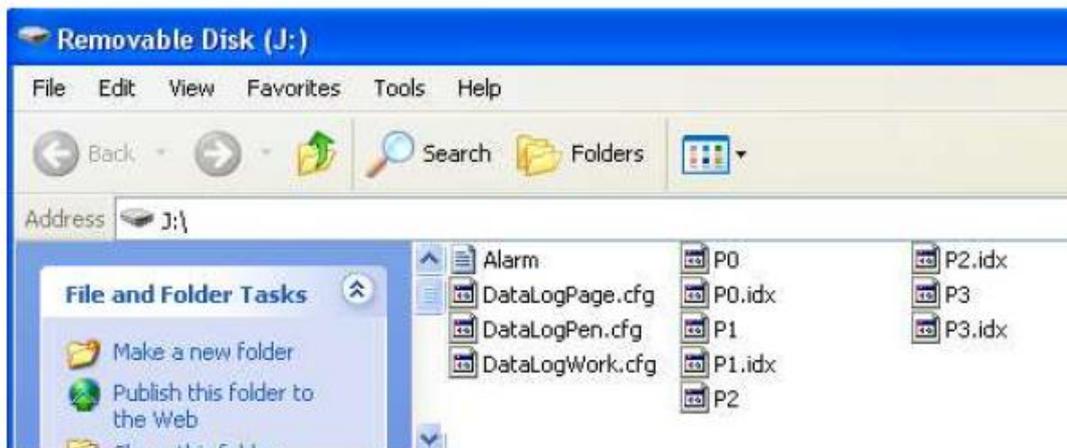


Figura N° 67: Pantalla software HISTORICAL VIEWER

Fuente: Autores

7. Haga doble clic en " Historical Viewer" disponible en el escritorio.

8. Seleccione HMI y haga clic en "Aceptar".

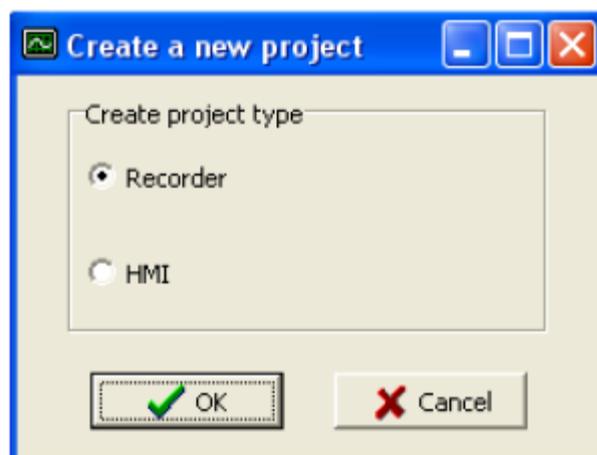


Figura N° 68: Pantalla software HISTORICAL VIEWER

Fuente: Autores

9. Introduzca el nombre del proyecto. Seleccione "Soportes de almacenamiento", haga clic en el icono de la carpeta abierta y seleccionar la ruta de la memoria USB. A continuación, haga clic en "Aceptar".

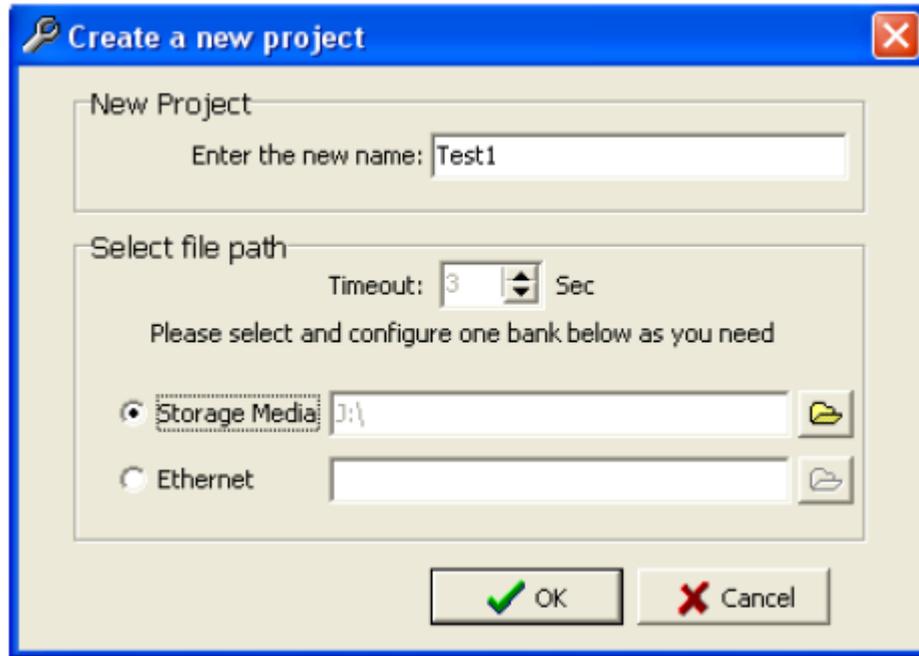


Figura N° 69: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

10. Haga clic en "Sí".

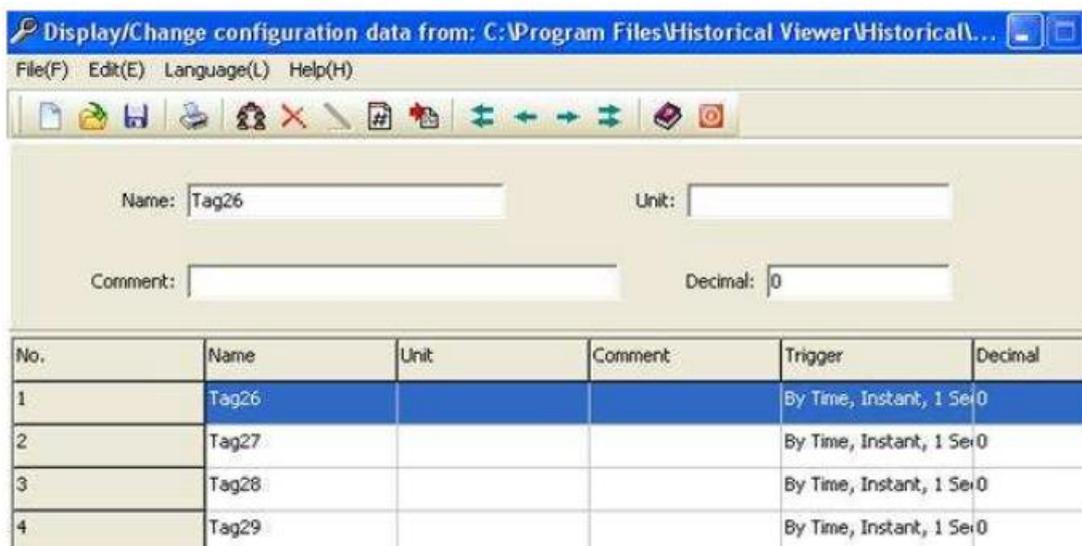


Figura N° 70: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

11. Todas las etiquetas de registro de datos se muestra aquí. Introduzca la unidad y seleccione el número de puntos decimales.

12. Haga clic en "Guardar". A continuación, haga clic en "Volver" para volver al programa principal.



Figura N° 71: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

13. Haga clic en "Sí" para guardar la configuración del proyecto en el PC.

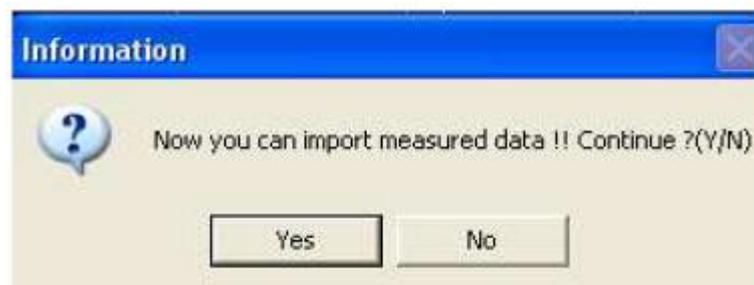


Figura N° 72: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

14. Haga clic en "Sí" para importar los datos históricos y alarmas desde una memoria USB a la PC.



Figura N° 73: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

15. Haga clic en "Sí" para borrar los datos y las alarmas de memoria USB. Haga clic en "No", si desea permanecer en los datos históricos y alarmas en la memoria USB después de la transferencia a la PC.

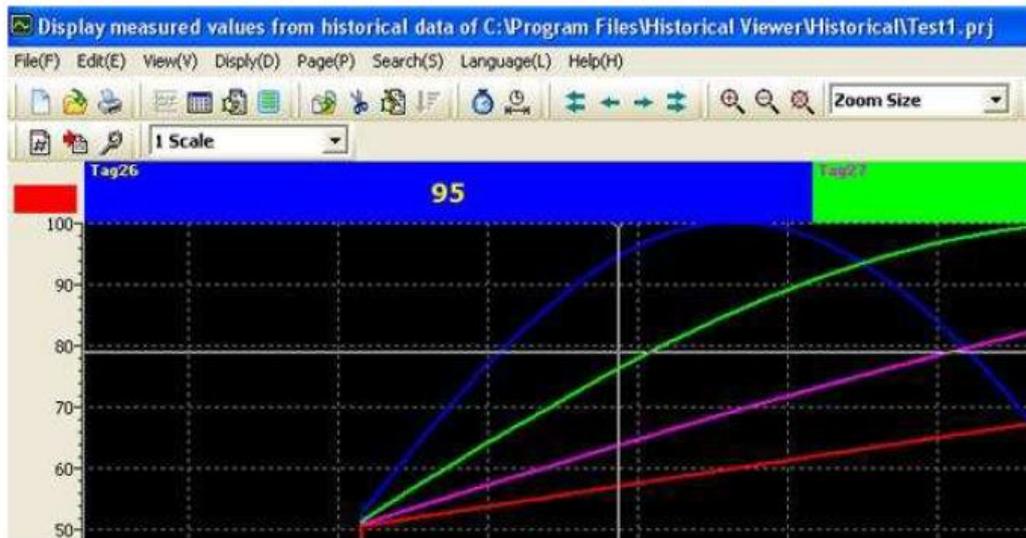
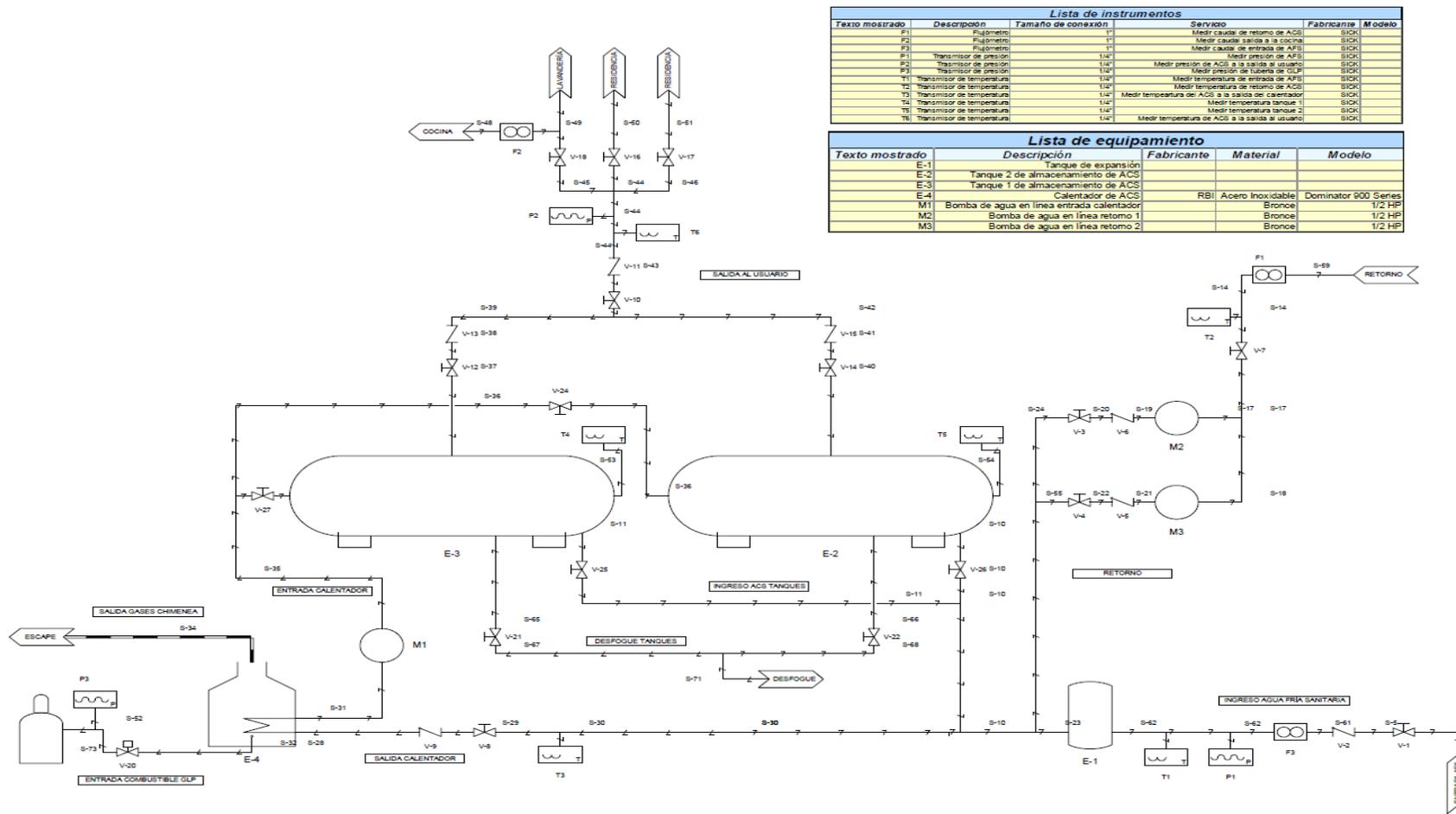


Figura N° 74: Pantalla software HISTORICAL VIEWER  
Fuente: Autores

# ANEXO 12: DIAGRAMA P&ID ACTUAL DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE ACS



Lista de instrumentos					
Texto mostrado	Descripción	Tamaño de conexión	Servicio	Fabricante	Modelo
F1	Fijómetro	1"	Medir caudal de retorno de ACS	SIICK	
F2	Fijómetro	1"	Medir caudal salida a la cocina	SIICK	
F3	Fijómetro	1"	Medir caudal de entrada de ACS	SIICK	
P1	Transmisor de presión	1/4"	Medir presión de AFIS	SIICK	
P2	Transmisor de presión	1/4"	Medir presión de ACS a la salida al usuario	SIICK	
P3	Transmisor de presión	1/4"	Medir presión de tubería de GUP	SIICK	
T1	Transmisor de temperatura	1/4"	Medir temperatura de entrada de ACS	SIICK	
T2	Transmisor de temperatura	1/4"	Medir temperatura de retorno de ACS	SIICK	
T3	Transmisor de temperatura	1/4"	Medir temperatura de ACS a la salida de calentador	SIICK	
T4	Transmisor de temperatura	1/4"	Medir temperatura tanque 1	SIICK	
T5	Transmisor de temperatura	1/4"	Medir temperatura tanque 2	SIICK	
T6	Transmisor de temperatura	1/4"	Medir temperatura de ACS a la salida al usuario	SIICK	

Lista de equipamiento				
Texto mostrado	Descripción	Fabricante	Material	Modelo
E-1	Tanque de expansión			
E-2	Tanque 2 de almacenamiento de ACS			
E-3	Tanque 1 de almacenamiento de ACS			
E-4	Calentador de ACS	RBI	Acero Inoxidable	Dominator 900 Series
M1	Bomba de agua en línea entrada calentador		Bronce	1/2 HP
M2	Bomba de agua en línea retorno 1		Bronce	1/2 HP
M3	Bomba de agua en línea retorno 2		Bronce	1/2 HP

Figura N° 75: Diagrama P&ID sistema de ACS

Fuente: Autores

## ANEXO 13: EJEMPLO ORDEN DE TRABAJO (UKSILDUS)

### ORDEN MANTENIMIENTO CORRECTIVO

FECHA: Tue Jan 31 12:05:51 COT 2012

OPERADOR: Julio Llanganate

SUPERVISOR: Néstor Xavier Maya

Actividad	Item destinado a mantenimiento	Comentario
Revisar	Luminaria	Salon de honor Ed. Olmedo
Revisar	Cameras	Grabación del día 26-01-2012
Instalar	Huellas biométricas	Personal administrativo y profesores
Revisar	Puntos de voz y datos	Lugar de instalación Of 107 Ed. Manuela Saenz
Revisar	Cocinas eléctricas	Residencia Universitaria
Instalar	Sifono	Cableado Ed. Olmedo

Recursos	Cant.	Medidas de Seguridad
Escalera (Pata de gallo)	1	Uso de guantes
Alicate, rollo de taípe, destornilladores plano y estrella, e...	1	Uso de protección auditiva
metros cable UTP cat 5e	8	Uso de gafas protectoras
Jack RJ 45	1	
Crimpadora	1	

Novedades:

Firma Operador

Firma Supervisor

Figura N° 76: Ejemplo orden de trabajo UKSILDUS

Fuente: Autores

## ANEXO 14: ARCHIVO GRÁFICO SISTEMA ANTIGUO DE ACS



Figura N° 77: Caldero de agua retirado  
Fuente: Autores



Figura N° 78: Tanque de almacenamiento de agua caliente  
Fuente: Autores



Figura N° 79: Bombas del antiguo sistema de ACS.  
Fuente: Autores



Figura N° 80: Sensores de temperatura retirados.  
Fuente: Autores



Figura N° 81: Antiguo tablero de control  
Fuente: Autores



Figura N° 82: Antiguo medidor de presión.  
Fuente: Autores

## **ANEXO 15: PLANOS ELÉCTRICOS SISTEMA ANTERIOR.**

## **ANEXO 16: PLANOS ELÉCTRICOS SISTEMA ACTUAL.**