REPÚBLICA DEL ECUADOR
Escuela Politécnica Nacional
"E SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL” bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.

- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.

- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIÉSEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

TRUJILLO VALLEJO FERNANDO RODOLFO
gigiodoom@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. GERMÁN ENRIQUE CASTRO MACANCELA. MSc.
gammaservicios@andinanet.net

Quito, Marzo 2014

DECLARACIÓN

Yo Fernando Rodolfo Trujillo Vallejo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Fernando Rodolfo Trujillo Vallejo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fernando Rodolfo Trujillo Vallejo, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Germán Castro Macancela MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional, a todos los profesores de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y de manera especial al Ing. Germán Castro Macancela, director de tesis, por su valiosa guía en el desarrollo de esta tesis.

Al personal de la empresa “SERVICIO TÉCNICO INDUSTRIAL”, quienes me dieron el apoyo profesional y económico para implementar el presente proyecto.

Al Ing. Mario Trujillo, por el apoyo técnico que me brindó en el transcurso de toda mi carrera universitaria.

A la Dra. Marilyn Vallejo, por el aguante constante de todas las rabietas en mi trayectoria estudiantil.

Fernando Rodolfo Trujillo Vallejo

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me apoyaron en los momentos más difíciles, mostrándome su afecto y demostrándome con su ejemplo el temple necesario para seguir adelante.

A todas mis tías y tíos, que con su granito de arena supieron motivarme o alentarme para seguir adelante, superarme y culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos, que con su compañía me alegran.

A mis sobrinos, que me dejan entrar en sus juegos para contagiarme una gran alegría.

A mis primos(as) y amigos(as), que siempre me apoyaron moralmente para subir paso a paso los escalones de la vida estudiantil, además de contagiarme su espíritu y ayudarme a despejar mi mente en los momentos más difíciles.

Fernando Rodolfo Trujillo Vallejo

CONTENIDO

CONTENIDO ..... **I**

RESUMEN ..... **V**

PRESENTACIÓN ..... **VI**

CAPÍTULO 1 ..... **1**

INTRODUCCIÓN A CALDEROS E INTERCAMBIADORES DE CALOR. **1**

1.1. INTRODUCCIÓN 1

1.2. CALDEROS 1

1.2.1. FUNCIONAMIENTO *1*

1.2.2. COMPONENTES DE UN CALDERO *2*

1.2.3. CLASIFICACIÓN DE CALDEROS *3*

1.2.4. SEGURIDAD EN CALDEROS *5*

1.2.4.1. Variables importantes 6

1.2.4.1.1.Temperatura de operación 7

1.2.4.1.2.Presión de operación 7

1.2.4.1.3.La dureza del agua. 7

1.2.4.1.4.Nivel del agua 8

1.2.4.2. Normas 8

1.3. INTERCAMBIADORES DE CALOR 9

1.3.1. COMPONENTES DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR *10*

1.3.2. CONCEPTOS BÁSICOS *10*

1.3.2.1. Transmisión por conducción 10

1.3.2.2. Transmisión por convección 11

1.3.2.3. Fluidos 12

1.3.3. CLASIFICACIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR *12*

CAPÍTULO 2 ..... **15**

IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE UN CALDERO A DIESEL **15**

2.1. INTRODUCCIÓN. 15
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CALDERO..... 16
2.2.1. ESTRUCTURA MECÁNICA y DIMENSIONES 17
2.2.1.1. Hierro dulce 19
2.2.1.2. Suelda de arco con electrodo B-10 E-7018..... 19
2.2.1.3. Tubería 2 [pulg] sin costura cédula 40 [9] 20
2.2.1.4. Expansor de tubería de 2 [pulg] 20
2.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR 21
2.3. PROGRAMA DE CONTROL DEL GENERADOR DE VAPOR 26
2.3.1. DIAGRAMA P&ID DEL CALDERO..... 26
2.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBRUTINA DEL CONTROL DEL CALDERO..... 26
2.3.2.1. Lógica que realiza el módulo de control primario R7284..... 29
2.3.2.2. Variables ocupadas en el PLC para el control del caldero 30
CAPÍTULO 3 32
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURAS DE CONFORT..... 32
3.1. INTRODUCCIÓN. 32
3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CALOR 33
3.2.1. ESTRUCTURA MECÁNICA Y DIMENSIONES..... 33
3.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CALOR..... 37
3.3. RECONOCIMIENTO DE LAS CARGAS TÉRMICAS 38
3.3.1. PISCINA 39
3.3.1.1. Diagrama funcional 39
3.3.2. HIDROMASAJE..... 40
3.3.2.1. Diagrama funcional 41
3.3.3. BAÑO TURCO..... 41
3.3.3.1. Diagrama funcional 42
3.4. COMPONENTES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURAS DE CONFORT 43

3.4.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE 46
3.4.1.1. Características principales 46
3.4.1.2. Conexiones 47
3.4.2. TRANSMISORES DE CORRIENTE 47
3.4.3. FUNCIONES DEL FILTRO DE LA PISCINA 48
3.4.4. FUNCIONES DEL FILTRO DEL HIDROMASAJE 48
3.5. TABLEROS DE CONTROL Y PROTECCIÓN 49
3.5.1. CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA 52
3.5.2. INTERFAZ CON EL OPERADOR 52
3.5.2.1. Comunicación. 54
3.5.2.1.1.En el PLC KOYO DL06-AR 54
3.5.2.1.2.En el microcontrolador ATMEGA8 55
3.5.2.2. Diseño del hardware para la pantalla y teclado. 56
3.5.2.3. Desarrollo del software para la pantalla y teclado 58
3.5.2.3.1.Inicialización 59
3.5.2.3.2.Programa principal 60
3.5.2.3.3.Recepción de datos del PLC (Interrupción de comunicación) 61
3.5.2.3.4.Desplegar datos en el LCD 62
3.5.2.3.5.Menú manual 63
3.5.2.3.6.Menú automático 65
3.6. CONTROL DE TEMPERATURA EN LAS CARGAS 67
3.6.1. TEMPERATURAS DE CONFORT 68
3.6.2. TIPO DE CONTROL PARA CADA CARGA 69
3.6.2.1. Piscina. 69
3.6.2.2. Hidromasaje. 70
3.6.2.3. Turco. 70
3.6.2.3.1.Método de Ziegler Nichols 71
3.6.2.3.2.Controlador PI en el PLC. 74
3.6.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL PARA EL CONTROL DE TEMPERATURAS 75
3.6.3.1. Encendido del sistema 76

3.6.3.2. Programa principal. 77
3.6.3.3. Subrutina de control del caldero 81
3.6.3.4. Subrutina de control para la piscina 81
3.6.3.5. Subrutina de control para el hidromasaje 83
3.6.3.6. Subrutina de control para el blower 84
3.6.3.7. Subrutina de control para el baño turco 86
3.6.3.8. Subrutina de control del apagado total 87
3.6.3.9. Variables ocupadas en el PLC para el control de temperaturas..... 88

CAPÍTULO 4 91

PRUEBAS Y RESULTADOS 91

4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ANTES DE LA INSTALACIÓN..... 91
4.2. PRUEBAS ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO..... 92
4.3. DATOS OBTENIDOS EN LOS CONTROLES DE TEMPERATURA..... 92
4.3.1. PISCINA 93
4.3.2. HIDROMASAJE..... 94
4.3.3. BAÑO TURCO..... 95
4.4. ANÁLISIS DE ERRORES EN ESTADO ESTABLE..... 96
4.4.1. Errores en el control de temperatura de la piscina 96
4.4.2. Errores en el control de temperatura del hidromasaje..... 98
4.4.3. Errores en el control de temperatura del baño turco 101

CAPÍTULO 5 104

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 104

5.1. CONCLUSIONES 104
5.2. RECOMENDACIONES 105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 107

ANEXOS 109

RESUMEN

El confort térmico en las diferentes áreas del complejo turístico “El Molino”, es indispensable para atraer a personas que buscan un ambiente de recreación mental y física adecuado; en tal virtud, se ha propuesto mejorar la calidad de climatización en: la piscina, hidromasaje y turco de estas instalaciones; mediante la implementación de un sistema de calefacción, utilizando el vapor como fuente de energía calorífica.

Para lograr satisfacer esta demanda, el complejo turístico decide instalar un caldero por quema de diesel, con todo el equipo necesario para su control. Se incorporan intercambiadores de calor para climatizar el área de la piscina e hidromasaje, para el baño turco se utiliza el vapor de agua caliente sustraído directamente desde el caldero.

Para alcanzar las temperaturas requeridas, se opta por implementar un sistema de control on-off realimentado que gobierna el suministro de vapor en los intercambiadores de calor a través de un monitoreo continuo de sus temperaturas, sin olvidar que se debe controlar la operación del caldero en su funcionamiento regular, ya que de ello depende la seguridad y el éxito de la obtención de las temperaturas de confort. Para el baño turco se realiza un control de modulación de ancho de pulso (PWM) gobernado por un PI.

La implementación del sistema de control de temperatura generada por el caldero a diesel crea una interfaz amigable, lo que permite una optimización de recursos humanos e incide en la satisfacción del usuario.

Las pruebas realizadas muestran que el sistema opera de manera segura y logra mantener una temperatura de confort en los tres espacios físicos del complejo turístico, con un margen de erro en: la piscina de 0.1%, el hidromasaje de 0.68% y el baño turco de 1%.

PRESENTACIÓN

El complejo turístico “El Molino” brinda servicios de descanso, solaz y recreación en un área con amplias canchas de grama, un islote donde descansa un gran chozón bajo el cual se puede disfrutar de un aire puro y preparar alimentos en la sana convivencia familiar, con una piscina temperada para adultos y una para niños, un área cubierta donde funciona el turco, hidromasaje y polar (posteriormente el sauna). También se puede disfrutar de senderos en un entorno natural aromados por una vegetación semisilvestre (saucos, eucaliptos, palmeras, chilcas, guarangos entre otros).

Uno de los atractivos del lugar lo constituye el viejo molino, del cual el complejo toma su nombre, está rodeado de un ambiente rústico y añoso a la vera del antiguo camino de piedra que comunica las parroquias de Tababela con Puembo. El agua que se utiliza para los espacios de recreación (piscina, hidromasaje, polar y turco), así como para la alimentación en este complejo nace de la tierra como cantarina vertiente de la propia naturaleza del lugar y el agua que antes se utilizaba para mover las pesadas piedras del molino se toma del rio Guambi. En si se aprovecha el entorno natural para brindar tranquilidad y descanso a los visitantes. Una parte de la gran casona está reconstruida, su arquitectura data de la época republicana; y la otra parte, en donde todavía se mantiene la tostadora de granos, las tolvas, pesas, piedras de moler, zarandas y otros enceres del molino se muestran gastados por el tiempo y el olvido lo cual le da un tinte muy particular y romántico.

El complejo turístico “El Molino” está ubicado a orillas del río Guambi, políticamente pertenece a la parroquia de Puembo, tiene un área aproximada de 4 hectáreas con un terreno quebradizo, con laderas, un pequeño bosque, un islote una casona antigua, canchas. Sus dos vías de acceso son de tercer orden, se encuentra a 45 minutos del Distrito Metropolitano de Quito, cercano al aeropuerto de la capital, situación por lo cual nace la necesidad de mejorar sus instalaciones, con la finalidad de atraer más turistas hacia su locación y ser más competitivo.

Figura 1.a Ubicación Geográfica

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema de control de temperatura en las tres áreas: piscina, hidromasaje y turco del complejo turístico descrito, mediante el uso del caldero a diesel. El sistema está diseñado para que sea de fácil operación ya que no cuenta con una persona capacitada para manejar el mismo.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN A CALDEROS E INTERCAMBIADORES DE CALOR.

1.1. INTRODUCCIÓN

Para lograr elevar la temperatura de un fluido o de un espacio físico es necesario transferir energía, para lo cual se utiliza entre otros medios los intercambiadores de calor. La energía que se transfiere es producida en un generador de calor conocido como caldero.

1.2. CALDEROS

El caldero es un dispositivo termodinámico de presión que utiliza energía calorífica, la cual es producida por la quema de varios combustibles como gas licuado de petróleo (GLP), diesel, bunker, materia sólida, entre otros; ya sea para obtener vapor de agua o solo agua caliente, este tipo de calentador se utiliza para fines industriales y domésticos, como: generación eléctrica, procesos químicos, movilidad, calefacción, etc.

1.2.1. FUNCIONAMIENTO

El calentamiento del caldero es producido por la quema de un elemento combustible dentro de la cámara de combustión llamada hogar, este recinto está diseñado para aprovechar al máximo la energía en forma de calor que se libera cuando se inflama el combustible.

El sistema de quema consta básicamente de un alimentador de combustible y otro de oxígeno. Existen dos métodos para lograr una correcta combustión y un largo de llama adecuado dentro del hogar: uno donde el combustible y el aire se inyectan en

proporciones controladas según la demanda de vapor y otro donde ésta mezcla es constante.

La quema produce gases calientes que transfieren el calor al fluido dentro del caldero, el cual a gran temperatura es transportado por medio de tuberías para ser utilizado en calefacción u otros procesos. Durante este trayecto el fluido transfiere la mayor parte de energía y no puede ser utilizado más; por tal razón, se hace pasar por un sistema de enfriamiento, condensación y si se requiere purificación para finalmente ser reinyectado en el caldero.

En el interior del caldero ocurren numerosos procesos físicos y reacciones químicas que influyen en la operación, seguridad, eficiencia y vida útil de los componentes del caldero; en tal virtud, éstos deben ser controlados y sujetos a un mantenimiento continuo.

1.2.2. COMPONENTES DE UN CALDERO

Los elementos de mayor relevancia en un caldero, mostrados en la Figura 1.1, son:

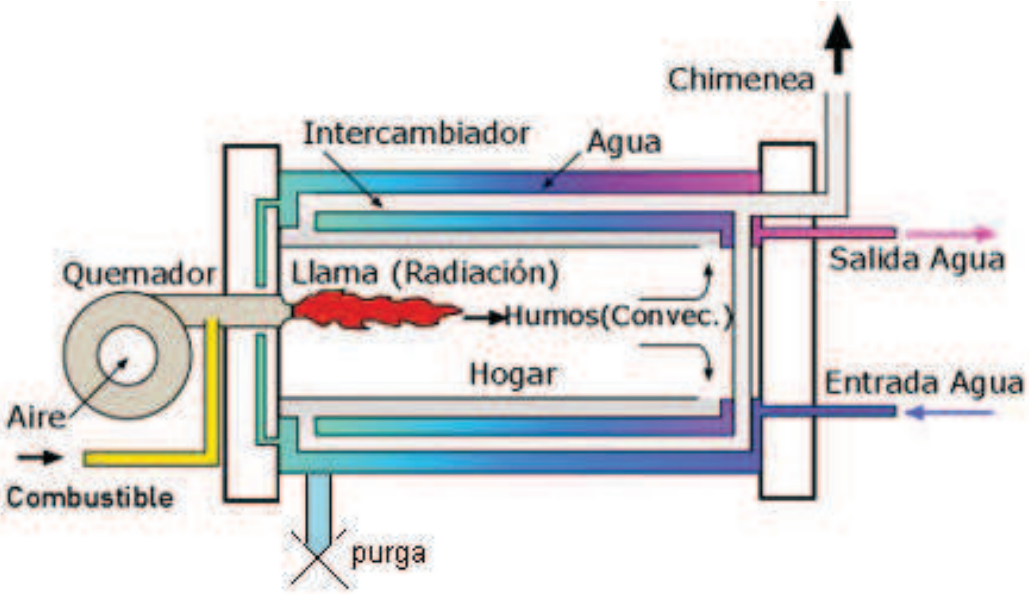


Figura 1.1 Partes del caldero [2]

- **Entrada de agua:** es la alimentación de agua para el sistema del calentador, la cual en algunos casos es tratada químicamente para bajar su dureza y no permitir impregnaciones, alargando la vida útil del caldero.
- **Salida de agua:** es la salida de agua a altas temperaturas, que se traslada a puestos de trabajo para calentar otros fluidos.
- **Purga:** salida de evacuación de los sedimentos que se acumulan en el fondo del caldero.
- **Quemador:** elemento que produce la quema con la mezcla de aire y combustible.
- **Intercambiador:** recinto donde ocurre la transferencia de temperatura.
- **Fogón u hogar:** lugar donde se produce la llama y sus gases calientes transmiten calor hacia el intercambiador por radiación.
- **Chimenea:** ducto por donde escapan los humos resultantes del intercambio de calor.

1.2.3. CLASIFICACIÓN DE CALDEROS

Existen numerosos diseños de fabricación de calderos, cada uno de los cuales tiene aspectos propios, por lo que se los puede clasificar mediante características comunes, como se observa en la Tabla 1.1.

CARACTERÍSTICA	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
Circulación de fluidos [2] [3]	Humotubulares o pirotubulares	Los gases calientes procedentes de la combustión circulan por el interior del haz tubular y transfieren su calor al fluido que se encuentra en el exterior de este.	Según sea una o varias las veces que los gases atraviesan los tubos, se tienen los calderos de uno o de varios pasos.
	Acuatubulares	Contrario a los pirotubulares ya que por dentro del haz tubular circulan el agua y el vapor. Por fuera, fluyen los	Son conformados por paredes de tubos de agua, donde el intercambio es básicamente por

		gases calientes producto de la combustión.	radiación desde la llama.
Presión de trabajo [2]	De baja presión	Manejan hasta 5 [PSI] de presión.	Comúnmente son para producir agua caliente y no vapor.
	De media presión	Manejan hasta 20 [PSI] de presión.	Genera vapor saturado. Son utilizados en la industria.
	De alta presión o críticos	Manejan presiones mayores a 20 [PSI].	Son utilizados para ciclos de potencia, por ejemplo movilidad.
Producción de vapor [2]	Chicos	Producen máximo 2 toneladas de vapor por hora.	Comúnmente son calderos pirotubulares de baja y mediana presión.
	Medianos	Producen máximo 20 toneladas de vapor por hora.	
	Grandes	Producen más de 20 toneladas de vapor por hora.	Generalmente son acuatubulares y producen vapor sobresaturado.
Combustible utilizado [2]	Combustible líquido	Utilizan combustibles líquidos para producir llama en el hogar como por ejemplo: diesel, gasolina, etc.	La mezcla de aire y combustible es importante para una buena combustión y un largo de llama apropiado.
	Combustible gaseoso	Utilizan combustibles gaseosos para producir llama en el hogar como por ejemplo: GLP, biogás, etc.	Generalmente trabajan con baja presión.
	Combustible sólido	Utilizan combustibles sólidos para producir llama en el hogar como por ejemplo: bagazo de caña, carbón, etc.	La tecnología para la quema debe ser apropiada para el tipo de sólido. Se debe considerar la circulación de aire en el hogar para la inflamación.

Circulación de agua dentro del caldero [2]	De circulación natural	La circulación de los fluidos (agua y vapor) es natural, debido a su diferencia de densidades.	Comúnmente en los calderos pirotubulares.
	De circulación asistida	La circulación es asistida por bombas de agua. Se lo utiliza cuando la diferencia de densidades es mínima.	No se aplica en pirotubulares. Las bombas de agua son de mayor costo ya que trabajan con agua caliente y alta presión.
	De circulación forzada	La circulación es impulsada por una bomba externa.	El agua es vaporizada inmediatamente, luego de ser entregada por la bomba.
Tipo de intercambiador de calor en el caldero [2]	Radiantes o de radiación total	Este tipo de calderos solo tienen hogar, y el calor es intercambiado por radiación.	Comúnmente son calderos acuatubulares grandes.
	De intercambiador conectivo	Son aquellos calderos donde se utiliza un fluido caliente resultante de otro proceso.	No tienen una cámara de combustión.
	De calentamiento indirecto	Se caliente un fluido intermedio dentro del caldero y éste transmite el calor.	El fluido intermedio es generalmente aceite.

Tabla 1.1 Clasificación de calderos

1.2.4. SEGURIDAD EN CALDEROS

Los calderos son recipientes cerrados que generan vapor a presión, estos normalmente están equipados con una válvula de alivio, la cual libera vapor instantáneamente; no obstante, se puede producir una acción explosiva del depósito, la cual puede ser extremadamente peligrosa.

Para operar un caldero se debe conocer bien el manual de operación y las instrucciones del fabricante, además se los debe inspeccionar con frecuencia en búsqueda de: fugas, funcionamiento correcto de dispositivos de seguridad e indicadores, entre otras funciones. Los registros detallados de la operación y el mantenimiento del caldero permiten mejorar la seguridad del mismo.

Nunca se debe inyectar agua muy fría a un sistema caliente, ya que cambios súbitos de temperatura pueden torcer o quebrar el caldero.

Para prevenir explosiones en el caldero es de suma importancia: purgarlo antes de encender el quemador; verificar la mezcla de aire-combustible y el largo de la llama producida en el hogar; y, asegurar que exista ventilación adecuada para que los gases, producto de la combustión, no se acumulen. [4]

Las acciones a tomarse para minimizar peligros en la sala de calderos son: mantener el área que rodea al caldero libre de polvo y desperdicios, no almacenar materiales combustibles en el sitio, los derrames deben limpiarse de inmediato y asegurar suficiente iluminación. Debido a que los calderos tienen superficies calientes, debe haber suficiente espacio a su alrededor para que los trabajadores puedan circular. Las sala de calderos pueden ser ruidosa; por lo tanto, el área debe estar identificada como tal y se debe usar protectores para los oídos. [4]

Para realizar el mantenimiento del caldero se debe tomar en cuenta que: todas las fuentes de energía deben desconectarse y los residuos de presión en tuberías de vapor, agua y combustible deben evacuarse, siguiendo los procedimientos correctos.

1.2.4.1. Variables importantes

Para cumplir con las normas y reglamentos estipulados para la operación de calderos y garantizar la seguridad del sistema, se debe controlar variables que respondan a las necesidades de operación de cada caldero, atendiendo lo establecido por el fabricante, o requerimientos especiales. Las variables más importantes a controlar son:

1.2.4.1.1. Temperatura de operación

Es una variable entre las más importantes a controlar, puesto que en algunas aplicaciones se tienen estrictos requerimientos de la temperatura del fluido, además que la eficiencia del caldero es directamente proporcional a ésta. [1]

Todas las fluctuaciones importantes de temperatura se deben a un cambio de nivel de agua o presión de vapor.

1.2.4.1.2. Presión de operación

Es un parámetro importante debido a que estamos manejando un tanque cerrado, el cual explotará, si se lo somete a una presión por mayor a la de diseño. Con excepción de las aplicaciones a presión constante, es necesario tener una histéresis de presión, siendo la más importante de controlar la presión elevada. Además se debe equipar al caldero con una válvula mecánica de alivio, para que el vapor sea evacuado si se excede una presión determinada (debe ser menor a la del diseño).

1.2.4.1.3. La dureza del agua.

Es una característica que se debe tomar en cuenta, ya que ésta produce incrustaciones y sedimentos que pueden bloquear los elementos de control del caldero, produciendo una lectura incorrecta de los mismos, incurriendo en una baja eficiencia del caldero y una operación peligrosa del mismo.

"Las sales que se encuentran en el agua, son solubles, tales como los bicarbonatos, sulfatos y cloruros de sodio, calcio y magnesio, estas últimas son las que producen la llamada DUREZA del agua" [1].

Como se muestra en las reacciones químicas de la Ecuación 1.1 y 1.2 [1], un compuesto soluble en agua más calor produce sólidos (incrustaciones y lodos):

$$Ca\,(HCO_3)_2 + Calor \leftrightarrow \underset{(lodos)}{CaCO_3} + H_2O + CO_2$$

Ecuación 1.1 [1]

$$Mg(HCO_3)_2 + Calor \leftrightarrow Mg(OH)_2 + 2CO_2$$
(incrustaciones)

Ecuación 1.2 [1]

"Este problema se ataca ablandando el agua en la fuente, con un ablandador, el cual elimina los cationes de Ca_2+ y Mg_2+ antes de su ingreso al caldero. Este proceso se llama intercambio iónico, el cual cambia dichos cationes por otros como Sodio" [4].

Otra forma de combatir este problema es mediante un mantenimiento más seguido y el lavado del caldero con químicos, que ayudan al desprendimiento de las incrustaciones, aunque no sea en su totalidad.

1.2.4.1.4. Nivel del agua

Esta variable es fundamental de controlar, ya que con un nivel bajo de agua el caldero se puede sobrecalentar debilitando a los tubos del intercambiador de calor.

Para que las condiciones de funcionamiento sean estables el nivel de agua debe reajustarse, lo cual se logra mediante la implementación de un sensor de nivel tipo boya, que controla la entrada de agua al caldero manteniendo el nivel dentro de unos límites determinados, se debe tomar en cuenta el mantenimiento a este tipo de sensores ya que pueden fallar.

También es un parámetro importante debido a que al operar un tanque de metal este puede fundirse con el calor de la combustión, por lo que es necesario tener un buen nivel de agua para que esto no ocurra.

1.2.4.2. Normas

"En el caso de los calderos se sujeta a normas o estándares aplicables que dan como resultado un bajo margen de error, entre las más utilizadas a nivel mundial, está la NFPA (National Fire Protection Association)" [4] . "Desde el punto de vista de la funcionalidad del sistema de seguridades se utiliza la nueva IEC 61508" [4].

Confeccionar una buena especificación sobre seguridad no está al alcance de todos. Requiere personal muy especializado, en caso contrario lo más recomendable es

exigir el cumplimiento de determinadas normas que han sido elaboradas y consensuadas por comités de expertos. [4]

Existen muchas Normas de distinto tipo para calderos. Para efectos del presente proyecto se citan las más utilizadas y mundialmente aceptadas por usuarios e ingenieros.

Desde el punto de vista del proceso:

- NFPA 8501 - Single Burner Boiler Operation.
- NFPA 8502 - Furnace Explosions/Implosions in Multiple Burner Boilers.
- NFPA 8504 - Atmospheric Fluidized-Bed Boiler Operation.
- NFPA 8506 - Heat Recovery Steam Generators.
- TRD 411-415 - Oil Firing Systems on Steam Boilers.
- DIN 4787, 4788 - German Standard for Gas/Oil-Burners.
- ANSI / UL, 296 - Single Burner whith diesel for Boiler Operation

Desde el punto de vista del sistema de seguridades:

- IEC-61508 - Functional Safety-Related Systems.
- ISA SP-84.01 - Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries.
- DIN V 19250 - Fundamental Safety Considerations of Protective Equipment for Instrumentation and Control.
- DIN V VDE 0801 - Fundamentals of Components in Safety-Related Systems.
- NFPA - Burner Management System Logic.

1.3. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Un intercambiador de calor es aquel que usando el segundo principio de la termodinámica, el cual indica que un cuerpo de mayor temperatura pasa calor a los de menor temperatura, transfiere calor entre dos medios que están separados por una barrera o se encuentren en contacto. Aunque existen tres tipos de transferencia

de calor en los intercambiadores solo se realiza por conducción y convección. Este tipo de dispositivos son parte esencial de los sistemas de refrigeración, calefacción, producción de energía y procesos químicos. En la Figura 1.2 se muestra un intercambiador de calor básico.

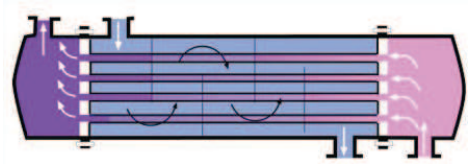


Figura 1.2 Intercambiador de calor [5]

1.3.1. COMPONENTES DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

En la Figura 1.3 se pueden observar las partes principales de un intercambiador de calor básico.

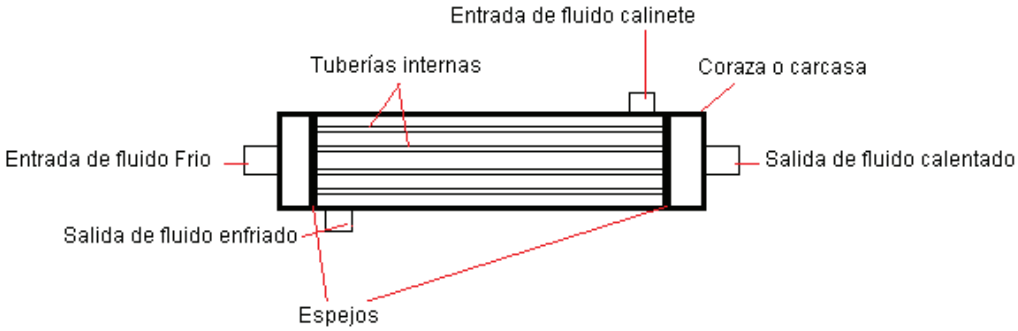


Figura 1.3 Partes comunes de un intercambiador de calor

1.3.2. CONCEPTOS BÁSICOS

1.3.2.1. Transmisión por conducción

Este tipo de transmisión de calor se da entre dos fluidos que están separados por una superficie. “La transmisión de calor por conducción (Q) es inversamente proporcional al espesor del cuerpo que atraviesa (e) y directamente proporcional a la diferencia de temperaturas (T1-T2), a la superficie del cuerpo (S) y a una constante (K) denominada "conductividad térmica"” [5].

$$Q = \frac{K * S * (T1 - T2)}{e}$$ *Ecuación 1.3 [5]*

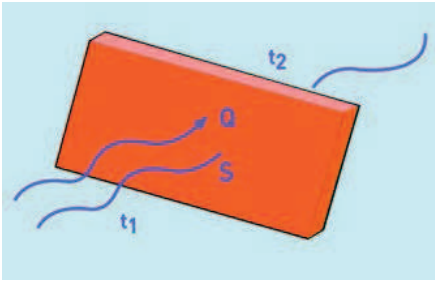


Figura 1.4 Transmisión térmica por conducción [5]

Algunos valores de la conductividad térmica de los materiales habitualmente utilizados son los mostrados en la Tabla 1.1.

Conductividad térmica de distintos materiales	
Material	**Coeficiente "K"[W/m^{0}C]**
Acero Inoxidable	16.3
Hierro	63
Cobre	386

Tabla 1.2 Conductividad térmica de distintos materiales [5]

Por conclusión, el mejor material para un intercambiador de calor por conductividad es el cobre, pero para una mayor vida útil es el acero inoxidable.

1.3.2.2. Transmisión por convección

Este tipo de transmisión se da entre dos fluidos separados como se muestra en la Figura 1.5. Uno de los fluidos circula dentro del otro con una velocidad producida ya sea por bombas, ventiladores entre otros. En la imagen antes indicada se da de los dos tipos, en el primario es forzada por una bomba y en el secundario de forma natural por diferencia de densidades, llamado efecto termosifón. [5]

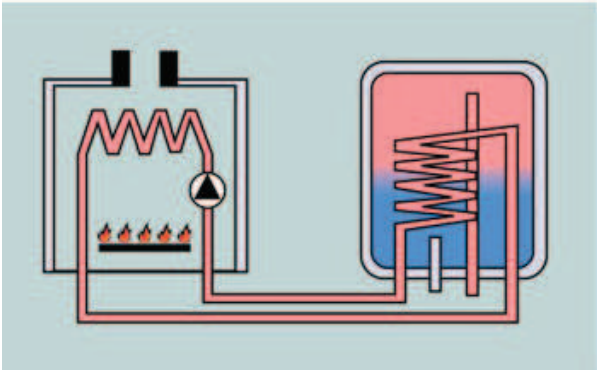


Figura 1.5 Conductividad térmica por convección [5]

1.3.2.3. Fluidos

Los más utilizados son el agua, el agua sobrecalentada, el aire, el aceite y los refrigerantes. Las características de uno u otro determinan en muchos casos el intercambiador a elegir. [5]

1.3.3. CLASIFICACIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar de acuerdo a varios aspectos, entre los más importantes están su estructura y uso. Clasificación: en la Tabla 1.3.

ESTRUCTURA	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
De coraza y tubo [6]	De espejo fijo	Son soldados a la carcasa dos espejos, los q contienen el haz tubular que realizan el intercambio de calor. El fluido a calentar circula por los tubos, mientras el otro circula entre los espejos.	Son utilizados con mayor frecuencia. Para su construcción, se requiere de materiales que se puedan soldar.
	En “U”	Consiste de tubos en U soldados a un solo espejo, esta estructura se encuentra contenida por una carcasa.	Se necesita soportes apropiados para las tuberías, para evitar su deformación con altas temperaturas o fluidos pesados.

	De anillo de cierre hidráulico	La coraza y los tubos son separados por un anillo de cierre hidráulico y los fluidos son contenidos por anillos de empaque.	Este tipo de intercambiador es el más económico.
	De cabezal flotante	El haz tubular se encuentra entre dos espejos flotantes dentro de la coraza.	Es utilizado a menudo en refinerías de petróleo.
	De doble tubo	No posee espejos, el haz tubular es contenido por un tubo de mayor diámetro.	El tubo externo es la coraza.
De placas [6]	De placa en espiral	Está conformado por placas laminadas que proporcionan dos pasos rectangulares largos, formando una trayectoria continua que elimina la inversión de flujo y caída de presión.	Este tipo de intercambiadores de calor consta de varias cámaras formadas por placas donde circula un fluido, estas cámaras cumplen la función de las tuberías internas en los intercambiadores de coraza y tubo. Pueden tener uno o varios pasos.
	De placa y armazón	Consisten de un armazón, donde se apoyan las placas que se utilizan para la transferencia de calor.	
	De aleta y placa	Compuesta por una pila de capas, cada una de las cuales consiste en una aleta corrugada selladas mediante canales o barras.	
	De placa aleta y tubo	Constan de aletas perforadas por donde pasan tubos que contendrán a uno de los fluidos, las aletas formaran cámaras por donde circulará el otro.	
De tubo [6]	De tubo en espiral	Constan de serpentines concéntricos conectados entre sí.	Este tipo puede eliminar las dificultades de la expansión y contracción

Otros tipos [6]	De bloque de grafito	Estos tipos de intercambiadores no son de mayor relevancia.	
	De película descendente		
	De superficie escariada		
	Para sólidos		
	Evaporadores		
	Enfriados por aire		
	Enfriadores		

Tabla 1.3 Clasificación de los intercambiadores de calor

CAPÍTULO 2
IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE UN CALDERO A DIESEL.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Figura 2.1 Fases para la climatización

En la Figura 2.1 se representa las fases para climatizar los espacios físicos del complejo turístico “El Molino” con tres etapas: generación de calor, transmisión de calor y calentamiento de las cargas térmicas identificadas como piscina, hidromasaje y baño turco.

El control del caldero realiza todas las acciones necesarias para generar vapor como son: mantener el nivel en el tanque de condensado y dentro del caldero; activar el control primario R7284 que gobierna el quemador; y, cuidar que la presión y temperatura no excedan un valor límite.

Es también objeto de esta sección detallar la construcción y componentes de la etapa de generación de calor, lo que ayuda en la adecuada implementación del control para el caldero.

El agua, elemento fundamental del proceso, es recolectada (en el tanque colector de la vertiente) desde una vertiente subterránea, luego pasa a un tanque de circulación; del cual, se extrae agua hacia la cisterna la que alimenta: el tanque de condensado y servicios generales como duchas, lavamanos, servicios higiénicos entre otros. El tanque de condensado alimenta al caldero, sin ablandar el agua. La piscina e

hidromasaje son llenadas por mangueras directamente desde el tanque colector de la vertiente.

En la Figura 2.2 se muestra el recorrido del agua explicado anteriormente.

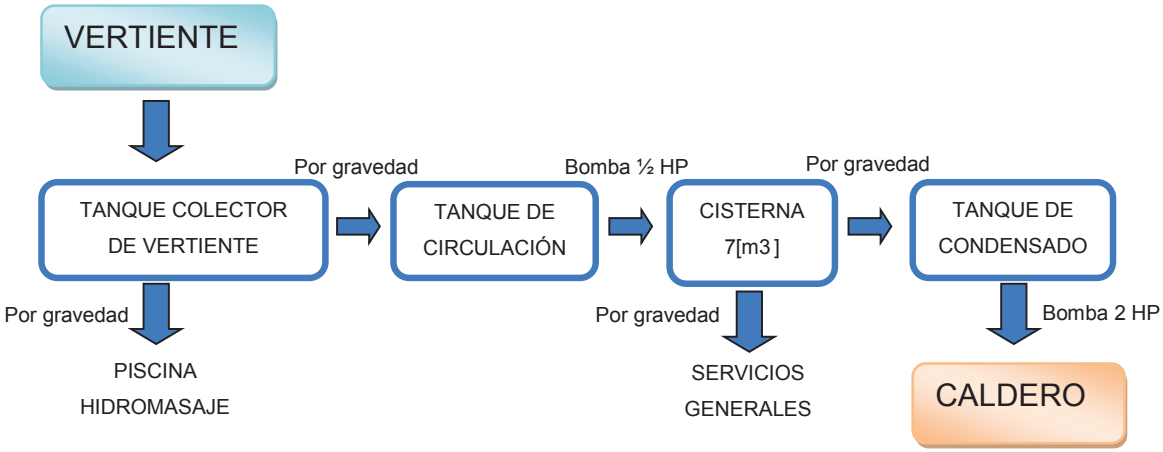


Figura 2.2 Esquema de recorrido de agua

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CALDERO

Figura 2.3 Generador de calor

En este proyecto el caldero cumple la función de calentar el agua de vertiente hasta transformarla en vapor, este generador de calor es de construcción nacional cuyo cuerpo es de hierro dulce, las soldaduras de arco existentes son formadas con electrodo AGA-B-10 E-7018. Mediante un expansor se realizan las uniones de los tubos a los espejos del caldero para soportar hasta 60 [PSI] y obtener una eficiente transferencia de temperatura; cabe recalcar, que el caldero funciona a 15 [PSI], en el intercambiador del caldero las tuberías son de hierro sin costura (para caldero). La

estructura mecánica del caldero no está basada en diseños comerciales, sino en base a la experiencia y conocimientos, del constructor del caldero.

2.2.1. ESTRUCTURA MECÁNICA Y DIMENSIONES

El caldero consta de las partes mostradas en la Figura 2.4.

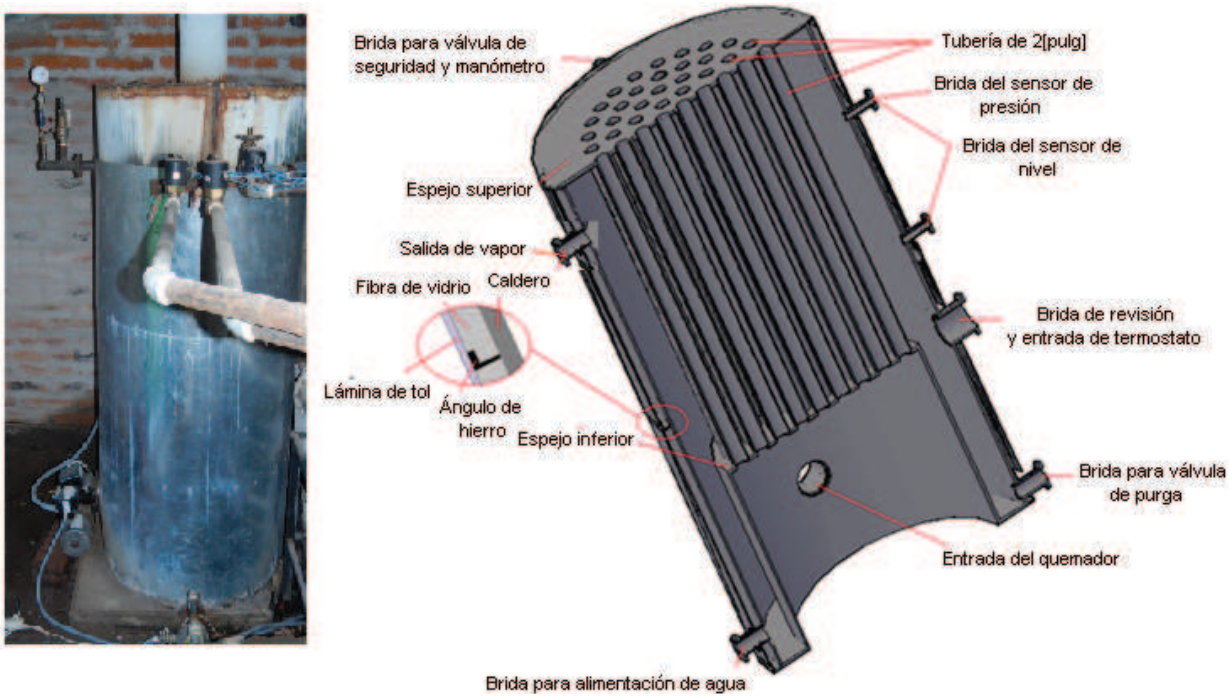


Figura 2.4 Corte del Caldero

A continuación se citan algunas aclaraciones del grafico: el intercambiador de calor es conformado por el haz tubular (tubería de 2 [pulg]), las bridas facilitan el mantenimiento y limpieza, en el espejo superior se coloca la chimenea y para aislar las altas temperaturas se coloca algodón de fibra de vidrio.

Para realizar la distribución de tuberías se realiza el proceso (de izquierda a derecha) mostrado en la Figura 2.5, que garantiza una buena distribución del haz tubular en los dos espejos del caldero y optimiza la transferencia de calor entre: los gases producto de la llama y el volumen de agua que contiene el caldero.

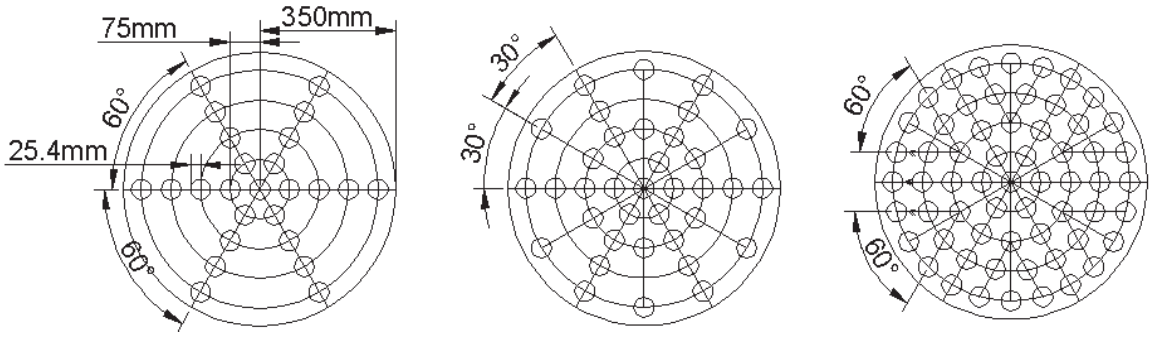


Figura 2.5 Distribución de tuberías en los espejos del caldero

En la Figura 2.6 se muestran las dimensiones del caldero.

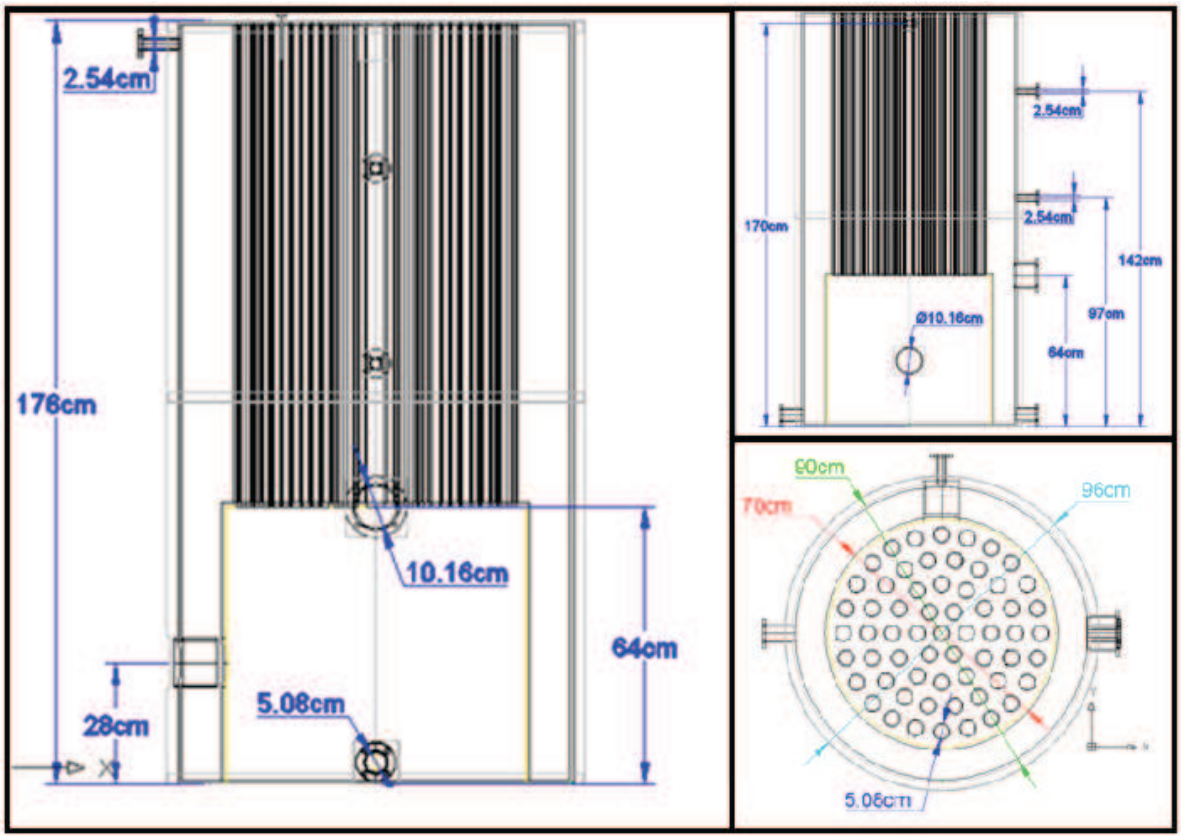


Figura 2.6 Dimensiones del Caldero

En la Tabla 2.1, se muestran las dimensiones normalizadas de las tuberías de hierro negro cédula 40, que se toma en cuenta para la construcción y montaje del caldero.

Diámetro interior [pulg]	Diámetro [cm] interior	Espesor [mm]
1	2,54	3,4
1,5	3,81	3,6
2	5,08	3,8
4	10,16	5,7

Tabla 2.1 Dimensiones de tuberías cédula 40.

Los materiales relevantes utilizados en la construcción del caldero son:

- **Hierro dulce:** Material del cual está constituido el caldero (intercambiador de calor, hogar, bridas y espejos).
- **Suelda de arco:** Uniones en el cuerpo del caldero a excepción de las tuberías en el intercambiador de calor.
- **Tubería:** Conductos para el intercambiador de calor.
- **Expansor de tubería:** Equipo utilizado para la unión de las tuberías en el intercambiador de calor.

2.2.1.1. Hierro dulce

El hierro que se utiliza, también llamado hierro negro, se caracteriza por el bajo contenido de carbono (entre 0,05% a 0,25%), es un buen conductor de electricidad y calor. Es duro, resistente al calor, ya que se funde alrededor de 788°C a 1539°C [7]y es fácilmente aleable con otros metales. [7]

2.2.1.2. Suelda de arco con electrodo B-10 E-7018

La soldadura produce un arco eléctrico entre la masa (polo negativo conectado a las superficies a soldar) y el electrodo (polo positivo) que es una varilla cilíndrica recubierta con materiales no metálicos, cuya composición química es variada según los requerimientos de uso. En este caldero se aplica el electrodo AGA-B-10 E-7018, cuya característica principal es contener bajo hidrogeno con un revestimiento básico, ideal para realizar uniones al poseer excelentes propiedades mecánicas con un alto rendimiento.

Se lo puede aplicar en [8]:

- Aceros de alto contenido.

- Maquinara agrícola.
- Aceros estructurales.
- Recipientes y tuberías de presión.
- Industria naval.

2.2.1.3. Tubería 2 [pulg] sin costura cédula 40 [9]

Esta tubería cumple con las siguientes características:

- Norma ASTM GrB para conducción de fluidos.
- Composición química en máximos porcentajes de 0.3% de carbón, 1.2% de manganeso, 0.05% de fósforo y 0.06% de azufre.
- Diámetro exterior de 60.3 [mm] = 2.37 [pulg]
- Espesor de 3.91 [mm] = 0.15 [pulg]
- Presión máxima 2500 [PSI] = 176 [kg/cm^2]
- Peso de 5.44 [kg/m]

2.2.1.4. Expansor de tubería de 2 [pulg]

Para obtener la máxima eficiencia en el intercambiador del caldero, es recomendable realizar una expansión a la tubería antes que soldarla a los espejos del caldero. Para lograr una buena hermeticidad, se obtiene la patente del expansor y se lo construye en el mismo lugar donde se elaboró el caldero. La tubería utilizada es cédula 40 sin costura de 2 [pulg], la cual se expande de tal manera que las uniones resistan hasta los 60 [PSI]. El actuador principal del expansor es la conicidad de la estructura y la presión que ésta ejerce mientras entra en la tubería. Este elemento se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7 Expansor de tubería de 2 [pulg] [10]

2.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

El sistema de control se basa principalmente en el correcto funcionamiento del sistema de generación de vapor, para lo cual se usan diferentes sensores y actuadores como se muestra en la Figura 2.8 y se describen en las Tablas 2.2, 2.3 y 2.4.

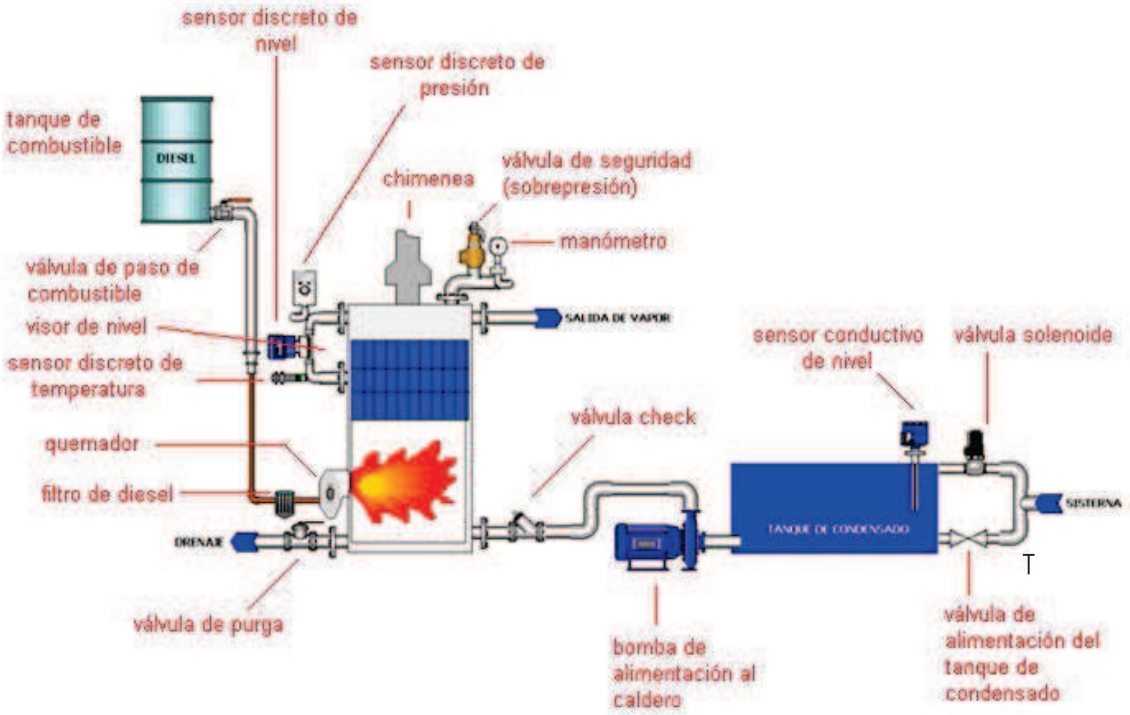


Figura 2.8 Componentes del sistema de generación de vapor

ELEMENTO	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Caldero de baja presión	Construcción nacional	Fuente de calor (genera vapor).	60 [PSI] máximo	Estructura mostrada en el literal 2.2.
Quemador de diesel	Wayne modelo EH(3-6GPH)	Conjunto de elementos que generan llama en el hogar del caldero.	(3 a 6)GPH, 115V, 10A. (420000-840000) BTU/h	Mayor información: http://bit.ly/LWScNh manual 21530EH
Motor eléctrico		Inyectar aire para la combustión.	115V, 60Hz, 1HP, 8A, 3450RPM	
Transforma_ dor de ignición		Producir la chispa para inflamar el combustible.	115V, 60Hz, 10000Vout, 23mAout.	
Bomba de combustible	Suntec A2YA-7916	Inyectar combustible para la quema. Sistema mecánico (acoplado al eje del motor)	3450RPM en rotación anti horaria, a 3GPH-200PSI, a 7GPH-100PSI	
Válvula de combustible		Permitir el paso de combustible.	Normalmente cerrada, 115V	
Control primario	Honeywell R7284	Controlar los elementos del quemador según presión y nivel del caldero, logrando producir llama.	115V, 1A	-Mayor información: http://bit.ly/1g2CtJH -Revisar Figura 2.9.

Tabla 2.2 Componentes del sistema de generación de vapor 1 de 3

ELEMENTO	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Sensor de presión	Honeywell L404	Monitorear presión alta en el caldero. Necesita 2 contactos (para el control primario R7284 y otro para el PLC) por lo que gobierna un relé.	De 0 a 150 [PSI], con histéresis de 8 a 16 [PSI], un contacto normalmente cerrado (NC), regulable.	Mayor información: http://bit.ly/LILOYY
Sensor de nivel	McDnonnell & Miller serie 150S	Monitorear nivel alto y bajo en el caldero.	De boya, un contacto NC y otro normalmente abierto (NA).	Mayor información: http://bit.ly/19P4rpp
Sensor de temperatura	Honeywell Acuastat L6006A	Supervisar que el líquido del caldero no exceda los 116°C que es la máxima temperatura que alcanza a 15[PSI] y ¾ del volumen en el caldero.	Contacto NC, 8A a 110V, 5.1A a 220V, (38-116) °C, histéresis de (3-17) °C.	-Conectado solo al PLC para supervisar fallas. -Mayor información: http://bit.ly/LWXmbT
Sensor conductivo de nivel	Construcción nacional	Monitorear nivel bajo y alto del tanque de condensado.	3 elementos conductivos	Revisar conexiones en la Figura 2.10.
Módulo de Control discreto de nivel	Electrosonda Q	Acciona una válvula solenoide, la cual complementa el nivel del tanque de condensado.	5A, 110V, utiliza un sensor conductivo de nivel.	Revisar conexiones en la Figura 2.10.
Válvula de alivio de presión	Kunkle 6010EDM	Evacuar vapor si se produce una presión mayor a 30[PSI] dentro del caldero.	Entrada de ¾ pulg, salida de 1.5 pulg, 30PSI, 456 lb/h, código ASME I.	Mayor información: http://bit.ly/1arRQsP

Tabla 2.3 Componentes del sistema de generación de vapor 2 de 3

ELEMENTO	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Manómetro	----------	Visualizar la presión dentro del caldero	(0-30) PSI	Numeración en rojo para mayor a 15PSI
Visor de nivel	Apollo	Visualizar el nivel dentro del caldero.	Longitud de 30.5cm, entrada de ½ pulg, bypass con válvulas manuales, max 200 PSI, max 200°C, válvula de drenaje	Mayor información: http://bit.ly/1aL24lJ
Filtro de diesel	Westwood	Filtrar suciedad del combustible.	Filtro cambiable, max 17 GPH, max 52 PSI, entrada 3/8 pulg.	
Bomba de agua	Jaccuzy	Mantener el nivel de agua dentro del caldero.	230 VAC, 60 Hz, 2HP, 8 A, 11[m^3/h], tipo centrífuga.	Temperatura máxima de 40°C
Válvula chek	Red-White 230	Evitar que el agua dentro del caldero retorne hacia la bomba de alimentación.	De bronce, max 232°C, max 125 PSI, entrada y salida de 1 pulg.	Se coloca en serie a la salida de la bomba que alimenta al caldero.
Válvula solenoide	----------	Surtir de agua al tanque de condensado.	Entrada y salida de 1 pulg, tipo membrana, para agua, 110V, max 1A.	En paralelo se coloca una válvula manual, para fallos.
Válvulas Manuales	----------	Drenaje del caldero, salidas de vapor, alimentación del tanque de condensado.	Tipo bola y tipo compuerta.	

Tabla 2.4 Componentes del sistema de generación de vapor 3 de 3

Las partes que conforman el módulo de control primario y su conexión se muestra en la Figura 2.10.

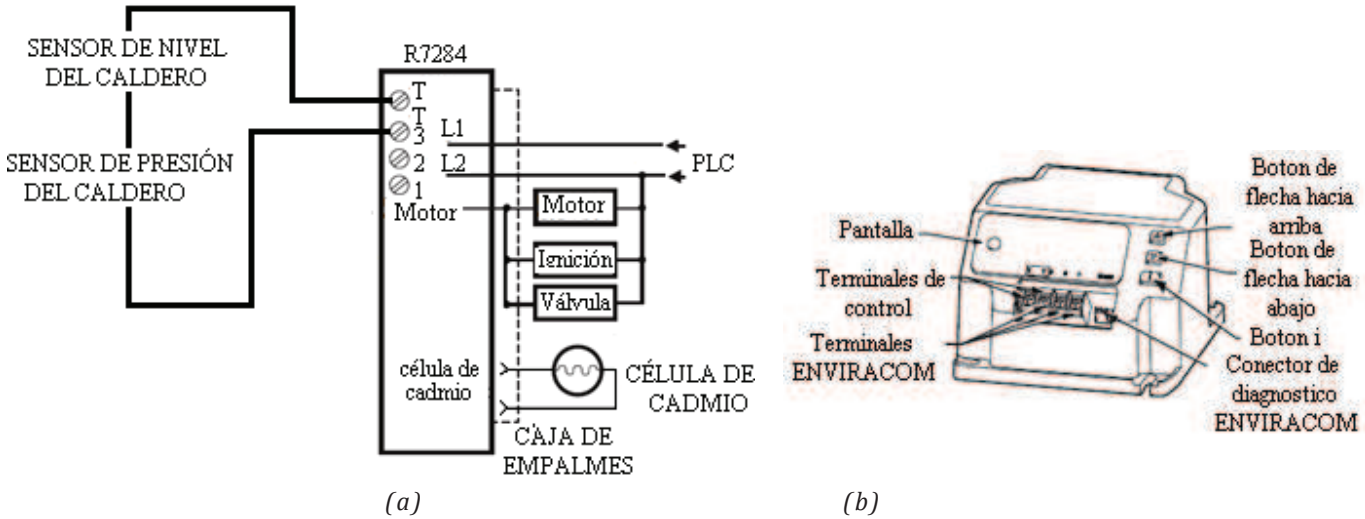


Figura 2.9 (a) conexiones del R7284 y (b) Partes del módulo de control R7284

El circuito utilizado para el módulo de control de nivel Electrosonda Q se muestra en la Figura 2.9.

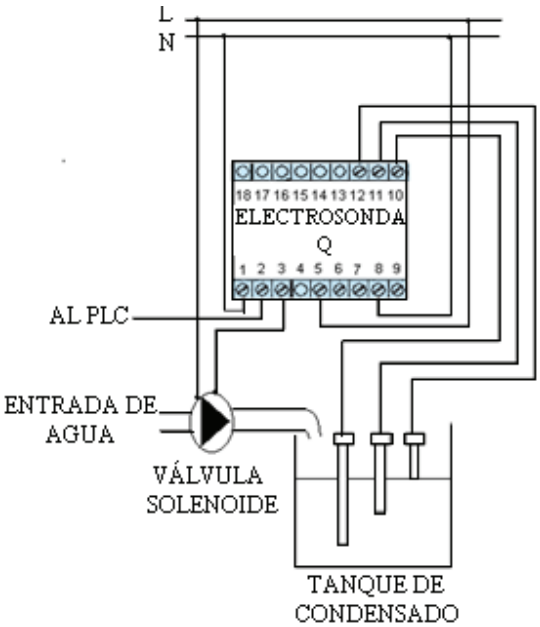


Figura 2.10 Conexión Electrosonda Q

2.3. PROGRAMA DE CONTROL DEL GENERADOR DE VAPOR

El programa general implementado en el PLC consta de varias subrutinas, siendo una de ellas la subrutina de control del caldero, a través de la cual el PLC realiza las siguientes acciones de control:

- Activar o desactivar el módulo electrónico de control primario R7284, en base al estado de las variables de presión, nivel y temperatura del caldero; y,
- Activar o desactivar la bomba de alimentación de agua al caldero y la válvula solenoide del tanque de condensado, en base al nivel de agua existente en el caldero y en el tanque de condensado.

2.3.1. DIAGRAMA P&ID DEL CALDERO

Para comprender mejor el proceso de generación de vapor y conocer la ubicación de los dispositivos, sensores y actuadores que intervienen en su control, en el Anexo 2 (Lámina 1) se ilustra el diagrama P&ID correspondiente a este proceso.

2.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBRUTINA DEL CONTROL DEL CALDERO

El proceso de generación de vapor se inicia cuando desde el programa principal del PLC se la subrutina Control del Caldero, lo cual sucede al entrar en modo de operación manual o automático.

En la Figura 2.11 y 2.12 se ilustra el diagrama de flujo, que gráficamente muestra la subrutina del de control del caldero y se explica a continuación:

Si en el PLC el modo de operación es manual y se presiona el pulsador de marcha (ON CALDERO), inicia el monitoreo de presión, nivel y temperatura dentro del caldero; según los cuales, el PLC activa o desactiva el control primario R7284, antes de que éste se desactive mediante el PLC, se cuenta un tiempo (TIEMPO MUERTO) en el cual debe actuar. Si la temperatura es elevada, además de desactivar el

R7284, se despliega un mensaje en el LCD. Si no se produce llama en el hogar cuando los rangos de presión y nivel son adecuados, se despliega un mensaje en el LCD indicando que se debe revisar el sistema de combustible. Al presionar el pulsador de paro (OFF CALDERO) se desactiva el R7284.

Si el modo de operación es automático y se activa cualquiera de las tres válvulas solenoides que controlan la salida de vapor, se da marcha al control del caldero de la misma forma que en modo manual. Al presionar el pulsador de paro se desactiva el R7284 hasta que se pulsa el botón de marcha.

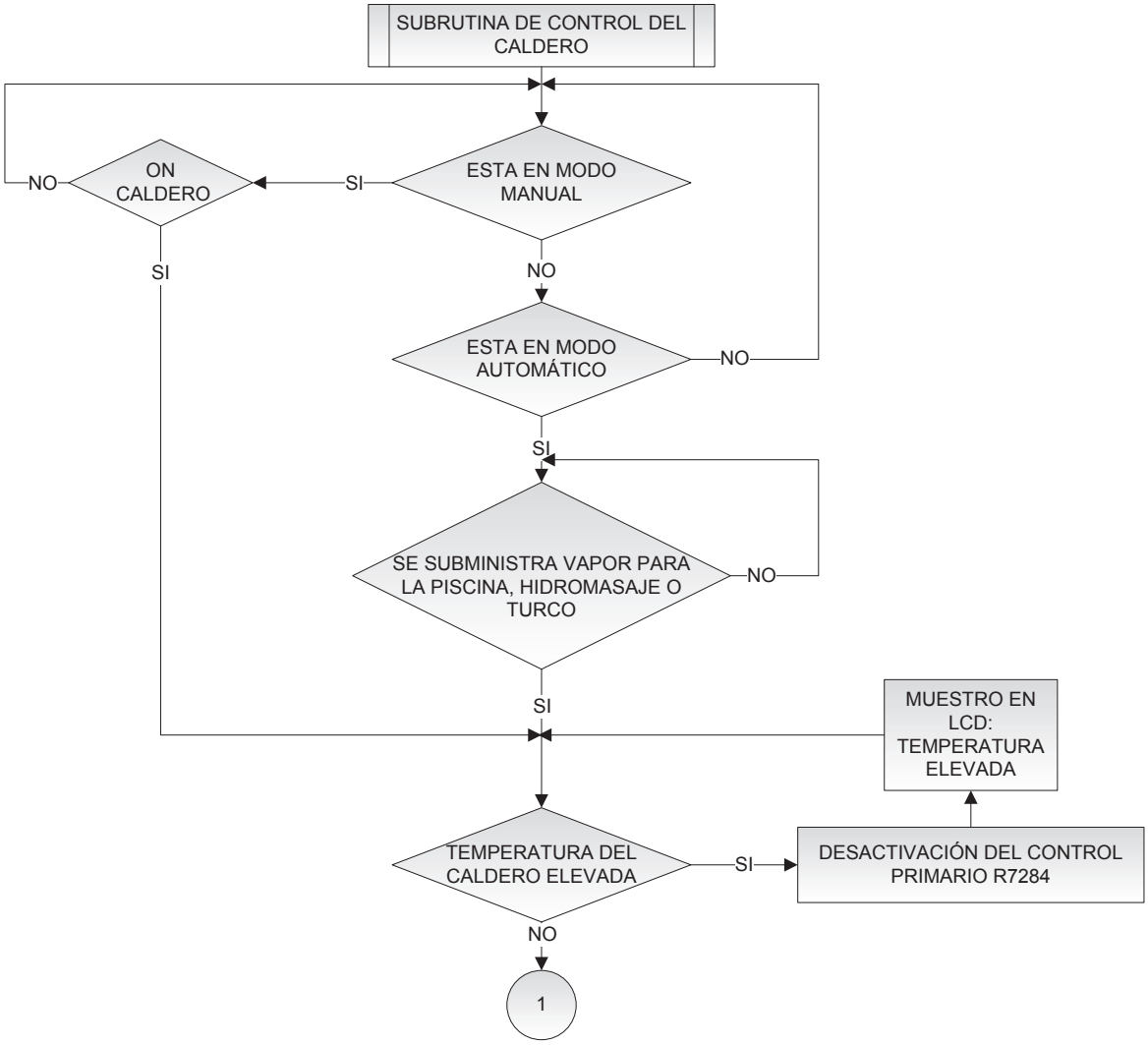


Figura 2.11 Diagrama de la subrutina de control del caldero 1 de 2

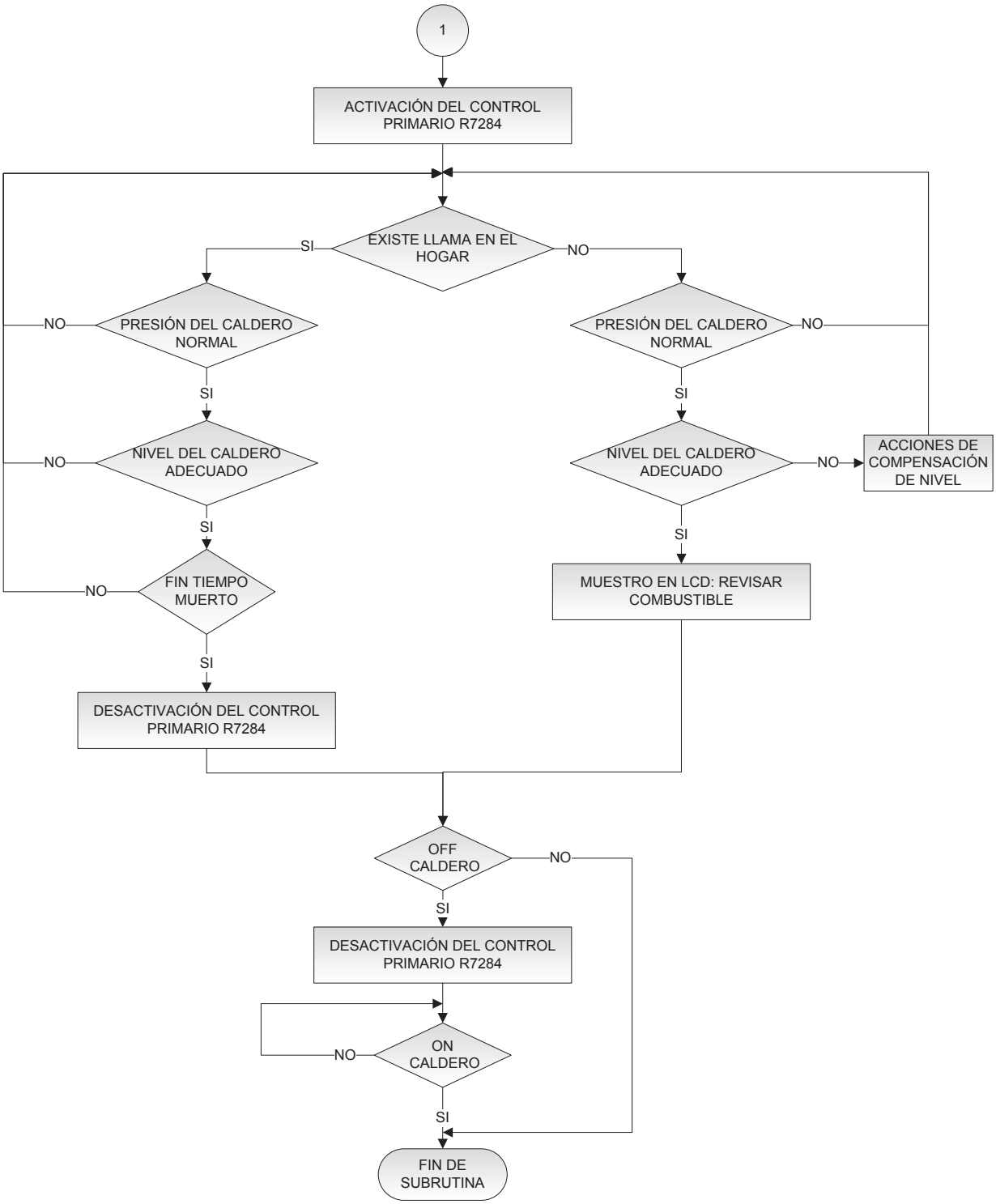


Figura 2.12 Diagrama de la subrutina de control del caldero 2 de 2

2.3.2.1. Lógica que realiza el módulo de control primario R7284

Como se menciona en la Tabla 2.2, el módulo electrónico R7284 se encarga de controlar el quemador del caldero, que está construido por una válvula de combustible, un transformador de ignición, un motor eléctrico (acoplado por el eje a un ventilador y una bomba de combustible), y el sensor de llama. Las variables que rigen su operación son nivel y presión dentro del caldero, como se observa en la Figura 2.13 y 2.14; y, se explica a continuación:

Si la presión pasa de los 15 [PSI] o el nivel es menor a los $\frac{3}{4}$ de agua dentro del caldero, el quemador se desactiva; caso contrario, se activa. Si se detecta llama en el hogar, opera normalmente; si no es así, se da arranque al quemador hasta que se produzca combustión o llegue al límite de intentos de llama y se active un indicador error (parpadeo de un led en la pantalla); para salir de la condición de falla, se pulsa reinicio (botón i) y se vuelve repetir el proceso antes mencionado. Las partes del control primario se mostraron anteriormente en la Figura 2.9(b).

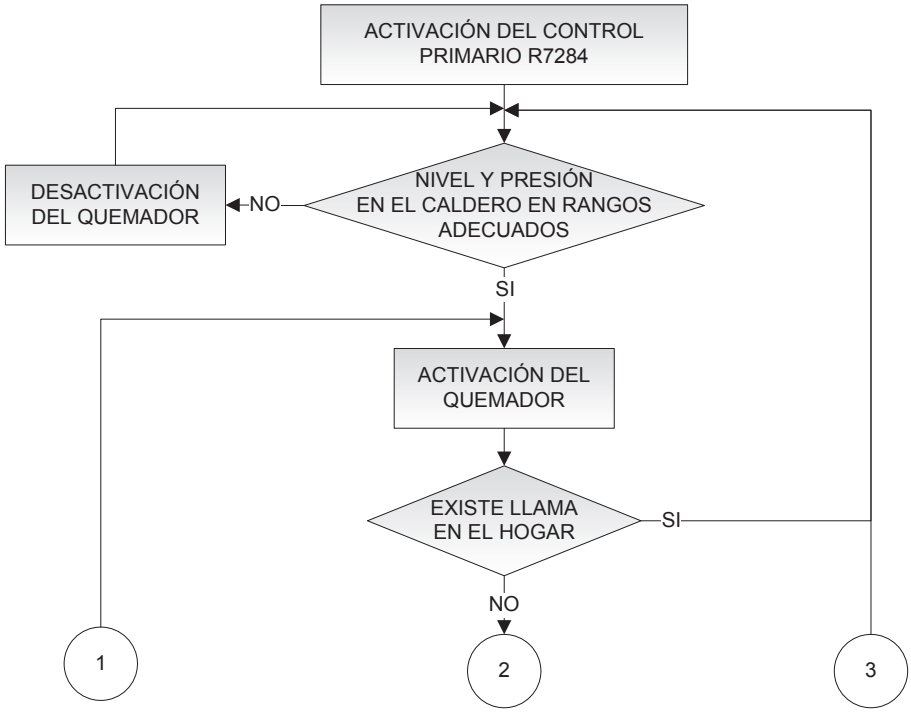


Figura 2.13 Lógica del módulo R7284 1 de 2

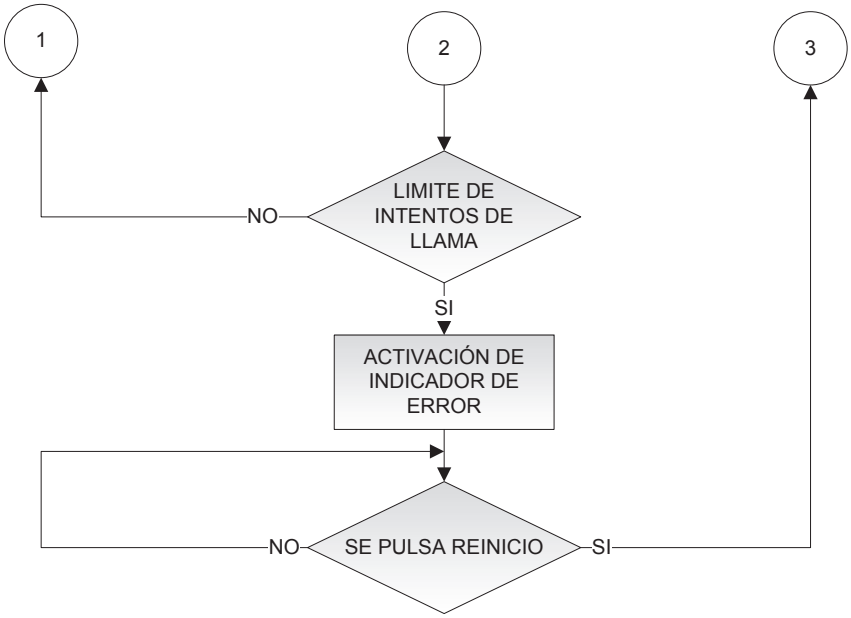


Figura 2.14 Lógica del módulo R7284 2 de 2

2.3.2.2. Variables ocupadas en el PLC para el control del caldero

A continuación se nombran los eventos principales para el control del caldero. En la Tabla 2.5 se muestran las entradas y salidas del PLC ligadas a los sensores y actuadores del control del caldero y en la Tabla 2.6 se muestran los contactos internos y timers internos utilizados para este control.

EVENTO	ENTRADA	SALIDA
Pulsador de arranque (ON CALDERO)	X11	----------
Pulsador de paro (OFF CALDERO)	X12	----------
Activación del R7284	--------	Y4
Llama en el hogar	X16	Y12
PRESIÓN>15[PSI]	X14	Y10
NIVEL<$\frac{3}{4}$ DE AGUA EN EL CALDERO	X13	Y11
Temperatura del agua dentro del caldero>116[°C]	X17	-------
Nivel bajo de condensado	X15	Y13
Activación solenoide de agua para el tanque de condensado	------	Y14
Modo manual	X2	-------
Modo automático	X1	-------

Tabla 2.5 Entradas y salidas en el PLC para eventos del caldero

EVENTO	TIMER	CONTACTO
Tiempo para desactivar el quemador (control redundante)	T7	----------
ON/OFF CALDERO EN MODO AUTOMÁTICO	-----	C1
Tiempo para mostrar mensaje de combustible	T20	----------
Tiempo para activar indicador de nivel bajo en el caldero	T11	----------
Tiempo para indicar insuficiente condensado (NIVEL BAJO BAJO CONDENSADO)	T6	----------
PRIMERA VEZ DETECTA NIVEL BAJO CONDENSADO	-----	C32

Tabla 2.6 Timers y contactos internos utilizados para el control del caldero

CAPÍTULO 3
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURAS DE CONFORT.

3.1. INTRODUCCIÓN.

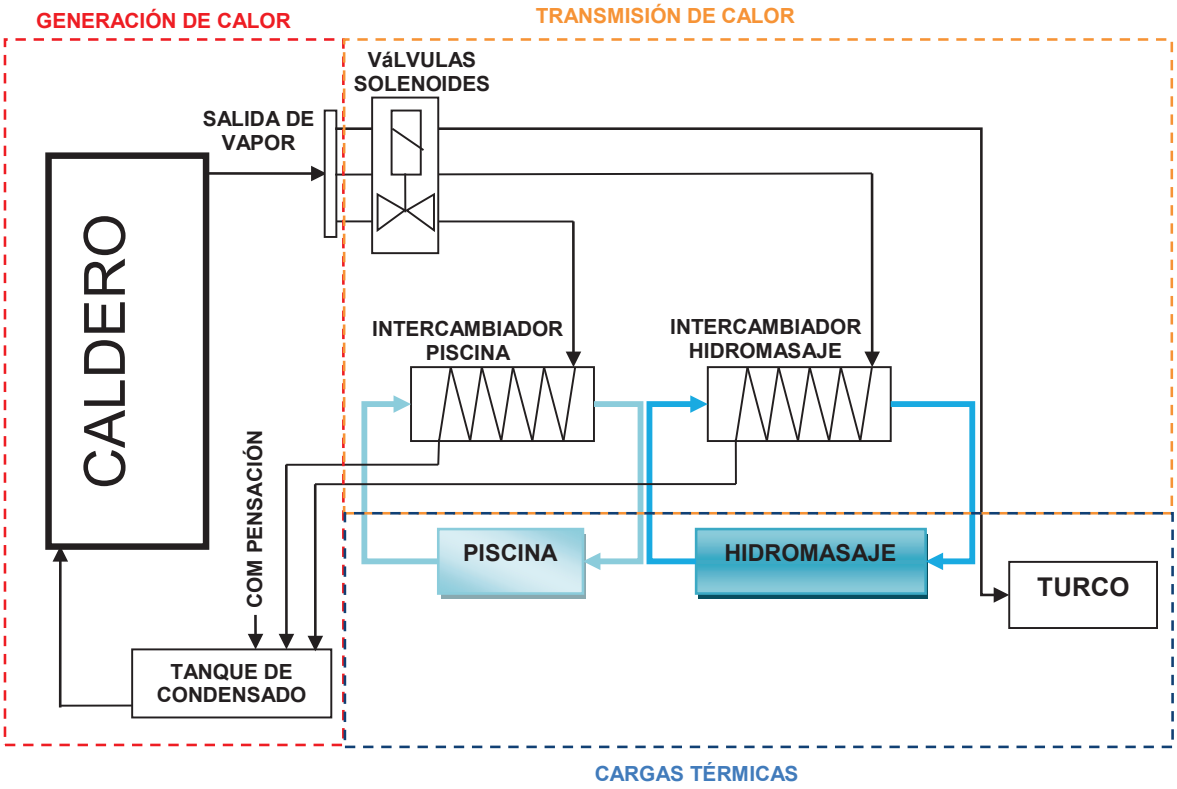


Figura 3.1 Sistema de calentamiento

Es de primordial importancia en este proyecto el control de temperatura de tres cargas térmicas: piscina, hidromasaje y turco. Para elevar las temperaturas se utiliza un caldero como generador de calor, lo que se estudió en el capítulo 2, el cual transfiere la energía hacia la piscina y el hidromasaje mediante el uso de intercambiadores de calor; y, al turco se le inyecta la energía directamente como se observa en la Figura 3.1.

Las temperaturas son seleccionables por el operador, ya que más que seguir una norma específica para un confort térmico, se toma en cuenta el gusto promedio de los usuarios y la experiencia del administrador.

3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CALOR

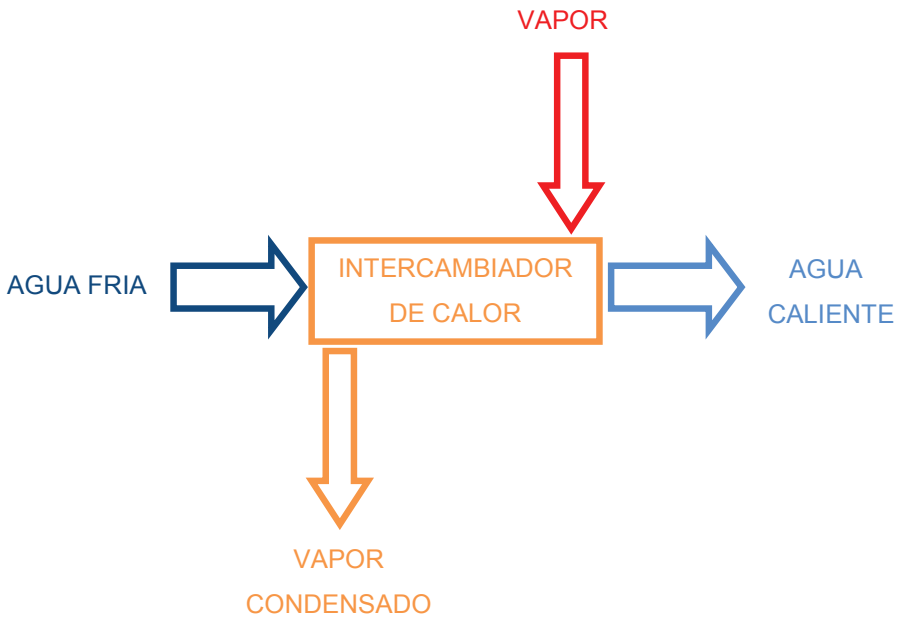


Figura 3.2 Transmisor de calor

Se llama sistema de transmisión de calor al medio que se utiliza para transportar el calor a los espacios físicos requeridos: para la piscina e Hidromasaje, se recurre a intercambiadores de calor cuyo diagrama de bloques se muestra en la Figura 3.2; y, para el baño turco se acude a una tubería directa desde el caldero. La manera de controlar el calor en estas cargas térmicas es mediante tres válvulas solenoides.

3.2.1. ESTRUCTURA MECÁNICA Y DIMENSIONES

Los intercambiadores de calor constan de las partes señaladas en la Figura 3.3. Las bridas superior e inferior son desmontables para poder dar mantenimiento y limpieza. No se tiene separadores entre las tuberías del intercambiador y éstas se pueden

deformar al no circular un fluido (de menor temperatura que el vapor) en su interior. Los intercambiadores están construidos de acero inoxidable que impide la corrosión, lo cual es una ventaja al estar ubicados en ambientes húmedos y ser usados para calentar agua.

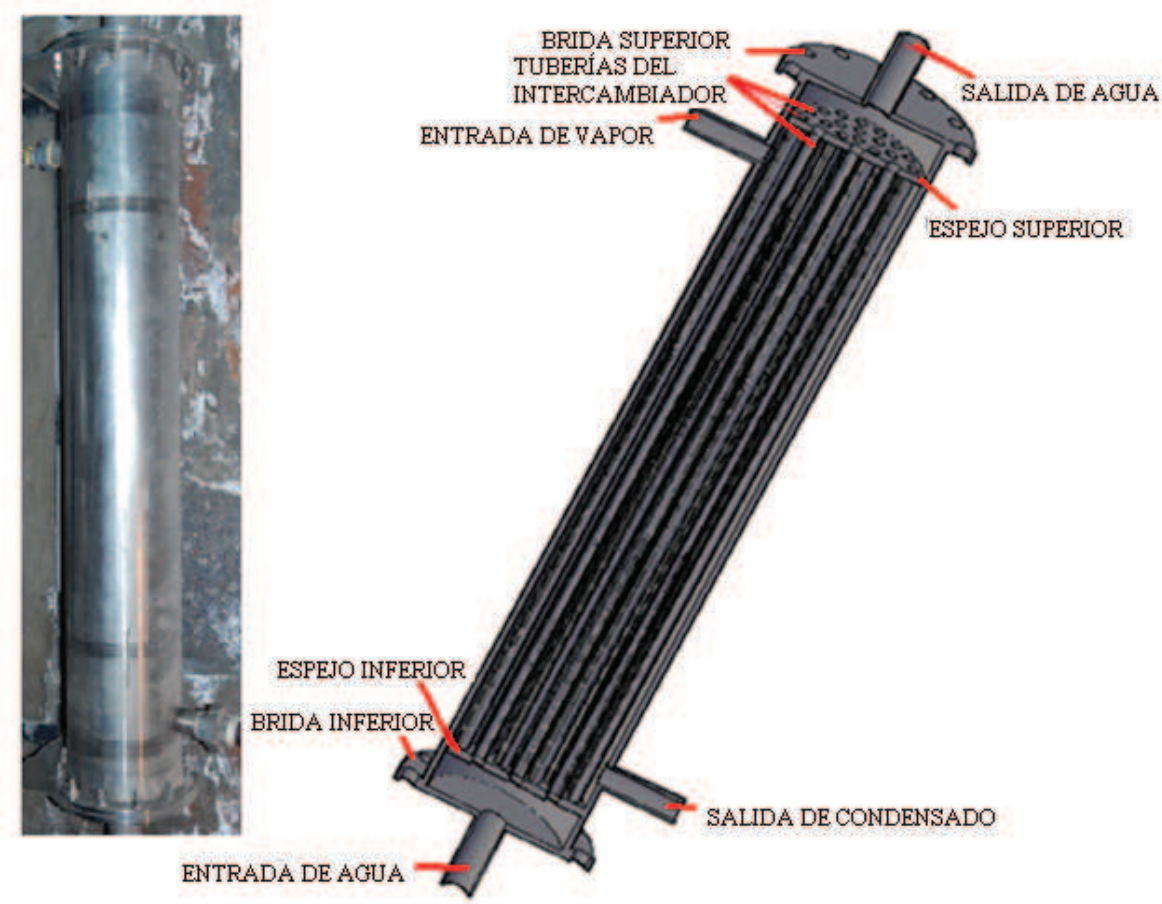


Figura 3.3 Corte del Intercambiador de Calor

En la Figura 3.4 se detalla el proceso (de izquierda a derecha) para distribuir las tuberías en los espejos superior e inferior de los dos intercambiadores de calor, obteniendo una alta eficiencia de transferencia de calor.

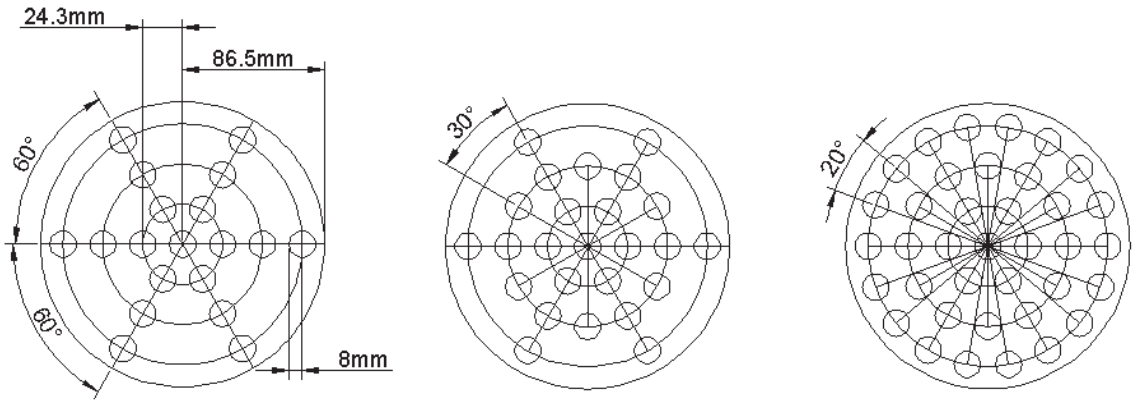


Figura 3.4 Distribución de tuberías

En la Figura 3.5 se muestran las dimensiones del intercambiador de calor de la piscina y en la Figura 3.6 del hidromasaje.

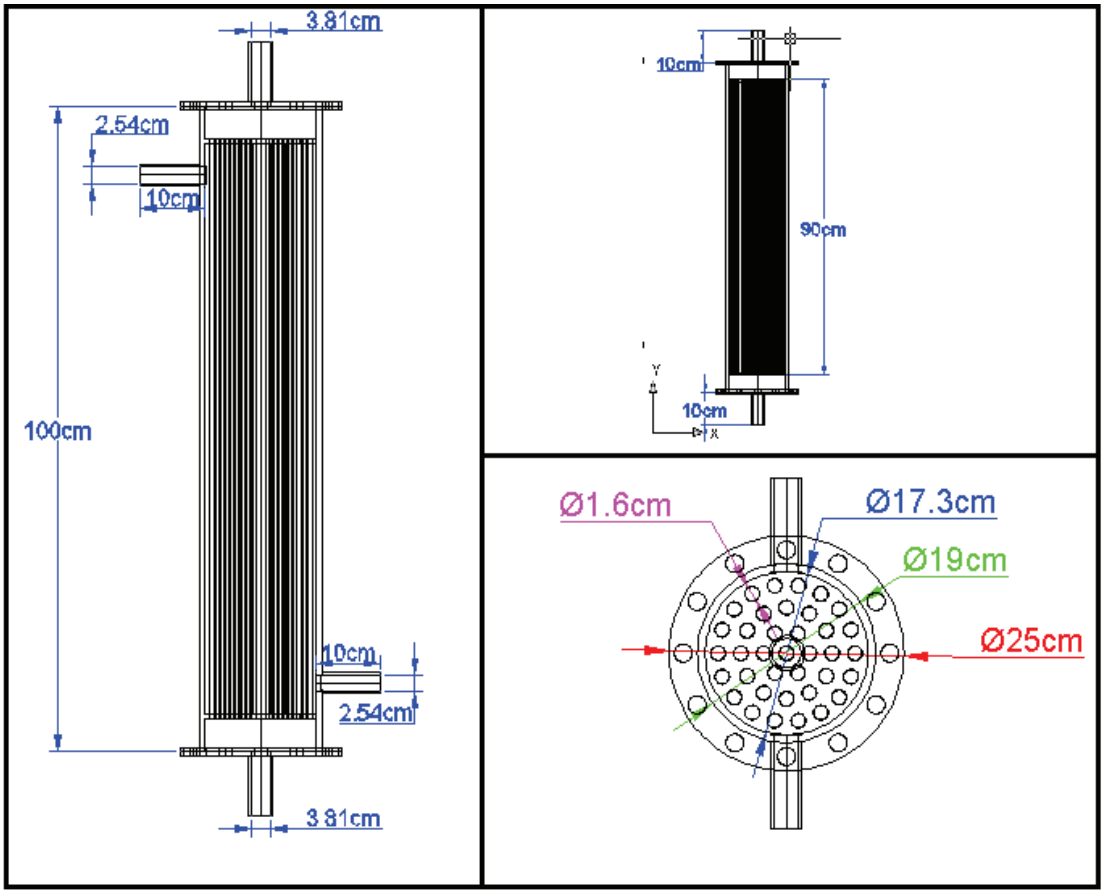


Figura 3.5 Dimensiones del intercambiador de la piscina

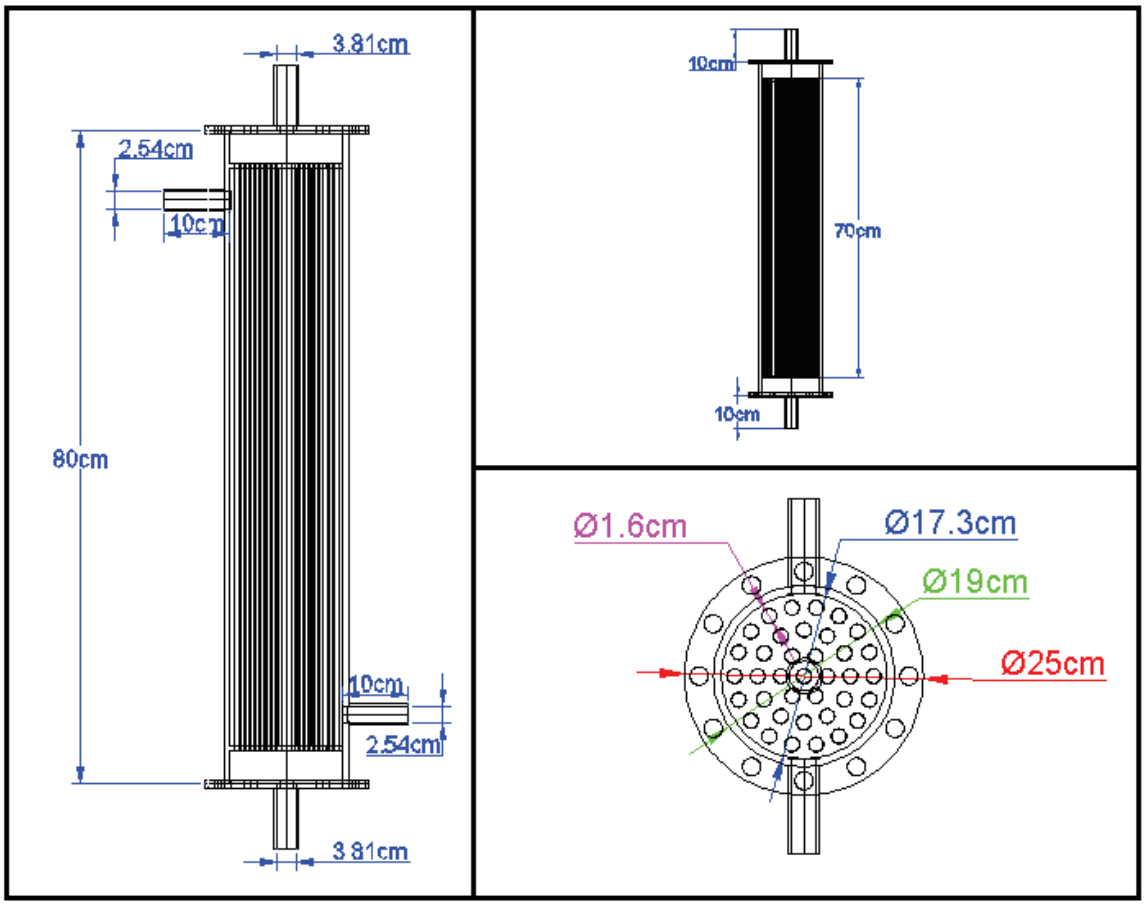


Figura 3.6 Dimensiones del Intercambiador del Hidromasaje

Los dos intercambiadores de calor son de fabricación nacional hechos de acero inoxidable 304, las uniones de los tubos a los espejos son realizadas con suelda tig. La estructura mecánica de estos transmisores de calor no está basada en diseños comerciales, sino en base a la experiencia y conocimientos del constructor del intercambiador de calor, lo cual implica que no son dimensionados exactamente para la aplicación del presente proyecto.

El acero inoxidable 304 es al cromo-níquel, que por sus excelentes propiedades mecánicas lo hacen resistente a la corrosión, es antimagnético y no es endurecido por tratamiento térmico. [11]

La soldadura TIG es de arco eléctrico, protegido por gas inerte (argón o helio), el electrodo es de tungsteno y es permanente, de allí viene su nombre (tugsten inert

gas). La ventaja del uso de este tipo de suelda es su mayor resistencia al esfuerzo mecánico y a la corrosión, por lo cual es ideal para soldar los tubos de los intercambiadores de calor que son hechos en acero inoxidable.

3.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CALOR

El sistema de transmisión de calor se basa principalmente en la entrada de vapor, la salida de condensado y la circulación de agua de la carga térmica en el intercambiador, como se muestra en la Figura 3.7. Los componentes se describen en la Tabla 3.1; y, la válvula solenoide es expuesta en el siguiente capítulo.

ELEMENTO	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Trampa de vapor	Spirax DN15	Evitar fugas de vapor por la salida del condensado.	Entrada y salida de ½ pulg	Optimiza la transferencia de calor.
Válvulas manuales	---------	Regular el caudal de agua de salida del intercambiador	Entada y salida de 1½ pulg.	Plástica para el hidromasaje y de metal para la piscina, difieren en el acople.

Tabla 3.1 Componentes del sistema de transmisión de calor

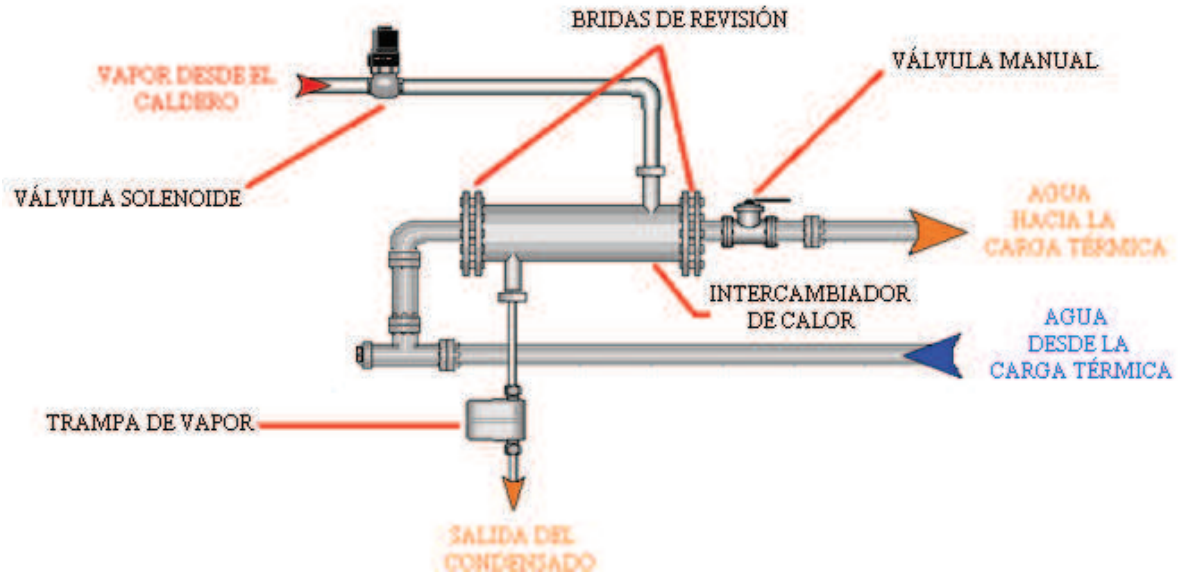


Figura 3.7 Diagrama modular del intercambiador de calor

3.3. RECONOCIMIENTO DE LAS CARGAS TÉRMICAS

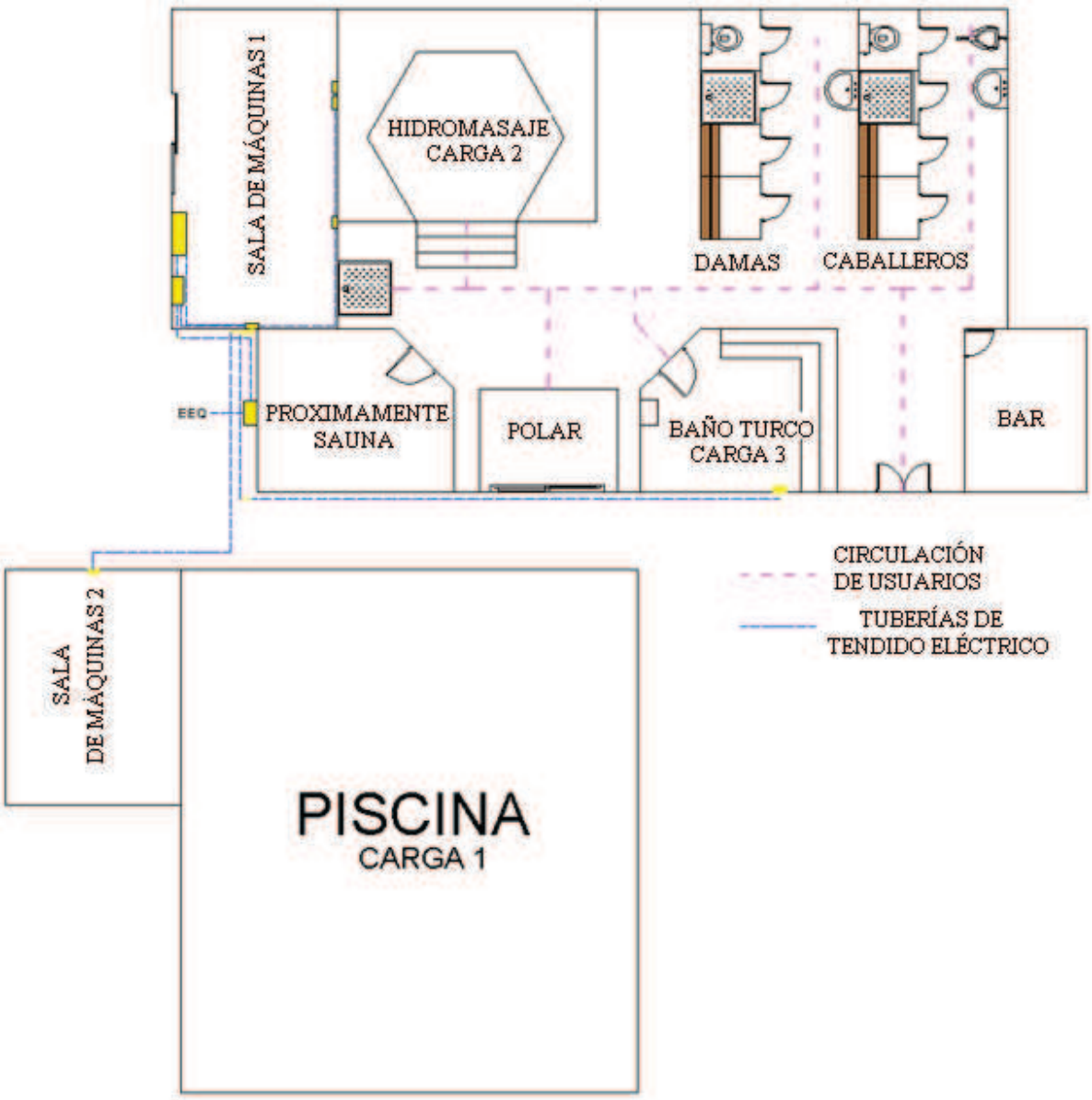


Figura 3.8 Ubicación de las cargas

En la Figura 3.8 se muestra la ubicación de las cargas y de tuberías para el tendido eléctrico. En la SALA DE MÁQUINAS 1 se encuentran los 2 tableros principales, cajas de empalmes, el caldero, los intercambiadores de calor y la mayor parte de los elementos de control. En la SALA DE MÁQUINAS 2 se encuentran las bombas,

filtros y tuberías necesarios para la alimentación de la piscina e hidromasaje. Para complementar se debe revisar el diagrama P&ID (lámina 2 del ANEXO 2).

3.3.1. PISCINA

El volumen de la piscina, mostrada en la fotografía de la Figura 3.9, es de 134 [m^3].

Figura 3.9 Fotografía de la piscina

3.3.1.1. Diagrama funcional

Para lograr un óptimo control de temperatura sin dejar pasar ningún detalle, se realiza un diagrama del sistema de calentamiento de la piscina, mostrado en la Figura 3.10, donde se muestran las partes que tienen una relación directa con la obtención de una temperatura de confort, desde una temperatura mínima contenida en el volumen de agua de la piscina.

En este diagrama no se han ilustrado la serie de válvulas que se muestran en el diagrama P&ID (lámina 2 del ANEXO 2), ya que es solo para recalcar las partes importantes del sistema de calentamiento para la piscina.

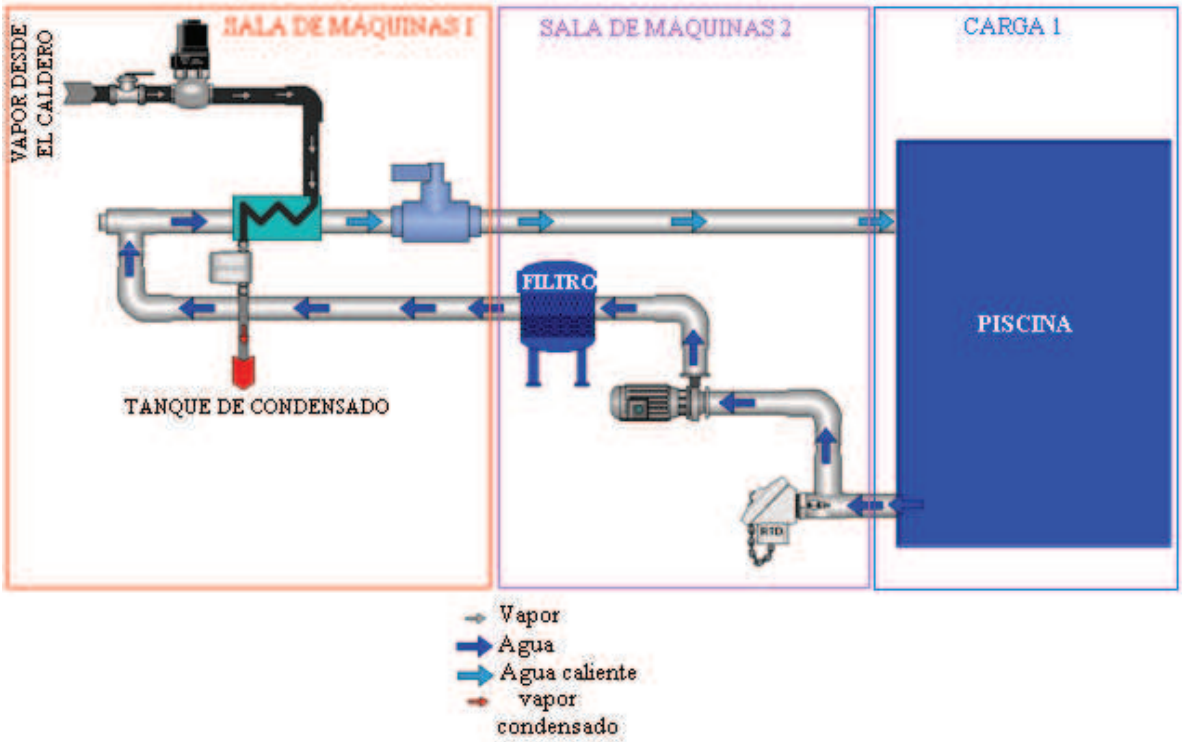


Figura 3.10 Diagrama funcional de la piscina.

3.3.2. HIDROMASAJE

El volumen del hidromasaje, mostrado en la fotografía de la Figura 3.11, es de 1.88 [m^3].

Figura 3.11 Fotografía del hidromasaje

3.3.2.1. Diagrama funcional

Para realizar un buen control de temperatura se exponen las partes relevantes para la climatización en un diagrama, que se muestra en la Figura 3.12, en el cual se observa de mejor manera los componentes implicados en el calentamiento del volumen de agua contenido por el hidromasaje, el que inicia en una temperatura mínima hasta llegar a una temperatura de confort. Remitirse a la lámina 2 del Anexo 2, para observar todos los elementos incluidos en el sistema del hidromasaje.

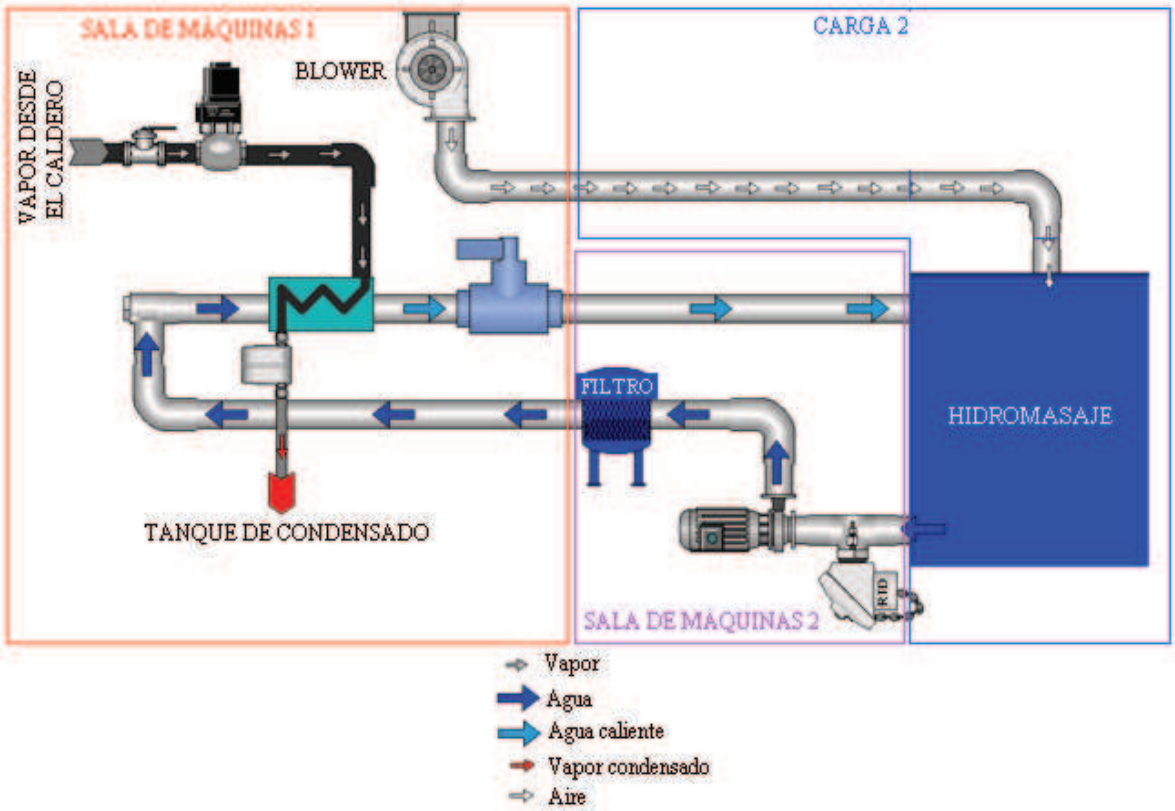


Figura 3.12 Diagrama funcional del hidromasaje

3.3.3. BAÑO TURCO

El volumen del baño turco, mostrado en la fotografía de la Figura 3.13, es de 12.52 [m^3].

El sensor de temperatura se ubica en la pared frente a la puerta debido a la facilidad de cableado, ya que no daña la baldosa del recinto. La tubería de vapor de alimentación está soterrada en el piso.

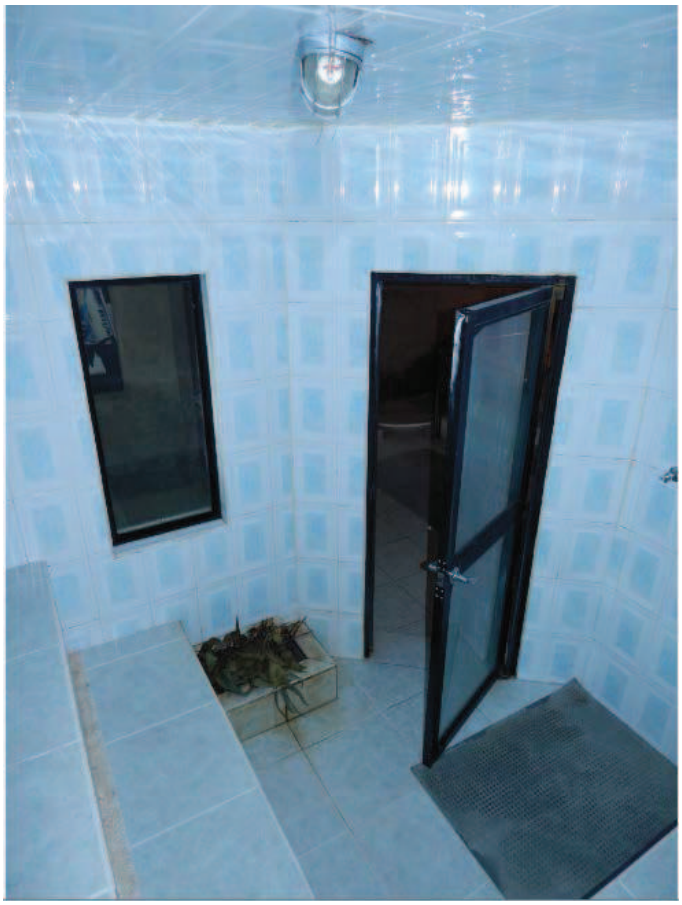


Figura 3.13 Fotografía del baño turco

3.3.3.1. Diagrama funcional

Para poder realizar un óptimo control de temperatura sin dejar pasar ningún detalle se realiza un diagrama simplificado, mostrado en la Figura 3.14, donde se notan todas las partes importantes tomadas en cuenta, para llegar desde una temperatura mínima a una temperatura de confort en el baño turco. Se aclara que la figura solo es explicativa, por lo que contiene solo los elementos implicados para el control de temperatura.

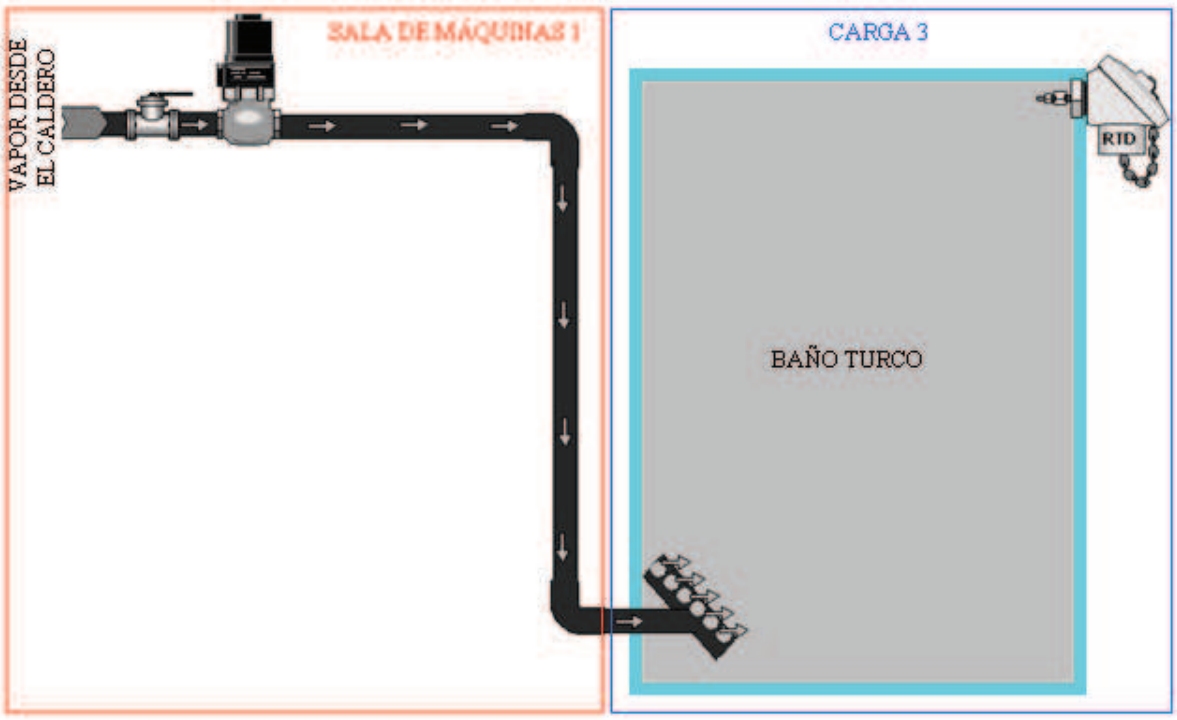


Figura 3.14 Diagrama funcional del baño turco

3.4. COMPONENTES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURAS DE CONFORT

El sistema implementado para el control de temperaturas de confort realiza lo necesario para climatizar tres áreas denominadas cargas térmicas: piscina, hidromasaje y baño turco; para lo cual, principalmente se gobierna tres válvulas solenoides como actuadores, éstas permiten o impiden el paso de vapor, dependiendo de la temperatura en las cargas. El control es realimentado por sensores de temperatura tipo RTD Pt100 conectados a transmisores de corriente. La circulación continua del agua para la piscina e hidromasaje es impulsada por bombas eléctricas, en serie a filtros de arena para eliminar suciedades.

Para lograr mantener las temperaturas de confort se utilizan los equipos descritos en las Tablas 3.2 y 3.3.

ELEMENTO	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Controlador lógico programable (PLC)	Koyo DL06-AR	Supervisar el sistema de producción de vapor y controlar las temperaturas de confort para la piscina, hidromasaje y baño turco.	-20 entradas 110V, 16 salidas a relé 2A, alimentación 110/220VCA - Más características en el literal 3.3.1.1.	-Mayor información: http://bit.ly/1cwQgok -Revisar literal 3.4.1.
Módulo de 4 entradas analógicas	Koyo F0-04AD-1	Recibir de forma analógica variables desde los transmisores de corriente para los sensores de temperatura.	Rangos de entrada de (0-20)mA y (4-20)mA, 12bits de resolución, filtro activo pasabajo, resistencia de entrada de 125Ω, ±30mA max	Mayor información: http://bit.ly/1icv0Fi
Fuente de 24VDC	Mean Well DR-4524	Alimentación de los transmisores de corriente para los sensores de temperatura.	Entrada (85-264) VAC y 1.5A max, salida de 24VDC y (0-2) A, 48W.	-Estabilidad de voltaje de salida. -Mayor información: http://bit.ly/1ehKzuP
3 transmisores de corriente.	SBWZ	Enviar vía analógica (4-20mA) al PLC las variables de temperatura.	Salida de (4 a 20) mA para (0 a 200) °C, entrada Pt100, 24VDC de alimentación.	Revisar conexiones en la Figura 3.17. Mayor información: http://bit.ly/1fym8rA
Sensor de temperatura RTD	----------	Censar la temperatura de la piscina, hidromasaje y baño turco.	Tipo Pt100 de 3 hilos con termopozo de acero inoxidable, conexión al proceso de ½pulg, largo 4pulg, de (-200 a 750) °C, error del 0.2%.	-Salida lineal y menos susceptible a la oxidación. -Respuesta lenta (no importa en este proceso).

Tabla 3.2 Componentes para control de temperaturas de confort 1 de 2

ELEMENTO	MARCA	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
3 Válvulas solenoides	UNID US-20	Controlar la entrada y salida de vapor que transmite calor a la piscina, hidromasaje y baño turco.	Trabaja con agua, aire y vapor, de acción directa, presión mínima de 5PSI y máxima de 142PSI, (-5 a 185) °C, entrada de 110VAC±10%.	-medidas: piscina 1pulg, hidromasaje ¾ pulg y baño turco ½ pulg. - Mayor información http://bit.ly/1kay1H9
2 bombas de agua	Jacuzzi S2LR6	Impulsar el agua para su recirculación, en la piscina e hidromasaje.	230 VAC, 60 Hz, 2HP, 8 A, 3450RPM, 11[m^3/h], tipo centrífuga con filtro de malla incorporado.	Para la bomba de: la piscina 40°Cmax, del hidromasaje 75°Cmax.
Filtro de arena para la piscina	Jacuzzi Serie SandStorm TM31	Filtrar suciedad proveniente de la piscina.	6 funciones, dímetro de entrada y salida de 1.5pulg, 96 GPM.	-Revisar funciones en el literal 3.4.3. - Mayor información http://bit.ly/LcalFk
Filtro de arena para el hidromasaje	Jaccuzy serie Laser LA160	Filtrar suciedad proveniente del hidromasaje.	7 funciones, dímetro de entrada y salida de 2pulg, 30 GPM.	-Revisar funciones en el literal 3.4.4. - Mayor información http://bit.ly/1n0wzXg
Blower para hidromasaje	---------- c-2000	Formar burbujas por medio de inyección de aire a presión.	240 VAC, 5.5 A, 2HP, salida de aire 1.5pulg, filtro integrado, 186.9 [m^3/h], 4.34PSI.	

Tabla 3.3 Componentes para control de temperaturas de confort 2 de 2

A continuación se amplía la información de algunos componentes:

3.4.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Para gobernar el sistema se opta por el controlador lógico programable KOYO DL06-AR que se muestra en la Figura 3.15. Se elige este PLC ya que es de fácil manejo y cuenta con las entradas y salidas que se van a requerir, además consta de 4 ranuras para módulos adicionales.

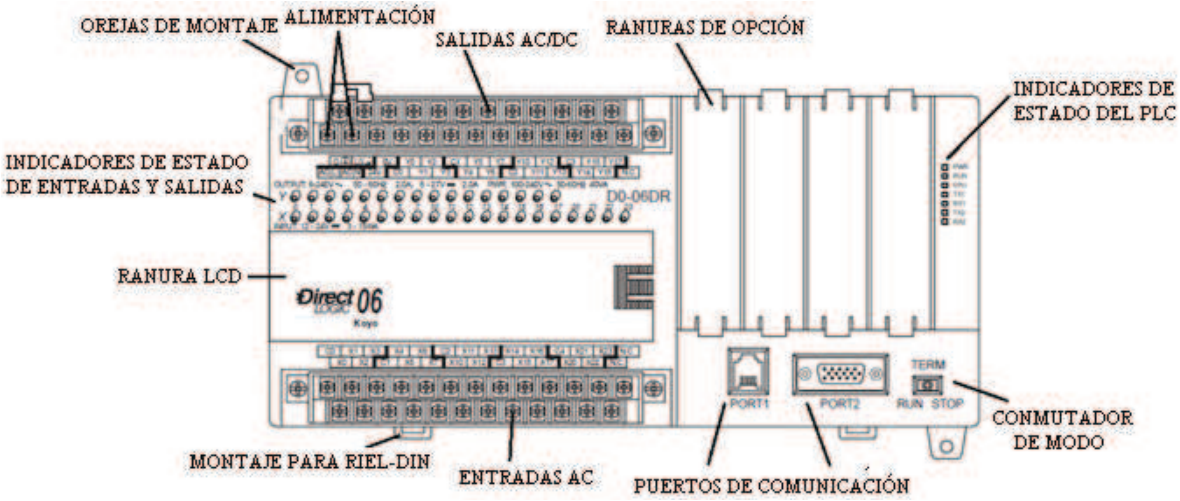


Figura 3.15 PLC KOYO DL06-AR [12]

3.4.1.1. Características principales

- Entradas discretas AC.
- Salidas de relé.
- Alimentación de 90-240 VAC.
- Programación ladder RLL y RLLPLUS que combina etapas y ladder.
- Programable por DirectSOFT o programador portátil.
- 4 ranuras para módulos opcionales.
- Comunicación tipo RS-232 o RS-485 para ASCII, Modbus RTU, Direct-net y K-secuence.
- Set de 229 instrucciones incluyendo 8 lazos PID con auto sintonía.
- 14,8kbits de memoria total.

3.4.1.2. Conexiones

En la Figura 3.16 se muestran las conexiones de las entradas y salidas del PLC.

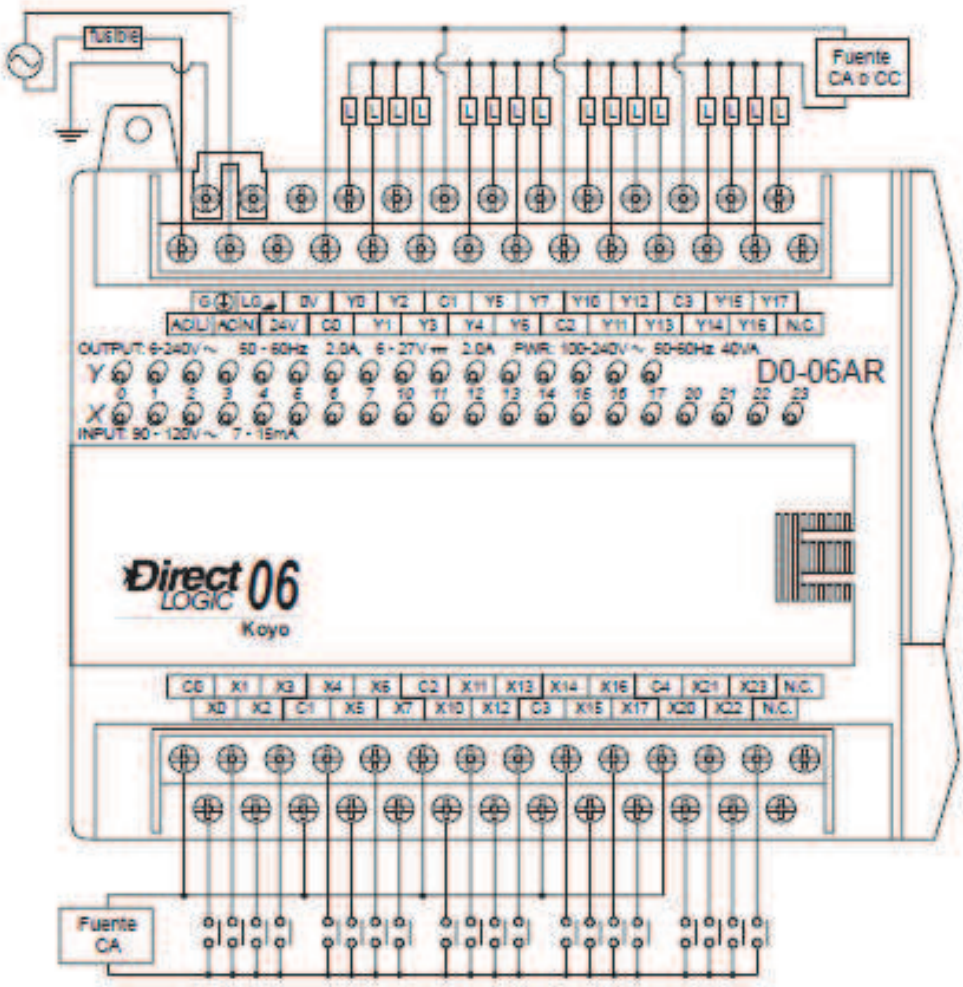


Figura 3.16 Conexiones de entradas y salidas del PLC Koyo DL06 [12]

3.4.2. TRANSMISORES DE CORRIENTE

En la Figura 3.17 se muestra la conexión del RTD al transmisor y del éste al módulo de entradas analógicas, donde R es mayor o igual a 250 Ω y sirve para protección de sobrevoltaje al módulo del PLC.

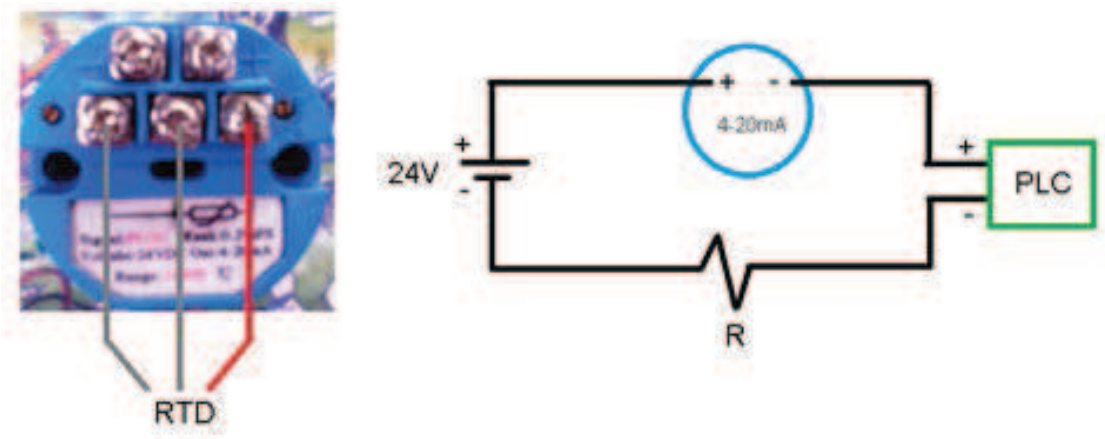


Figura 3.17 Conexiones del transmisor de corriente y RTD

3.4.3. FUNCIONES DEL FILTRO DE LA PISCINA

- Filtro: para filtrado o aspirado normal.
- Lavado inverso: para limpieza de filtro.
- Drenaje: para bombear o aspirar directo al drenaje.
- Enjagüe: para usar luego de lavado inverso y llevar cualquier suciedad al drenaje.
- Prueba: evita retorno de flujo de la piscina durante el mantenimiento de la bomba.
- Recirculación: no filtra, se usa para dar mayor presión.

3.4.4. FUNCIONES DEL FILTRO DEL HIDROMASAJE

- Filtro: para filtrado o aspirado normal.
- Lavado inverso: para limpieza de filtro.
- Drenaje: para bombear o aspirar directo al drenaje.
- Hibernación: sacar aire o cebar la bomba.

- Enjagüe: para usar luego de lavado inverso y llevar cualquier suciedad al drenaje.
- Prueba: evita retorno de flujo de la piscina durante el mantenimiento de la bomba.
- Whirlpool: no filtra, se usa para dar mayor presión.

3.5. TABLEROS DE CONTROL Y PROTECCIÓN

Para este proyecto se implementan dos tableros: un tablero para el control general del sistema y un tablero secundario para la protección del alimentador principal.

El tablero general de control está construido con lámina de tol de 2mm de espesor, con dimensiones de 60x40x30 cm, y cubierto con pintura anticorrosiva. Su función principal es la de albergar y proteger contra el ingreso de polvo y agua, los dispositivos de control, maniobra y protección que forman parte del sistema eléctrico y de control.

Los componentes instalados en este tablero de control y sus principales características se indican en la Tabla 3.4.

COMPONENTE	CANT.	CARACTERÍSTICAS	FUNCIÓN
PLC	1	Indicadas en el literal 3.3.1.1.	Control general.
Contactores electromagnéticos	5	Tripolar Ie: 10 A-AC3 Uc: 110 VAC	Accionamiento de bombas, quemador y blower.
Relés electromagnéticos	3	Contactos: 2NA+2NC 6 A, 110 VAC(resistiva) Uc:110VAC	Accionamiento de electroválvulas.
Disyuntores de protección	7	Unipolar 10 A, 250V	Protección de circuitos de fuerza de bombas y quemador.
Disyuntores de protección	2	Unipolar 6 A, 250 V	Protección del circuito de fuerza del blower.

Relés térmicos de bimetal	3	Tripolar 9-14 A	Protección de sobrecarga de las bombas.
Relés térmicos de bimetal	2	Tripolar 6-12 A	Protección de sobrecarga del quemador y blower.
Portafusibles y fusibles	4	4 A, 250 V	Protección a punto común del PLC.
Portafusibles y fusibles	3	2 A, 250 V	Protección para las válvulas solenoides.
Portafusibles y fusibles	3	1 A, 250 V	Protección de circuitos de control.

Tabla 3.4 Características de equipos para el tablero

En la parte frontal del tablero de control está instalado el panel de mando y señalización, además de una pantalla LCD y un teclado.

La vista interior del tablero de control se ilustra en la Figura 3.18.

El tablero secundario, ilustrado en la Figura 3.19, contiene el disyuntor de la acometida principal (50 A, 250 V), la Electrosonda para controlar el nivel de agua en el tanque de condensado, un fusible para la protección del circuito de la Electrosonda, y un circuito derivado para luces y tomacorrientes de la sala de máquinas 1.

El complejo turístico proporciona 2 tableros para realizar el control del sistema de calefacción, se utiliza el tablero de 60 x 40 [cm] para ubicar el panel de interfaz con el operador y el control principal, así se muestra en la Figura 3.18. El tablero de menor tamaño se usa para la acometida principal, el sensor de nivel para el tanque de condensado y conexiones de un tomacorriente e iluminación para la casa de máquinas donde está ubicado el caldero, así se muestra en la Figura 3.19.

Véase el diseño de los tableros en el Anexo 3, donde se muestra la distribución de los elementos de control y protección.

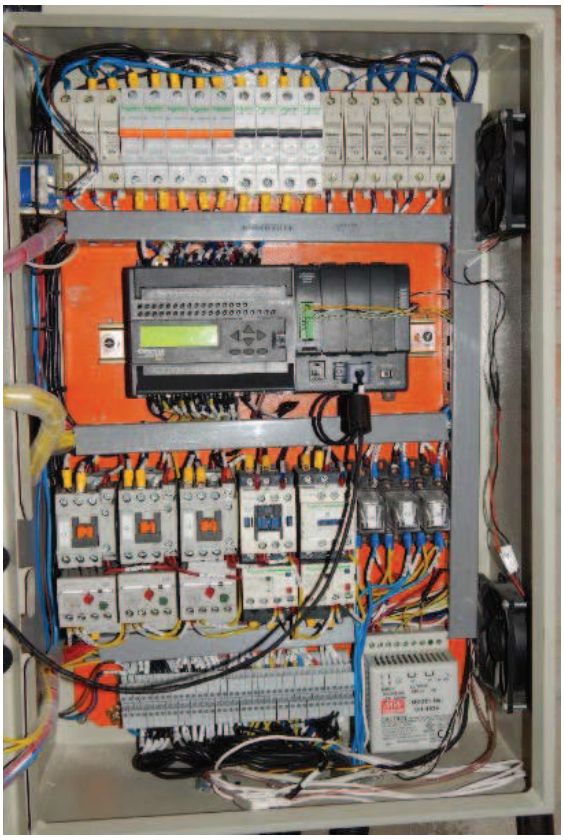


Figura 3.18 Vista interior del tablero de control

Figura 3.19 Vista interior del tablero secundario

3.5.1. CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA

El circuito de control es el que maneja los contactores y relés que gobiernan los diferentes actuadores del sistema de calefacción y la interfaz de usuario, como se muestra en la lámina 3 del ANEXO 2.

El circuito de fuerza, como se ve en la lámina 4 del ANEXO 1, alimenta cinco cargas: una de 110VAC monofásica y cuatro de 220 VAC bifásicas; sin embargo, se utilizan contactores y protecciones de sobrecarga tripolares ya que en el mercado no se dispone de 2 polos. Las bombas, además de las protecciones indicadas en el circuito de fuerza, tienen en sus terminales protecciones de sobrecarga mecánicos, al igual que el motor del quemador.

3.5.2. INTERFAZ CON EL OPERADOR

Para visualizar lo que pasa en el proceso de calefacción es necesario que las luces piloto y los pulsadores de mando se ubiquen en un esquema simplificado, que abarque todos los sensores y actuadores de la planta. Se complementa este panel de interfaz de usuario con una pantalla que despliega información sobre el uso del sistema y sus alarmas; además, de un teclado que realiza las acciones que no se puedan ejecutar por los elementos antes indicados.

La interfaz de usuario, panel de mando y visualización, está ubicada en la parte frontal del tablero de control, como se muestra en la Figura 3.21.

La conexión de las luces piloto y pulsadores de mando se muestran en el circuito de control (lámina 3 del ANEXO 2); un microcontrolador opera la pantalla LCD y el teclado, además de comunicarse con el PLC complementando las acciones de control y visualización, como se muestra en la Figura 3.20.

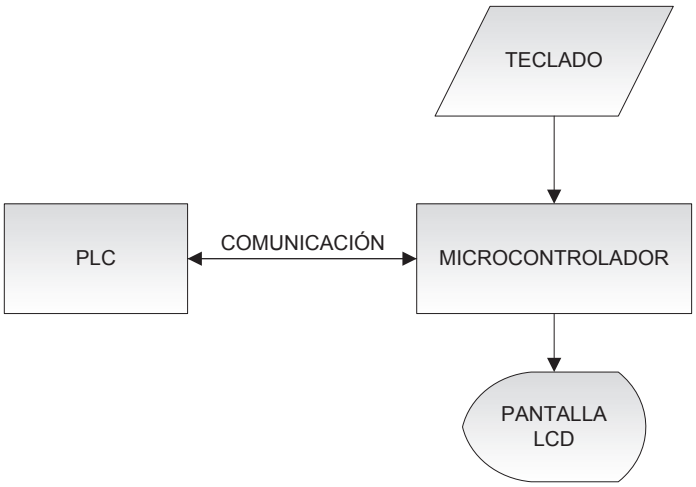


Figura 3.20 Funciones del microcontrolador

Figura 3.21 Panel del mando y visualización

3.5.2.1. Comunicación.

Para identificar la mejor estrategia de comunicación entre el PLC y el microcontrolador, que permita la transferencia de datos entre ambos componentes, es necesario analizar los puertos y protocolos de comunicación disponibles en cada controlador, lo que se realiza a continuación:

3.5.2.1.1. En el PLC KOYO DL06-AR

Existe la posibilidad de utilizar tres interfaces de comunicación con este controlador RS-232, RS-422 y RS-485, para lo cual se tiene acceso a dos puertos: el puerto 1 con conector RJ12 y el puerto 2 con conector DB15.

Los protocolos de comunicación disponibles son los mostrados en la Tabla 3.5.

Protocolo	Maestro	Esclavo	Puerto1	Puerto2	RS-232	RS-422	RS-485
K-sequence	No	Si	Si	Si	Si	Si	No
DirectNET	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
MODBUS RTU	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ASCII	----	----	no	Si	Si	Si	No

Tabla 3.5 protocolos de comunicación PLC

El puerto1 trabaja solamente como esclavo y es RS-232c, con parámetros fijos de comunicaciones de 9600 kbps, 8 bits de datos, 1 bit de partida, 1 bit de parada, paridad impar y dirección de estación 1. Es un puerto DTE asincrónico, half-duplex y selecciona automáticamente entre los protocolos KSequence, ***Direct***NET and MODBUS RTU.

La transmisión en este controlador solo puede ser Half-Duplex, lo que quiere decir que transmite en ambas direcciones pero no simultáneamente.

Para el presente proyecto se utiliza comunicación ASCII, y sus características principales se muestran a continuación:

- Half-duplex

- Niveles de voltaje para comunicación bit en bajo [3; 15] V y bit en alto [-3; -15] V.
- 1 star bit.
- 7 bits de datos.
- 1 bit de parada.

En la Figura 3.22 se muestra la trama del protocolo ASCII.

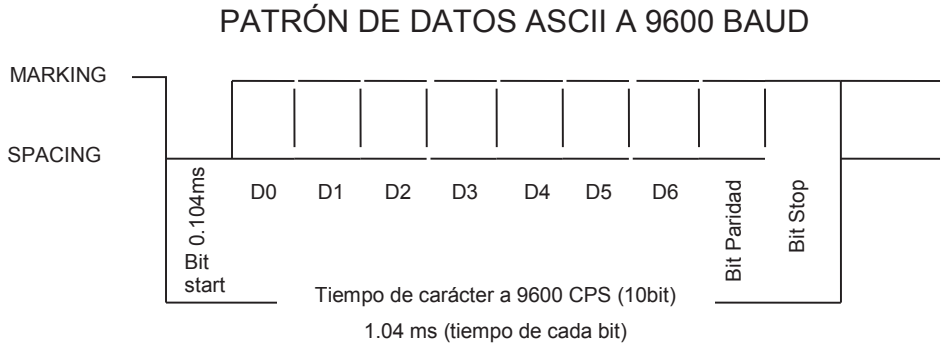


Figura 3.22 Protocolo ASCII

3.5.2.1.2. En el microcontrolador ATMEGA8

Los rangos de voltaje de comunicación son TTL lo que quiere decir 0 a 5 Vdc.

Los protocolos de comunicación son:

- SPI (serial peripheral interface) trabaja con Full-Duplex y transferencia de datos de tres cables sincrónica, además de trabajar como maestro o esclavo.
- USART (universal synchronous and asynchronous serial receiver and transmite registers) trabaja con Full-Duplex, con registros independientes de recepción y transmisión, sincrónico o asincrónico, como maestro o esclavo en operación sincrónica.
- TWI (two wire serial interface) necesita solo dos cables, puede operar como maestro o esclavo, puede recibir o transmitir datos, esta comunicación también es conocida como I2C.

Para el presente proyecto se utiliza comunicación USART, y sus características principales se muestran a continuación:

- Registros independientes de entrada y salida.
- Niveles de voltaje para comunicación TTL bit en bajo 0V y bit en alto 5V.
- 1 star bit.
- 5,6,7 o 9 bits de datos.
- 1 o 2 bits de parada.

En la Figura 3.23 se muestra la trama del protocolo USART.

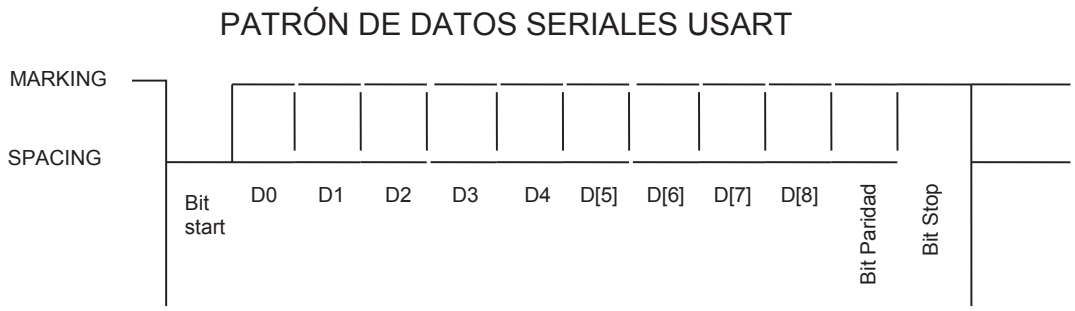


Figura 3.23 Protocolo USART

3.5.2.2. Diseño del hardware para la pantalla y teclado.

Para manejar la pantalla y el teclado se utiliza los siguientes elementos:

- Microcontrolador Atmega8, que realiza el control de la pantalla y teclado, además de la comunicación con el PLC.
- LCD de 16x2 para la pantalla.
- 5 pulsadores normalmente abiertos que forman parte del teclado.
- Circuito de comunicación, constituido principalmente por un MAX232 debido a que el PLC maneja voltajes según el estándar RS-232, RS-422 y RS-485.
- Fuente de voltaje regulada de 5 [Vdc], compuesta principalmente por un regulador de voltaje 7805 y un puente de diodos.

Los circuitos realizados en PROTEUS ISIS para comunicación, operación de la pantalla y el teclado se muestran en la Figura 3.24. Los circuitos impresos se labran sobre placas de baquelita como se muestran en la Figura 3.25. Las placas son de doble lado con antisolder y scrim para obtener un producto de mayor calidad y durabilidad.

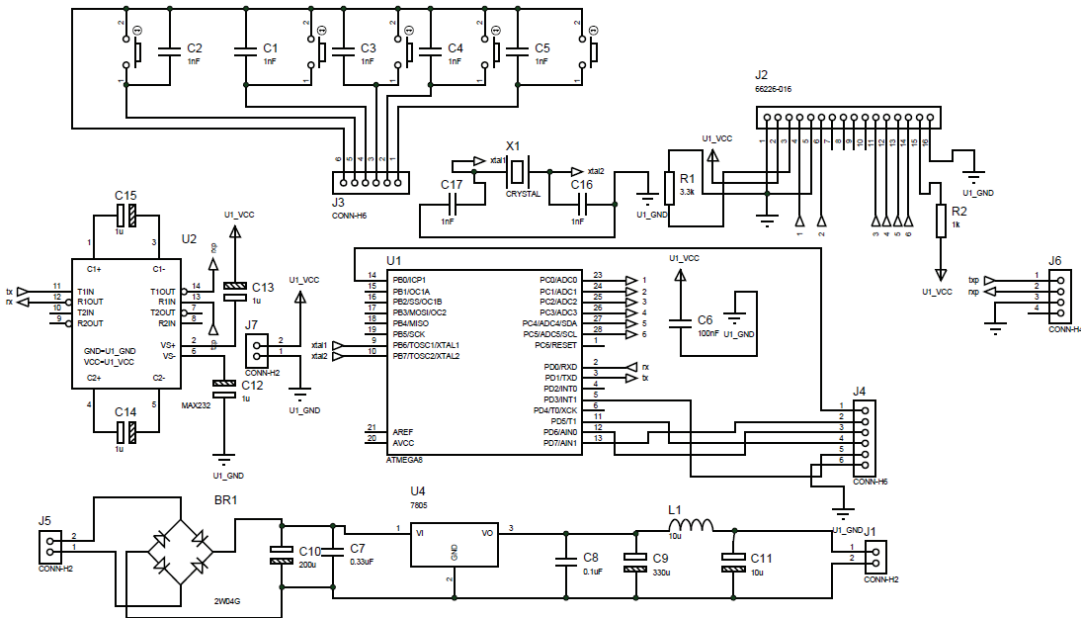


Figura 3.24 Circuito pantalla y el teclado

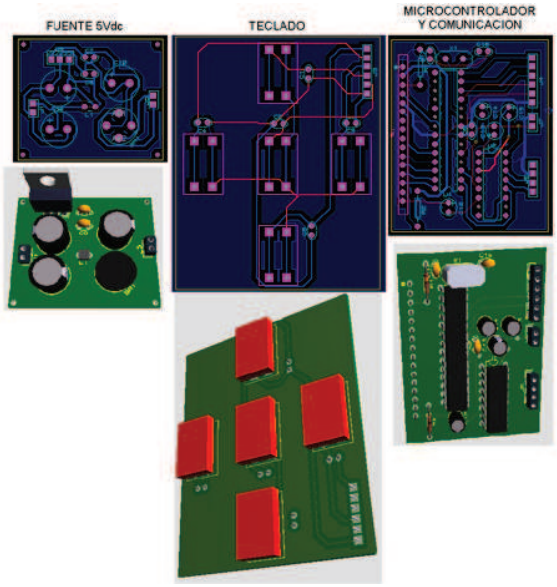


Figura 3.25 Placas pantalla y teclado

3.5.2.3. Desarrollo del software para la pantalla y teclado

Para el desarrollo del software se recurre al programa BASCOM-AVR que facilita la programación del Microcontrolador ATMEGA8.

Las funciones programadas en el microcontrolador son: establecer comunicación con el PLC para enviar o recibir datos tales como: mostrar datos en el LCD e interactuar con el teclado.

En el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.26, se puede observar el programa general del microcontrolador.

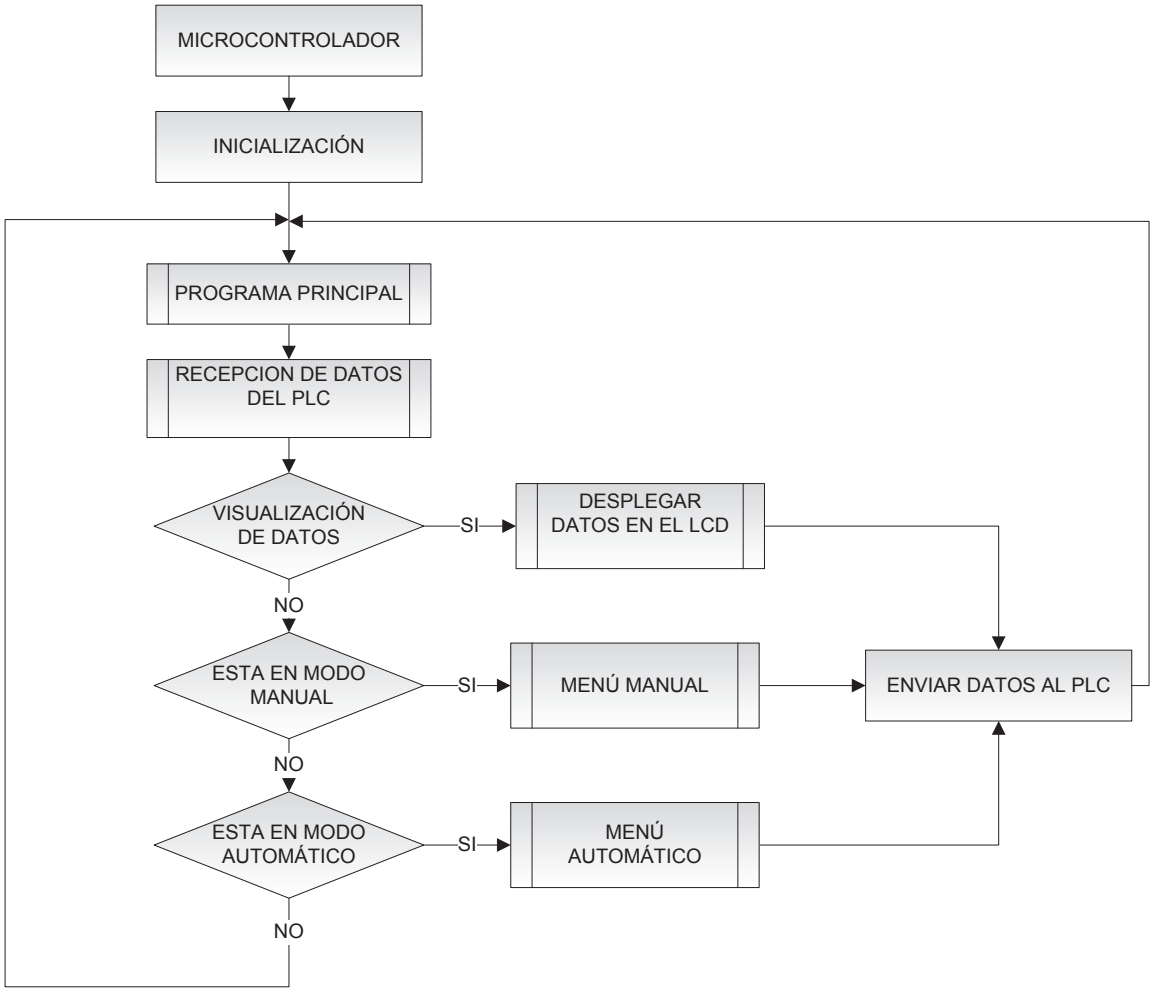
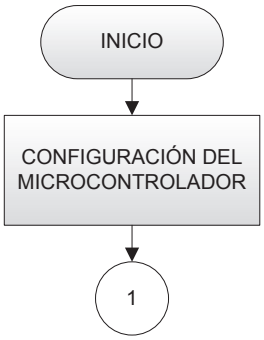


Figura 3.26 programa general del microcontrolador

3.5.2.3.1. Inicialización

En la Figura 3.27, se muestra la estructura inicial del programa la cual realiza las siguientes acciones:

- Configuración del Microcontrolador: definición del tipo de controlador (ATMEGA8) y la frecuencia del cristal (8MHz).
- Configuración del LCD: tipo de LCD (16x2), número de cables para bus de datos (4) y los pines del Microcontrolador para manejar el LCD.
- Configuración para la comunicación: configuración del puerto serial USART (baud rate de 9600 bps, modo asincrónico, sin paridad, 1 bit de parada, 7 bits de datos y activo la interrupción de recepción de datos).
- Declaración de variables: definición del nombre y el tipo de variables.
- Configuración de puertos: definición de puertos (entradas y salidas) y configuración de entradas de teclado (con PULL UP).
- Inicialización de variables: se determina un valor inicial a las variables que lo requieran.
- Programa principal: se recibe del PLC el modo de operación (manual o automático), según el cual se ejecuta las tramas correspondientes o solo se muestra en el LCD lo que envía el PLC.



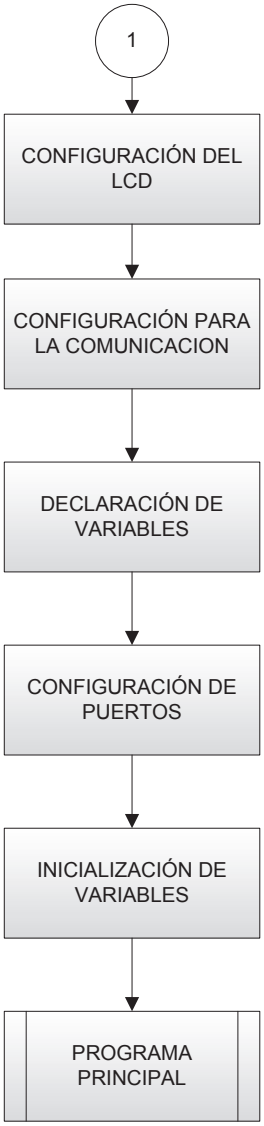


Figura 3.27 Inicialización del Microcontrolador

3.5.2.3.2. Programa principal

En la Figura 3.28, se muestra el programa principal el mismo que se explica a continuación:

Interrupción de comunicación: cuando el PLC envía datos al microcontrolador, éste entra a una subrutina donde se toma y guarda lo recibido.

Para que el microcontrolador muestre en el LCD lo recibido por comunicación, el PLC mediante comunicación ASCII envía como dato inicial el número 1 (49 en decimal), y así ingresa a la subrutina DESPLIEGA DATOS.

Si como dato inicial el PLC envía un 2 (50 en decimal) y como segundo transmite: M el microcontrolador entra a la subrutina MANUAL, o A ingresa a la subrutina AUTOMÁTICO.

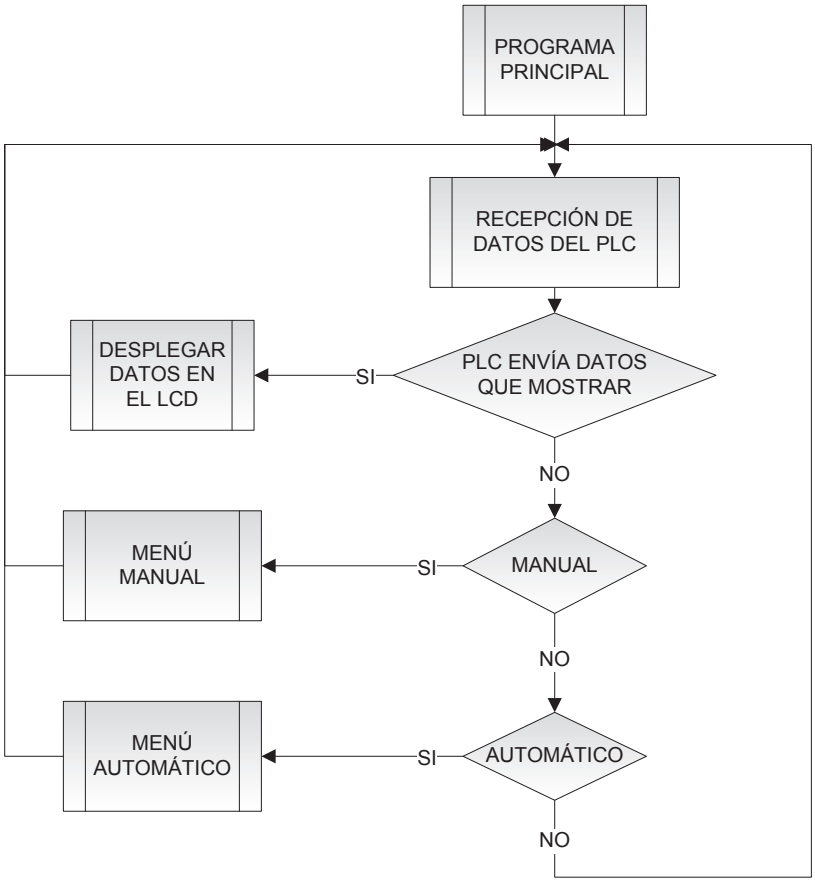


Figura 3.28 Programa principal

3.5.2.3.3. Recepción de datos del PLC (Interrupción de comunicación)

En la Figura 3.29, al recibir un dato el microcontrolador entra en la subrutina de interrupción de comunicación, la cual se explica a continuación:

El primer dato recibido es guardado, si éste está definido en el programa principal, el resto de datos se guarda en un arreglo ASCII. Si el primer dato no es para mostrar lo recibido o elegir modo de operación; entonces el siguiente dato que entre será tomado como el primero.

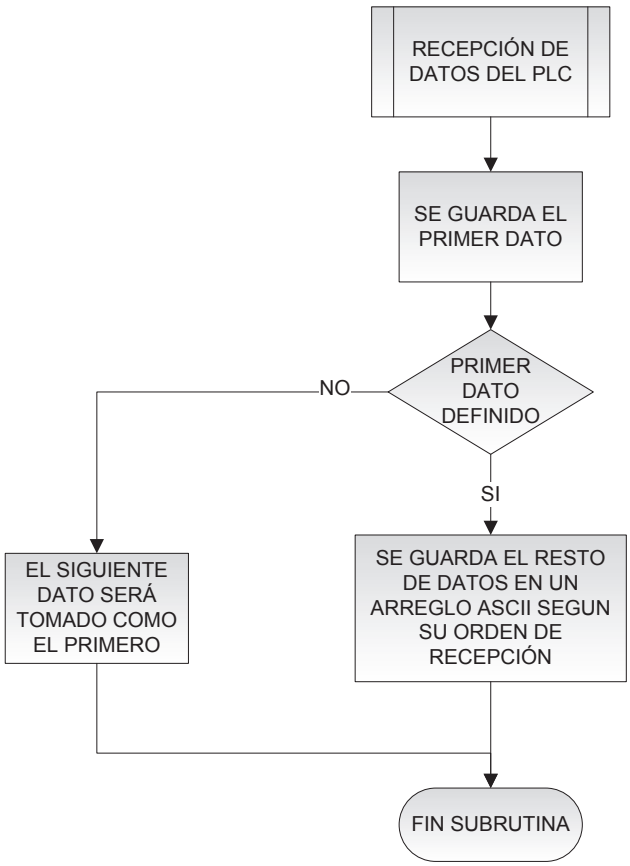


Figura 3.29 Subrutina de recepción de datos del PLC

3.5.2.3.4. Desplegar datos en el LCD

En la Figura 3.30, se observa la subrutina para mostrar los datos enviados desde el PLC en el LCD, la trama se explica a continuación:

Se imprime los 16 primeros datos del arreglo ASCII en la primera fila del LCD y los siguientes 16 en la segunda fila, este arreglo fue guardado mediante la subrutina mostrada en la Figura 3.25.

Si el PLC envía más de 32 datos, el dato 33 es tomado como el primero y si no es un dato inicial reconocido el siguiente es identificado como primero, hasta que éste sea definido en el programa principal no se realiza acción alguna.

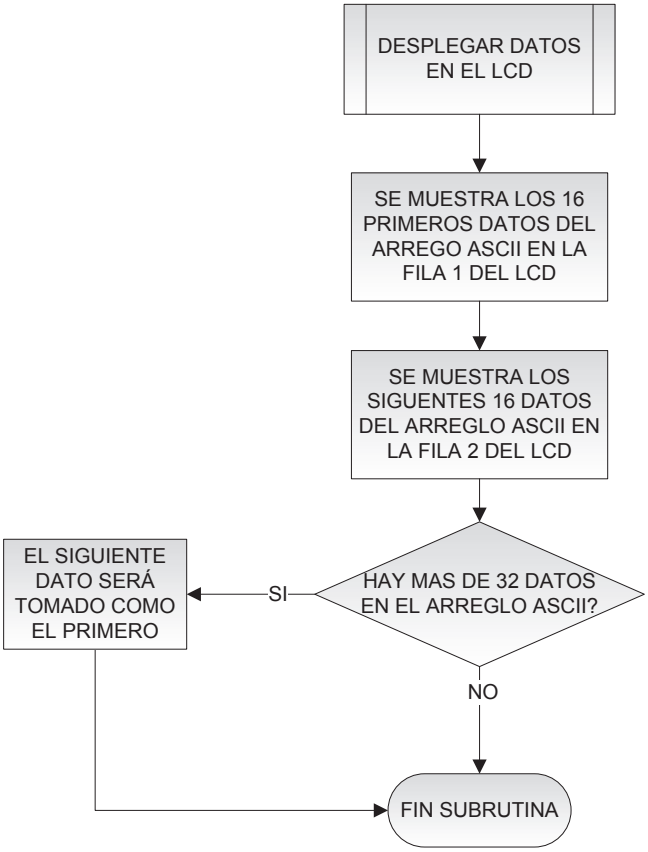


Figura 3.30 Subrutina para mostrar datos enviados por el PLC

3.5.2.3.5. Menú manual

En la Figura 3.31 y 3.32, se muestra el modo de operación manual y su trama se explica a continuación:

Se imprime en la fila 1 del LCD “MANUAL” y en la segunda fila “ABAJO=MENÚ”, esto indica al operador que se encuentra en modo manual del sistema de control.

Cada vez que se presiona la tecla (↓) se muestra una pantalla diferente a la anterior, aparecen 4 pantallas, las cuales indican al operador lo que se debe hacer para realizar alguna acción requerida, si se presiona 5 veces (↓) vuelve al inicio.

A continuación se muestra como actúa el teclado para el modo manual:

TECLA:	ACCIÓN DEL PLC:
→	Abre válvula del intercambiador de la piscina
←	Abre válvula del intercambiador del hidromasaje
←I	Abre válvula de alimentación del baño turco
↑	Cierra válvula del baño turco

Para cerrar las válvulas de los intercambiadores de calor de la piscina y el hidromasaje se presiona el pulsador de paro OFF de sus respectivas bombas.

Para completar la idea revisar el diagrama de flujo del PLC.

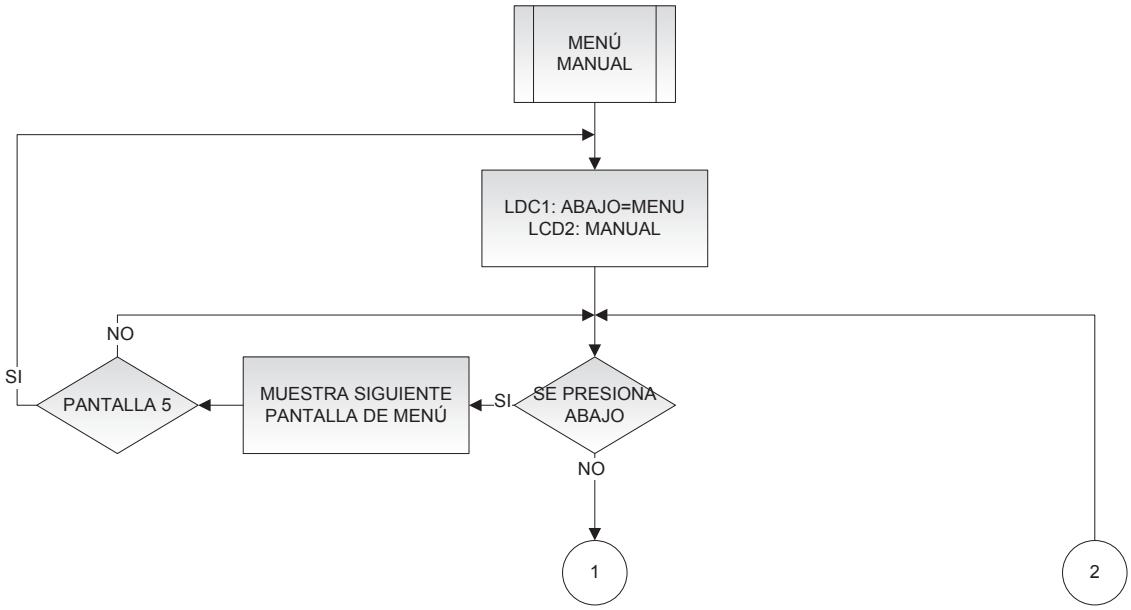


Figura 3.31 Menú manual 1 de 2

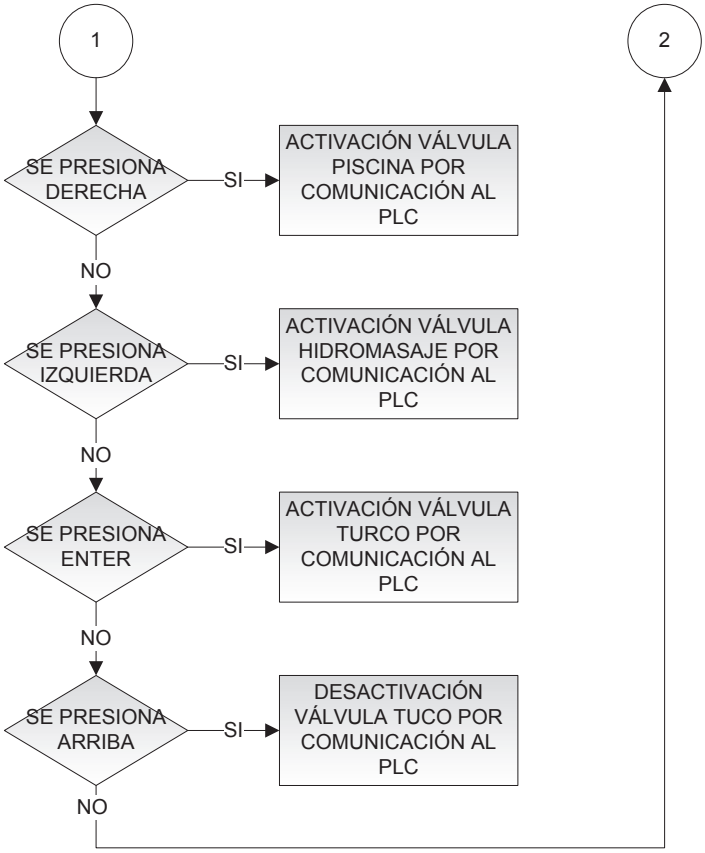


Figura 3.32 Menú manual 2 de 2

3.5.2.3.6. Menú automático

En la Figura 3.33 y 3.34, se muestra el modo de operación automático y su trama se explica a continuación:

Se imprime en la fila 1 del LCD “AUTOMÁTICO” y en la segunda fila “ABAJO=MENÚ”, esto indica al operador que se encuentra en modo automático del sistema de control.

Cada vez que se presiona la tecla (↓) se muestra una pantalla diferente a la anterior, aparecen 4 pantallas, las cuales indican al operador lo que se debe hacer para realizar alguna acción requerida, si presiono 5 veces (↓) vuelvo al inicio.

A continuación se muestra como actúa el teclado para el modo automático:

TECLA:	ACCIÓN:	Se presiona ←I
→	El PLC envía las temperaturas de las cargas térmicas y son mostradas en el LCD	Vuelve a la pantalla principal
←	Se muestran los valores de temperaturas, tiempos de activación y si lo requiere, tiempo de apagado total de los actuadores del sistema de control.	Vuelve a la pantalla principal
←I por 4 segundos	El PLC pide variables para el control del turco	Se envía las variables programadas.
↑	Se desactiva la válvula del baño turco	----------
←I + ↑	El PLC pide variables para el tiempo de apagado total.	Se envía las variables programadas.

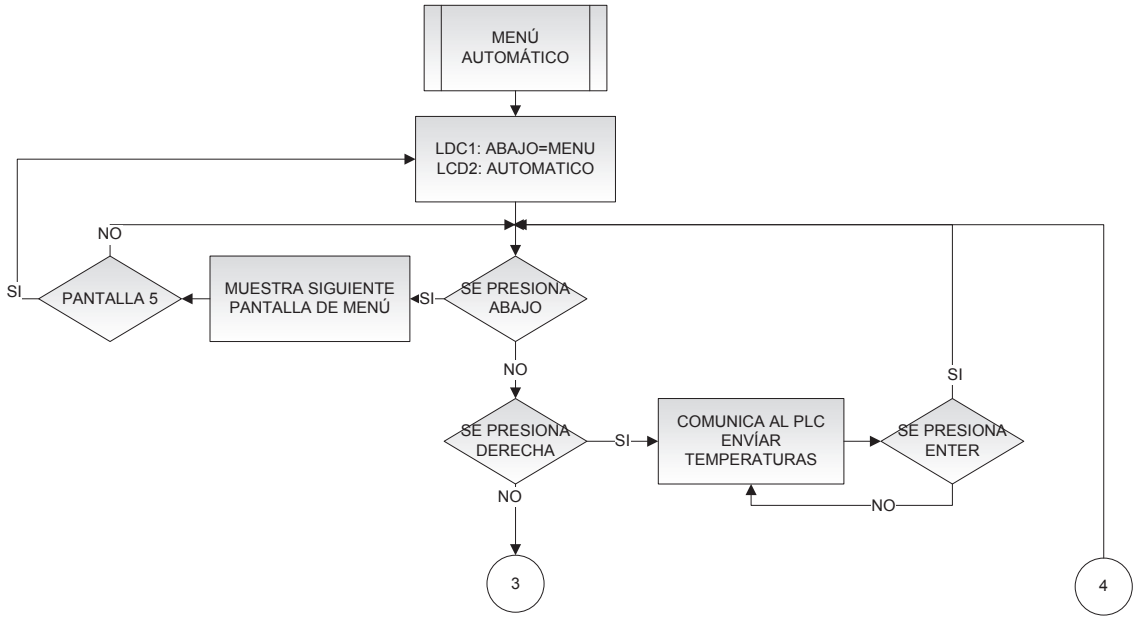


Figura 3.33 Menú automático 1 de 2

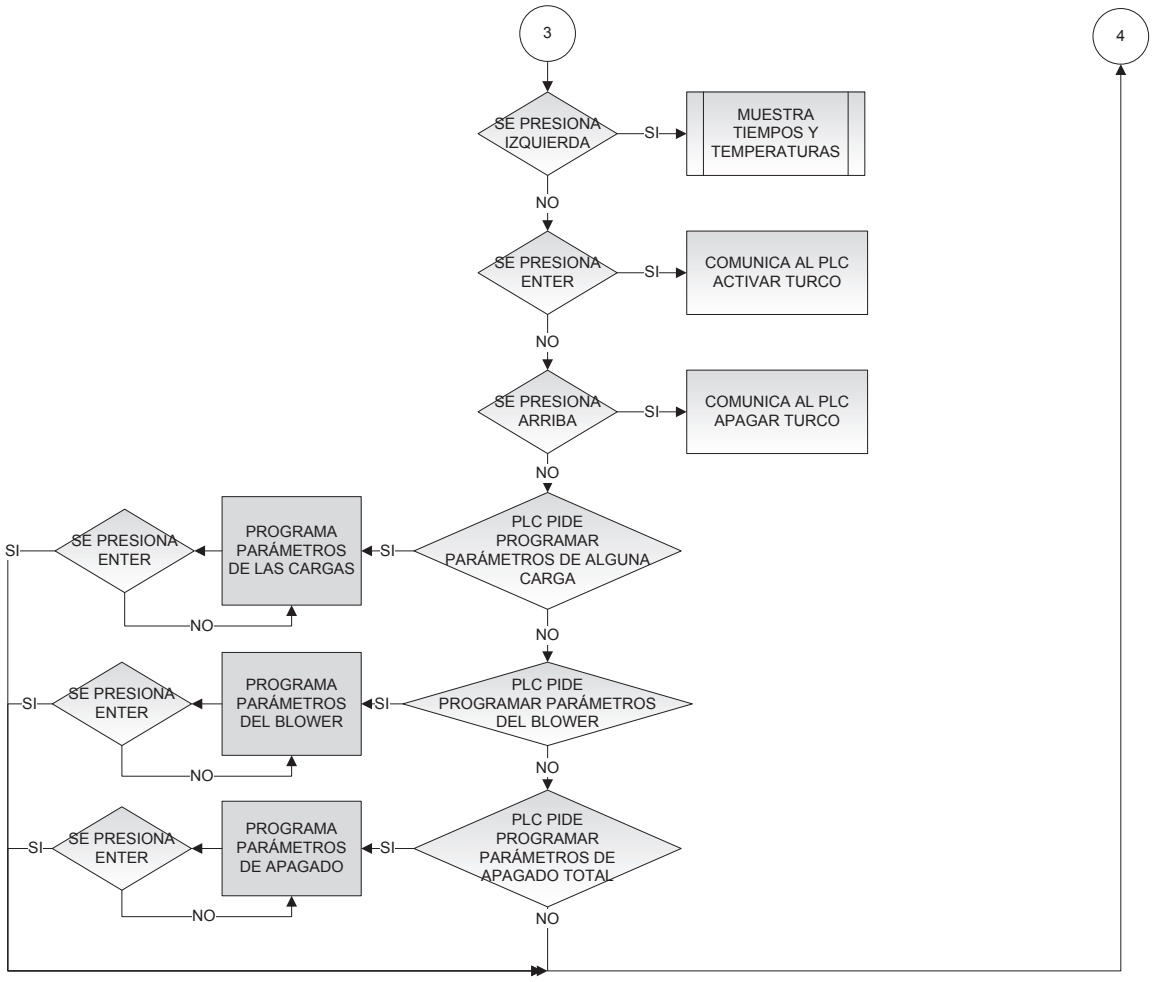


Figura 3.34 Menú automático 2 de 2

3.6. CONTROL DE TEMPERATURA EN LAS CARGAS

Para controlar las temperaturas se necesita manipular el paso de vapor a los intercambiadores de calor y al baño turco, lo cual se realiza por medio de válvulas solenoides.

En el caso de los intercambiadores de calor, el vapor se condensa luego de transmitir calor hacia el flujo de agua y el líquido resultante cae en el tanque de condensado y retorna hacia el caldero, si éste lo requiere.

Cuando el vapor va directamente a la carga, éste se condensa allí y no retorna al caldero.

Los actuadores son las válvulas solenoides y los sensores para realimentación son los RTD's, como se muestra en la Figura 3.35.

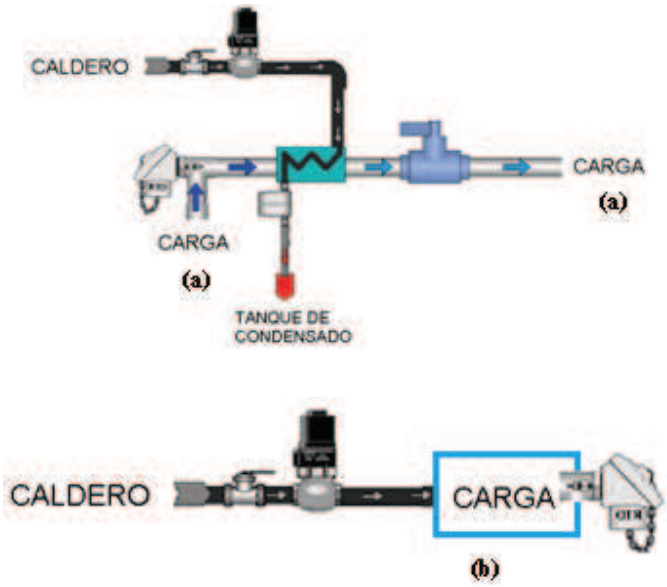


Figura 3.35 Actuador y sensor de: (a) piscina e hidromasaje (b) baño turco

3.6.1. TEMPERATURAS DE CONFORT

El objetivo de este proyecto es llegar a las temperaturas de confort y mantenerlas en los espacios físicos del complejo turístico, específicamente en la piscina, hidromasaje y turco.

Temperatura de confort se puede definir, como aquella a la cual el cuerpo humano reacciona favorablemente para lograr un estado de bienestar y relajación.

Los baños de agua o vapor a una temperatura específica ayuda a la relajación, expulsión de toxinas del organismo y tratamiento terapéutico, en la Tabla 3.6 se muestran estos efectos.

TEMPERATURAS	EFECTO EN EL CUERPO
1-13 [°C]	ESTIMULANTES Y TÓNICAS
13-18 [°C]	
18-30 [°C]	SEDANTES
30-35 [°C]	
35-36 [°C]	
36-40 [°C]	SEDANTES, RELAJANTES Y ANALGÉSICAS
40-46 [°C]	

Tabla 3.6 Temperaturas y efectos [13]

En base a lo anteriormente señalado, en la Tabla 3.7 se muestran las temperaturas que se recomiendan para los tres espacios físicos del complejo turístico "El Molino", además de indicar los rangos de temperaturas preferidos por los usuarios y entre los cuales puede escoger, una el operador.

	T. RECOMENDADA	T. PREFERIDA POR USUARIOS	RANGOS PROGRAMABLE
PISCINA	27 [°C]	27 [°C]	25-33 [°C]
HIDROMASAJE	38-40 [°C]	36-40 [°C]	35-45 [°C]
TURCO	46 [°C]	46-50 [°C]	40-70 [°C]

Tabla 3.7 Temperaturas en las cargas

3.6.2. TIPO DE CONTROL PARA CADA CARGA

3.6.2.1. Piscina.

En este espacio físico la variación de temperatura es demasiado lenta, por lo que se realizara un control on/off con realimentación. El lazo de control se muestra en la Figura 3.36 y el tiempo de muestreo es cada 2 ½ [minutos].

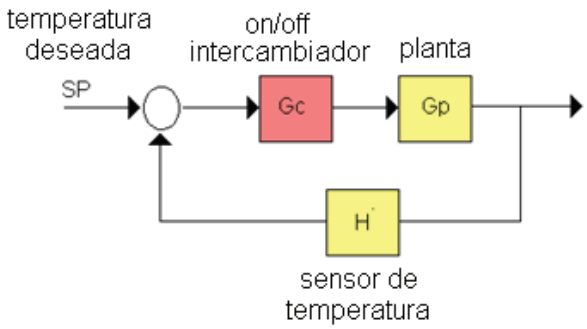


Figura 3.36 Lazo de control para piscina

En este control se utiliza una temperatura determinada por el operador, hasta la cual se debe calentar el agua de la piscina (temperatura máxima); cuando baja un grado desde este punto, se vuelve a activar el proceso de calentamiento (se envía vapor al intercambiador de calor).

3.6.2.2. Hidromasaje.

En este espacio físico no es necesario mantener una temperatura estable sino variable, por lo que se realiza un control on/off con realimentación. El lazo de control se muestra en la Figura 3.37 y su tiempo de muestreo es cada 30 [segundos], debido a que en éste tiempo cambia su temperatura de forma apreciable.

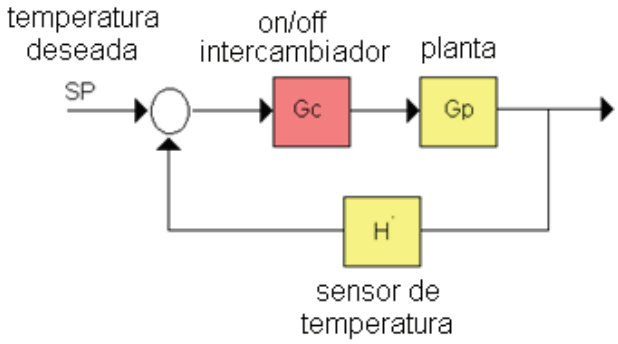


Figura 3.37 Lazo de control para hidromasaje

La variación que se recomienda, según los fisioterapeutas, es mayor a cuatro grados; pero, debido a que tanto el proveedor del servicio como los clientes prefieren una variación menor, se decide variar un grado la temperatura en el hidromasaje.

En este control se utiliza una temperatura determinada por el operador, hasta la cual se debe calentar el agua del hidromasaje; cuando baja un grado desde este punto, se vuelve a activar el proceso de calentamiento (se envía vapor al intercambiador de calor).

3.6.2.3. Turco.

Este espacio físico requiere una temperatura estable, la que varía a una velocidad apreciable, por lo que se realiza un control del tipo PI con un tiempo de muestreo de 6 [segundos], aplicando el método de Ziegler Nichols. Debido a que se utiliza una

válvula solenoide, se decide variar el tiempo de apertura y cierre de este actuador, por medio del control PI, en un periodo fijo de 30 [segundos], a esta técnica se la llama control PWM gobernada por un controlador PI.

3.6.2.3.1. Método de Ziegler Nichols.

Es una técnica empírica obtenida a través de numerosas pruebas, supone no conocer la planta a controlar o que el modelo matemático de ésta es muy complejo de obtener; en tal virtud, es mejor optar por el enfoque experimental que en su mayoría responde en forma creciente y monótona a una entrada escalón. Para aplicar este método se realiza una prueba en lazo abierto o en lazo cerrado.

Para fines de este proyecto se opta por la prueba en lazo abierto con el PWM activado al 50% del tiempo y se obtiene una respuesta mostrada en la Figura 3.38.

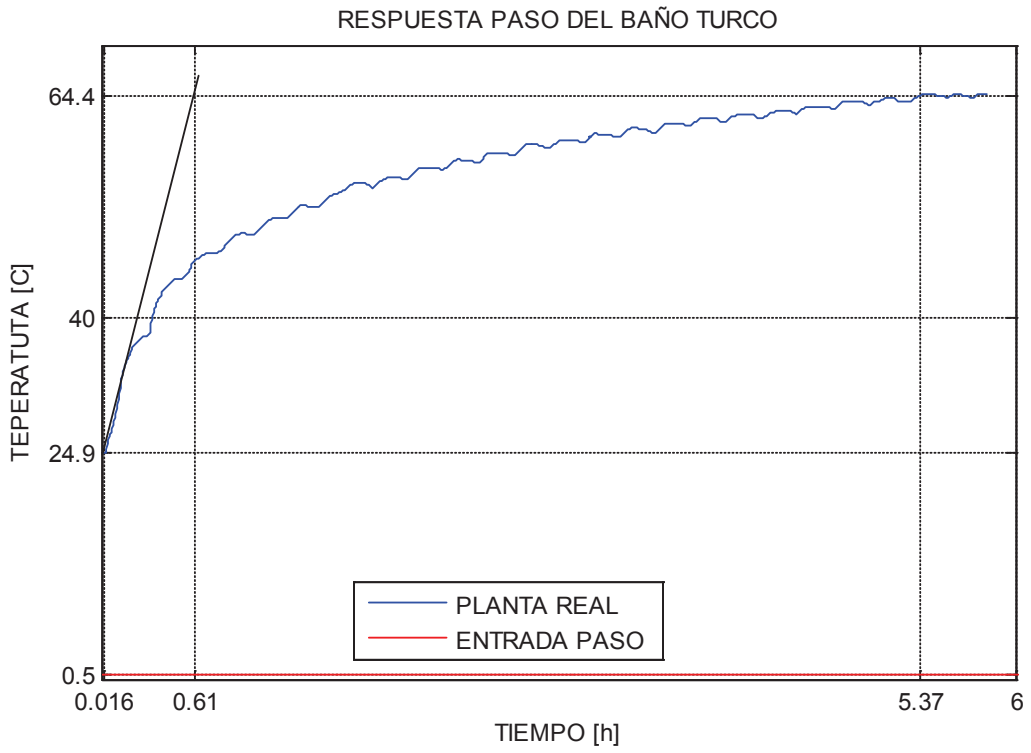


Figura 3.38 Prueba de respuesta en lazo abierto del baño turco

Luego de obtenido L y T gráficamente, se puede aproximar la función de transferencia de la planta con las siguientes ecuaciones:

$$G_P = \frac{K}{TS+1} * e^{-LS} \qquad Ecuación\ 3.1$$

$$K = (Mf - Mo)/0.5 \qquad Ecuación\ 3.2$$

$$K = (64.4 - 24.9)/0.5$$

$$K = 79$$

$$T = 0.61[h] = 2196[s] \qquad Ecuación3.3$$

$$L = 0.016[h] = 57.6\ [s] \qquad Ecuación3.4$$

$$G_P = \frac{79}{2196s+1} e^{-57.6s} \qquad Ecuación3.5$$

La planta tendrá la función de transferencia indicada en la Ecuación3.5 la cual se ingresa a la herramienta computacional MatLab y se compara con la planta real, como se muestra en la Figura 3.39.

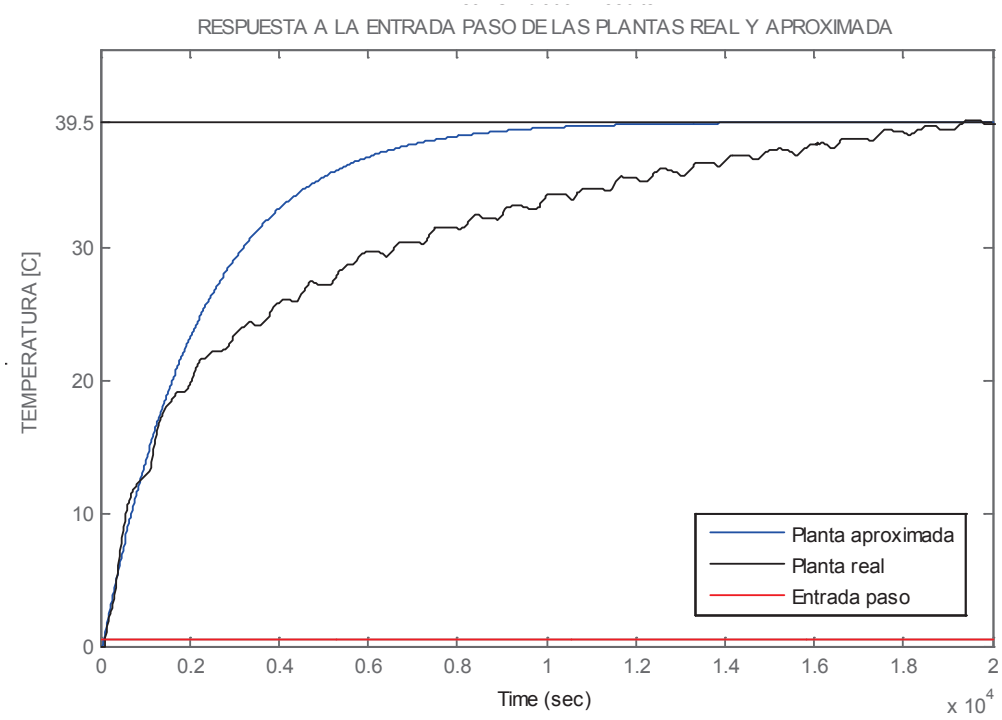


Figura 3.39 Respuesta de las plantas real y aproximada a una entrada paso.

En la gráfica mostrada se resta la temperatura ambiente a todos los datos tomados de la planta real y así se inicie en cero al igual que la planta aproximada.

Para el controlador se utiliza el modelo mostrado en la Ecuación 3.6.

$$G_C = Kp + \frac{ki}{s} \qquad \textit{Ecuación 3.6}$$

Mediante Ziegler Nichols se tiene las ecuaciones necesarias para la sintonización del controlador, lo que se expresa en la Tabla 3.8.

CONTROLADOR	Kp	Ki	Kd
P	T/L	0	0
PI	0.9*(T/L)	0.3/L	0
PD	1.2*(T/L)	1/(2*L)	0.5*L

Tabla 3.8 Parámetros según respuesta al escalón. Ziegler Nichols.

El controlador resultante, para la alimentación de vapor del baño turco, se muestra en la Ecuación 3.7.

$$G_C = 34.31 * (1 + \frac{1}{192 * s}) \qquad \textit{Ecuación 3.7}$$

Para optimizar el controlador utilizamos la herramienta del PLC llamada autotuning, de tal manera que el sistema en lazo cerrado para este sistema se ilustra en la Figura 3.40.

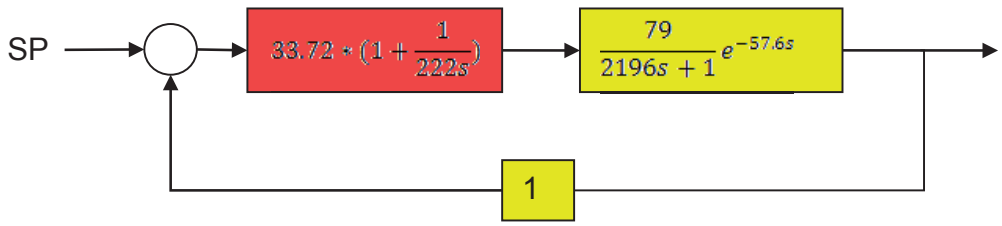


Figura 3.40 Sistema en lazo cerrado

3.6.2.3.2. Controlador PI en el PLC.

El PLC utilizado permite tener 8 lazos de control PID dentro de su programación, sin necesidad de ser programado en la lógica que se esté usando, solo se debe seguir los siguientes pasos:

- Conectar el PLC con el programa DirectSOFT 5.0.
- Ir a la pestaña llamada “PLC”, seleccionar “Setup” y seleccionar “PID” como se muestra en la Figura 3.41.

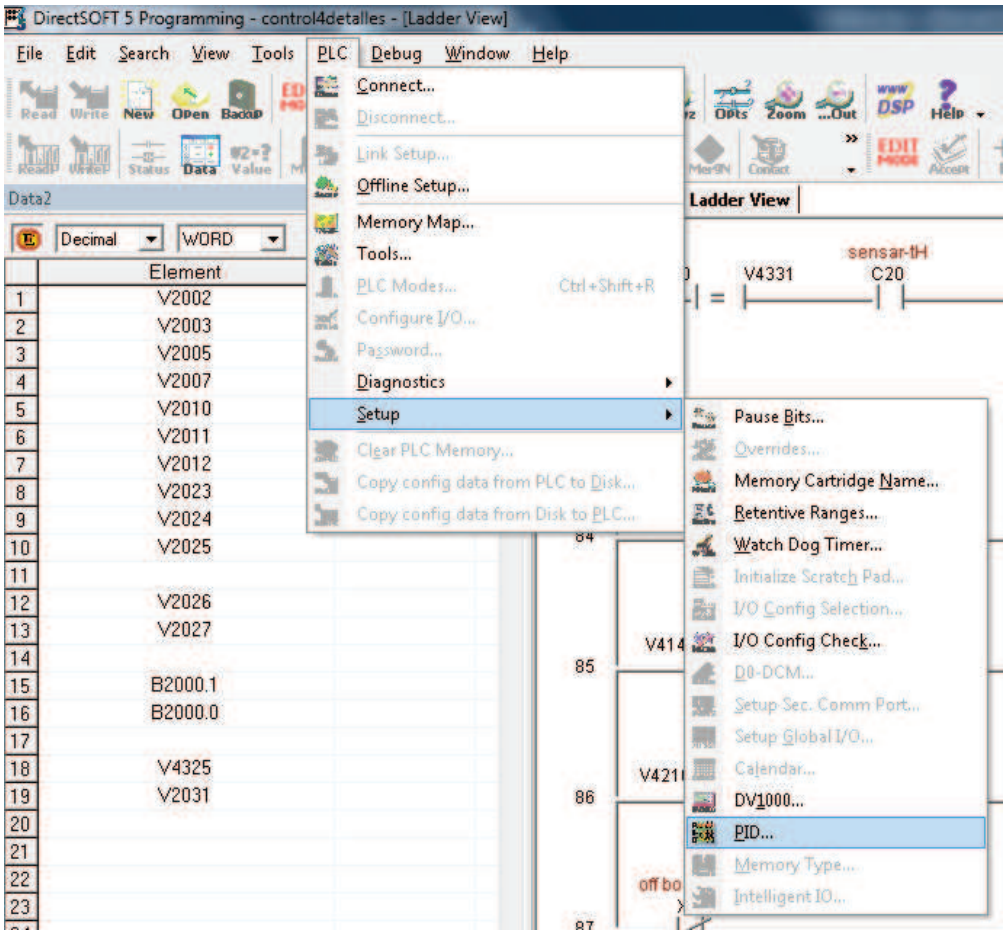


Figura 3.41 Programando PID en el PLC

- Configurar el controlador.
- En el programa realizar el cambio de modo manual a automático y viceversa.
- Por último guardar en el PLC.

3.6.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL PARA EL CONTROL DE TEMPERATURAS

Para concretar todo lo anteriormente mencionado se realiza la programación del PLC, basándose en un diagrama estructurado, en el cual se guía la programación. Así entonces se realiza el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.42 donde se observa el funcionamiento general del sistema.

Cada subrutina es un proceso independiente de las demás, esto se debe a que en el programa principal se selecciona el modo de operación manual o automático, los cuales constan de un proceso interno que recorre permanentemente todas las subrutinas de control sin importar su estado anterior o actual.

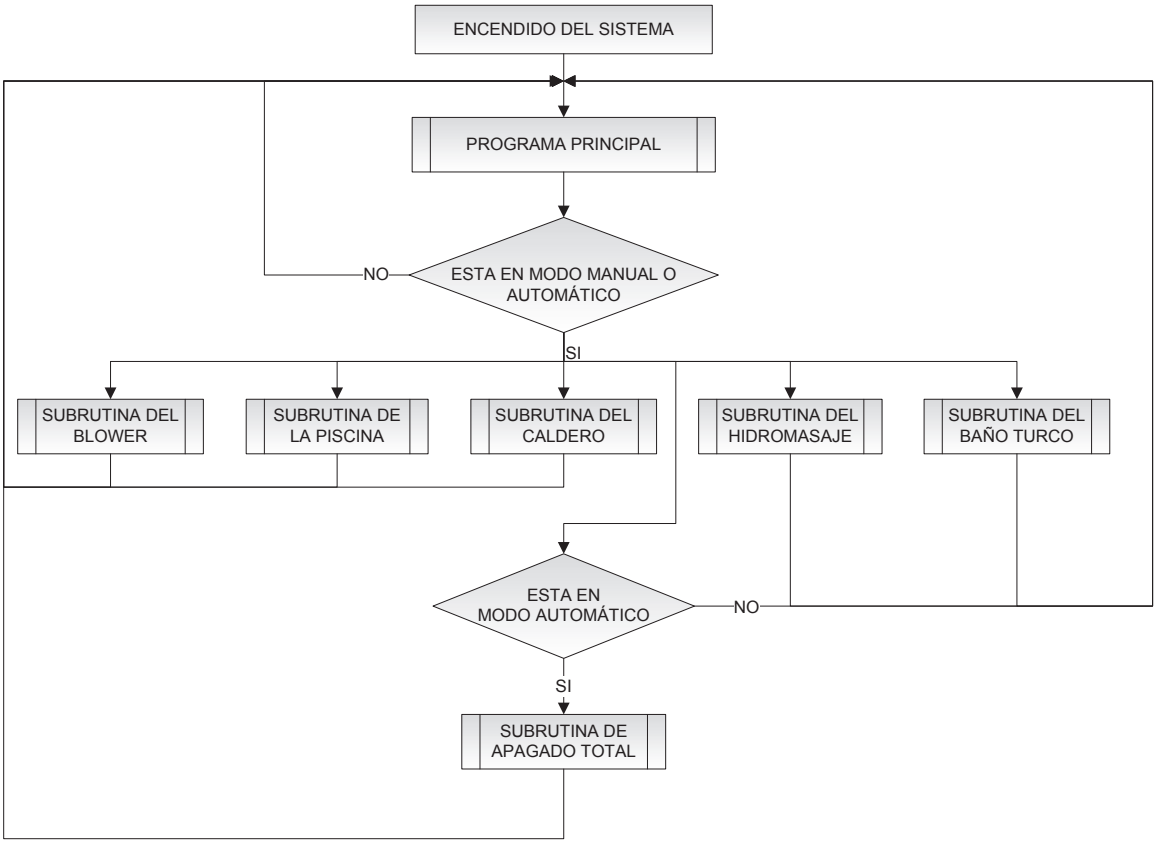


Figura 3.42 Diagrama de funcionamiento general del sistema

A continuación se explica cada proceso, del diagrama de flujo de la Figura 3.42, por separado:

3.6.3.1. Encendido del sistema

Para dar inicio al calentamiento de los espacios físicos del complejo turístico “El Molino”, se activa el disyuntor principal ubicado en el tablero de la acometida, observando que en el tablero principal se ilumina el LCD que muestra el modo de operación del sistema (manual, automático, stop o paro de emergencia), esto indica que el PLC y el sistema gobernado por el microcontrolador están energizados y funcionando correctamente.

Los procesos de inicialización del PLC se explican a continuación:

- Configuración del PLC: se configura el tipo de PLC (DL06).
- Configuración de comunicaciones: se configura por programa el tipo, puerto, número de datos, entre otros necesarios para la comunicación con algún periférico, este caso con un microcontrolador.
- Configuración del PID: se configura por programa, en este caso se usa un PI.
- Entradas analógicas 4-20 [mA]: se configura el tipo de módulo (análogo), la ubicación (sócalo 1), número de canales (4), dirección de los datos y su formato (BCD o binario).
- Definición de escritura y recepción por comunicación: se configura las direcciones de datos y el número de puerto por donde se recibe o envían datos, en este caso en ASCII.

Nota: la comunicación entre el microcontrolador y el PLC se muestra en el literal 3.5.2. Interfaz con el operador.

3.6.3.2. Programa principal.

Luego de iniciar el sistema se realizan las acciones, mostradas en el diagrama de flujo graficado en la Figura 3.43 y 3.44, descritas a continuación:

- Configuración de filtros digitales: se configura el tiempo de muestreo de cada entrada analógica, a la cual se filtra con operaciones matemáticas.
- Operaciones de datos analógicos: se convierte los datos recibidos desde el módulo analógico en datos de temperaturas, utilizando operaciones matemáticas.
- Escritura y recepción de datos por comunicación: se envía los datos que contiene un registro de memoria en el PLC (éste se modifica en las diferentes subrutinas). Se recibe datos enviados por el microcontrolador y se los guarda en un registro de memoria del PLC.
- Operaciones de datos recibidos por comunicación: por medio de operaciones matemáticas convierto los datos recibidos según la necesidad.
- Mediante entradas de un pulsador de paro de emergencia y un selector de tres posiciones selecciono el modo de operación que puede ser: manual, automático o stop; además, de un modo de emergencia que entra en cualquier instancia y suspende todo el proceso.

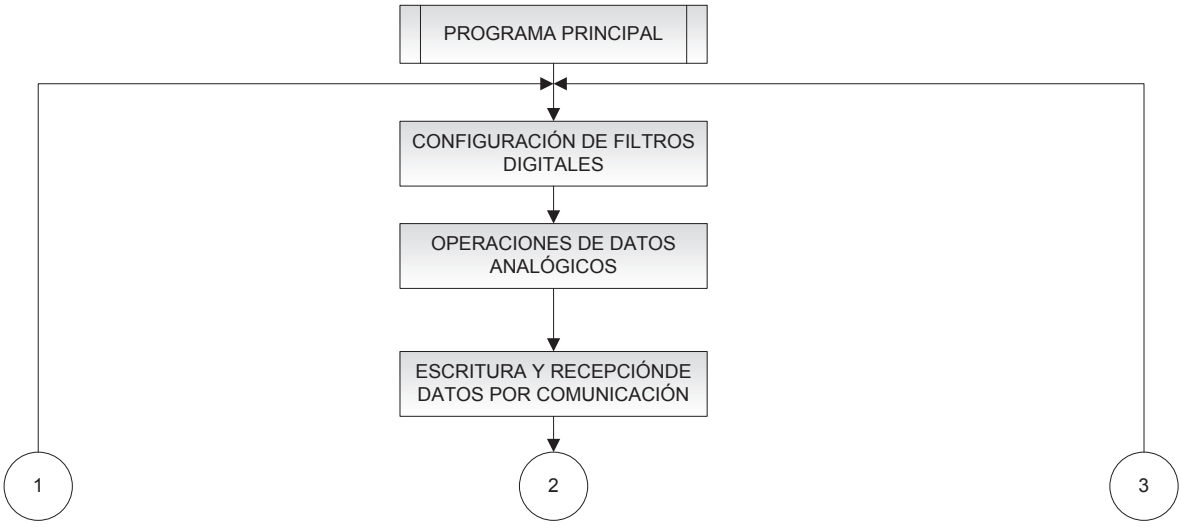


Figura 3.43 Programa principal 1 de 2

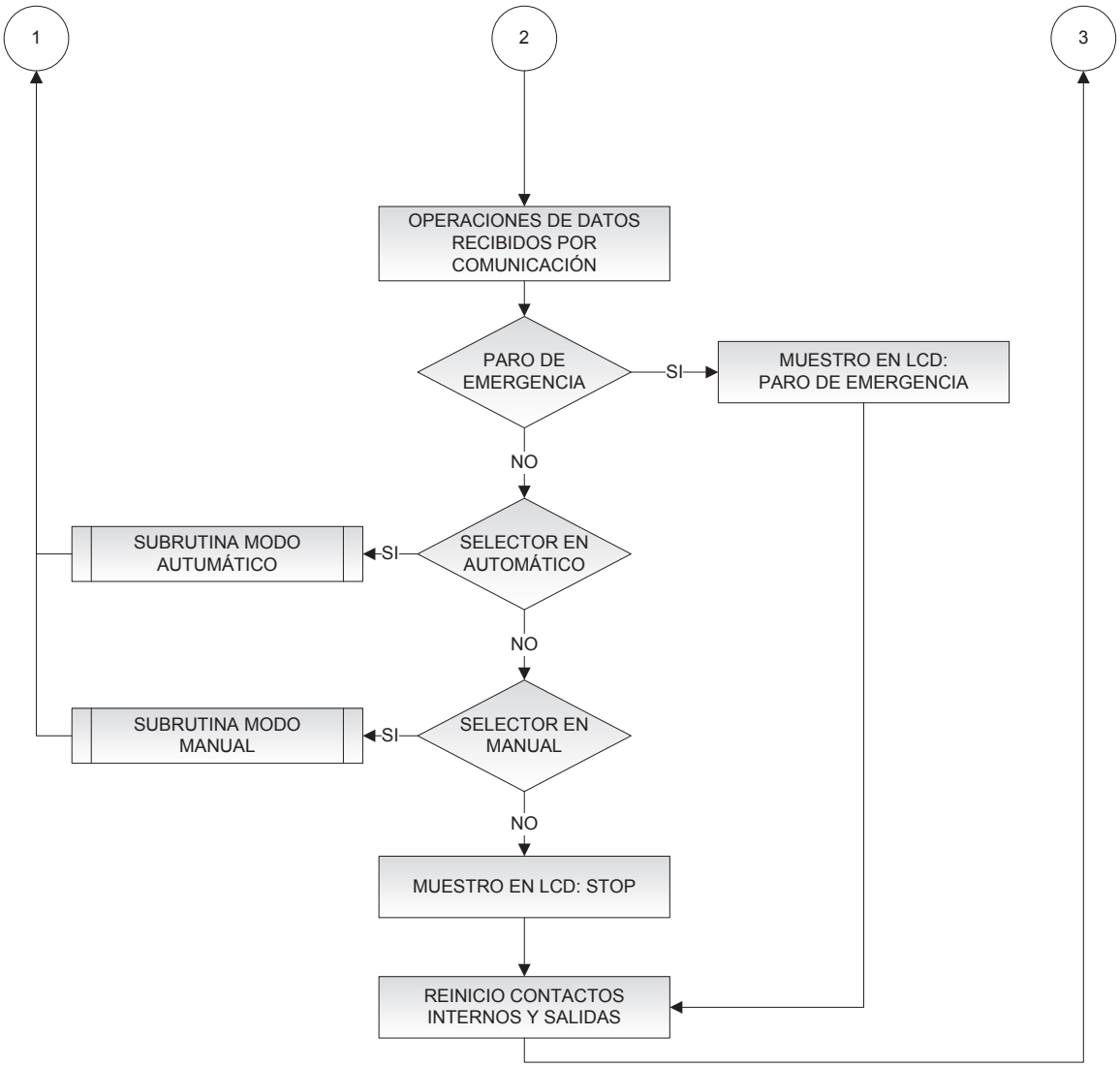


Figura 3.44 Programa principal 2 de 2

En la Figura 3.45 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la subrutina del modo manual.

Al entrar en el modo de operación manual se despliega en la pantalla del LCD “MANUAL”.

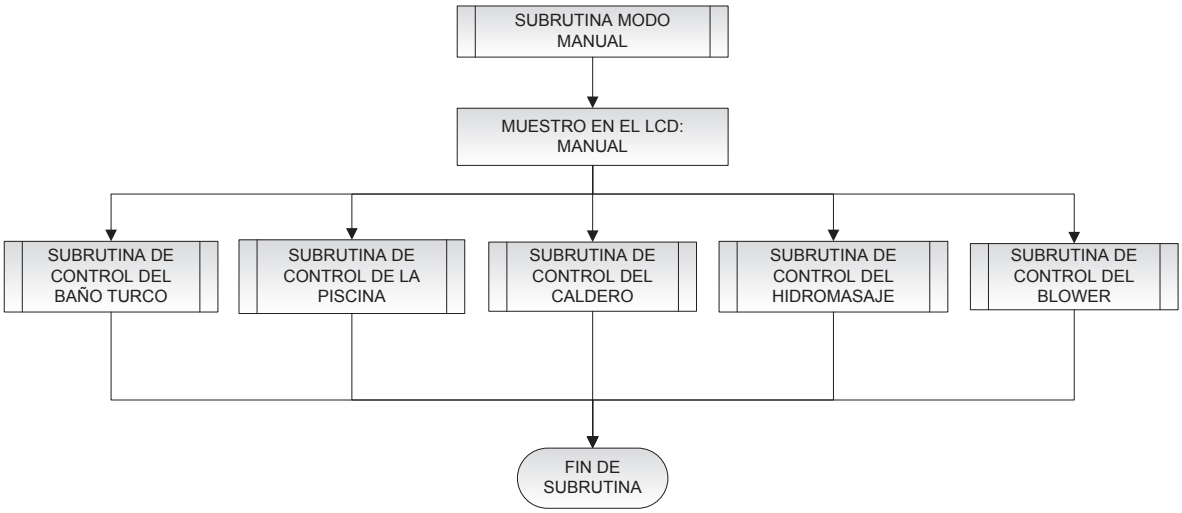


Figura 3.45 Subrutina modo manual.

En la Figura 3.46 y 3.47, se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la subrutina del modo automático.

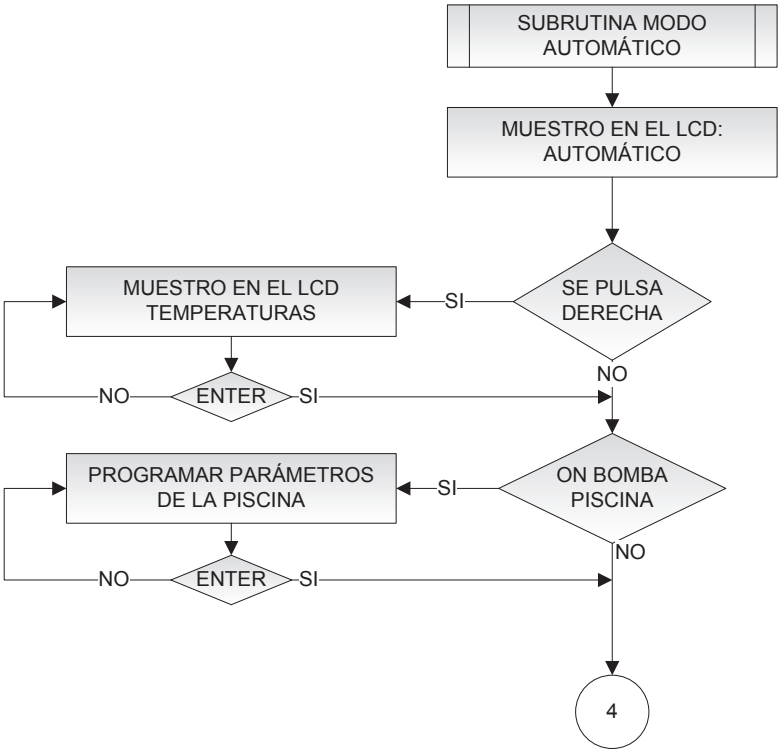


Figura 3.46 Subrutina modo automático 1 de 2

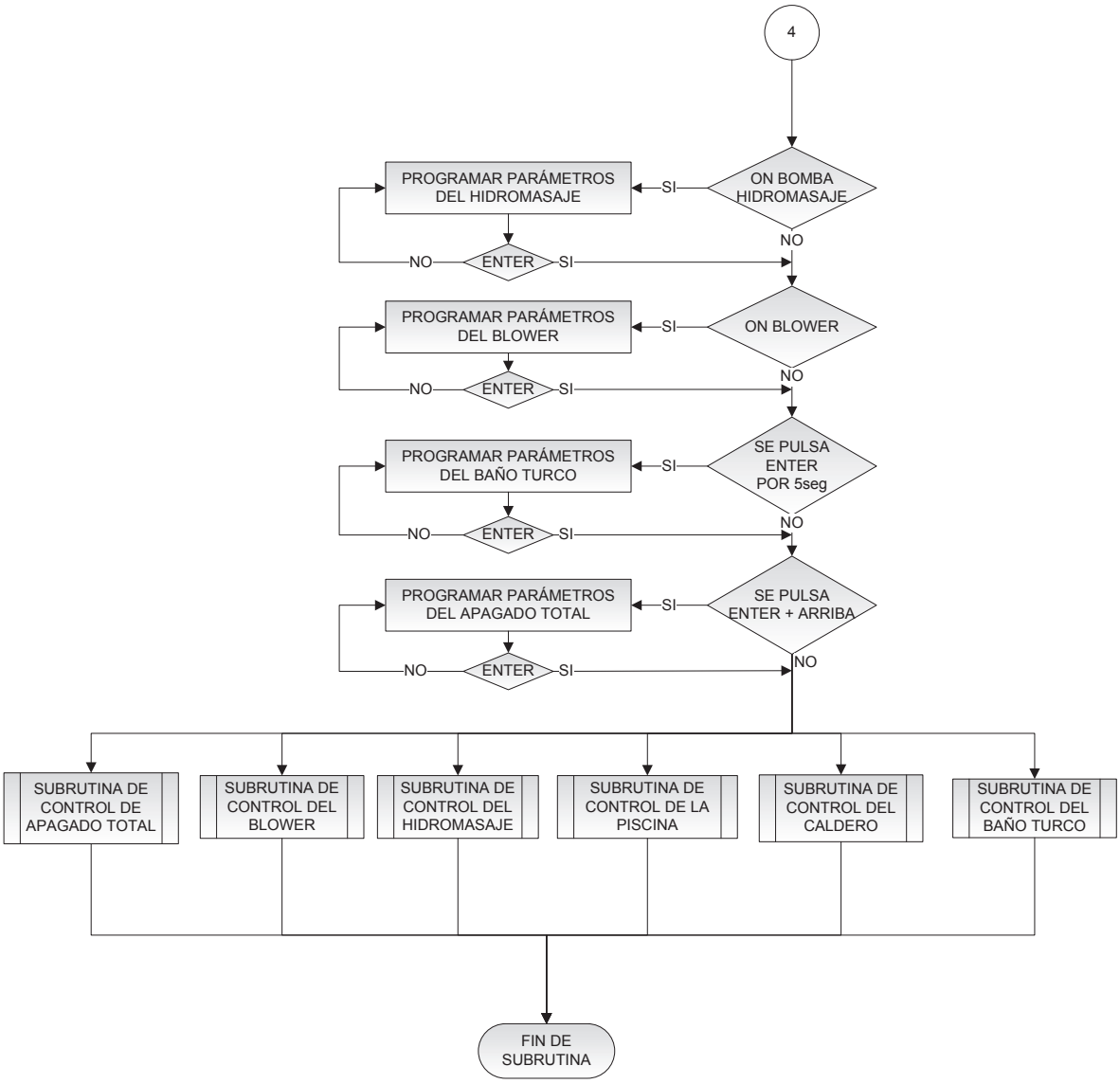


Figura 3.47 Subrutina modo automático 2 de 2

Al entrar en el modo de operación automático se despliega en la pantalla del LCD "AUTOMÁTICO". Interactuando con la pantalla y teclado por medio de la comunicación: muestra temperaturas de la piscina, hidromasaje y baño turco; al presionar el pulsador de la bomba de la piscina (ON BOMBA PISCINA) se programa los parámetros de control para ésta (hora de encendido y temperatura máxima), trabaja de forma similar para el hidromasaje y baño turco; para el blower se programa el tiempo de prendido y apagado; y, se programa el tiempo para el apagado total.

3.6.3.3. Subrutina de control del caldero

La subrutina del caldero trabaja para cualquiera de los dos modos; pero, la activación de éste es distinta para cada uno. Esta subrutina fue mostrada en el capítulo 2.

3.6.3.4. Subrutina de control para la piscina

Para el control de la piscina el PLC entra en una subrutina, la cual se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.48 y 3.49 el que se explica a continuación:

Para modo manual con los pulsadores se activa (ON BOMBA PISCINA) o desactiva (OFF BOMBA PISCINA) la bomba que hace circular el agua de la piscina por el intercambiador de calor, al pulsar (→) el microcontrolador envía una señal para activar la solenoide que alimenta al intercambiador (ACTIVACIÓN VÁLVULA PISCINA); pero si la bomba de la piscina no está activada se muestra en el LCD un mensaje que dice: “activar la bomba respectiva” y la solenoide no se abre, ya que si no circula agua por el intercambiador éste puede dañarse. Al momento de apagar la bomba se cierra también la válvula del intercambiador (DESACTIVACIÓN VÁLVULA PISCINA).

Para el modo automático al presionar el pulsador de activar la bomba (ON BOMBA PISCINA) se programan los parámetros de la piscina, que son recibidos en la subrutina del modo automático al pulsar enter, se lee éstos (SE LEE PARÁMETROS) y según su estado se gobierna la activación o desactivación de los actuadores (bomba y válvula solenoide) que controlan la temperatura en la piscina. Para detener el control se presiona el pulsador de paro de la bomba (OFF BOMBA PISCINA).

Para la activación, en modo automático, de la válvula que alimenta el intercambiador de la piscina el caldero debe haber llegado a 15 [PSI] por lo menos una vez.

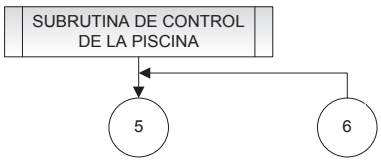


Figura 3.48 Subrutina piscina 1 de 2

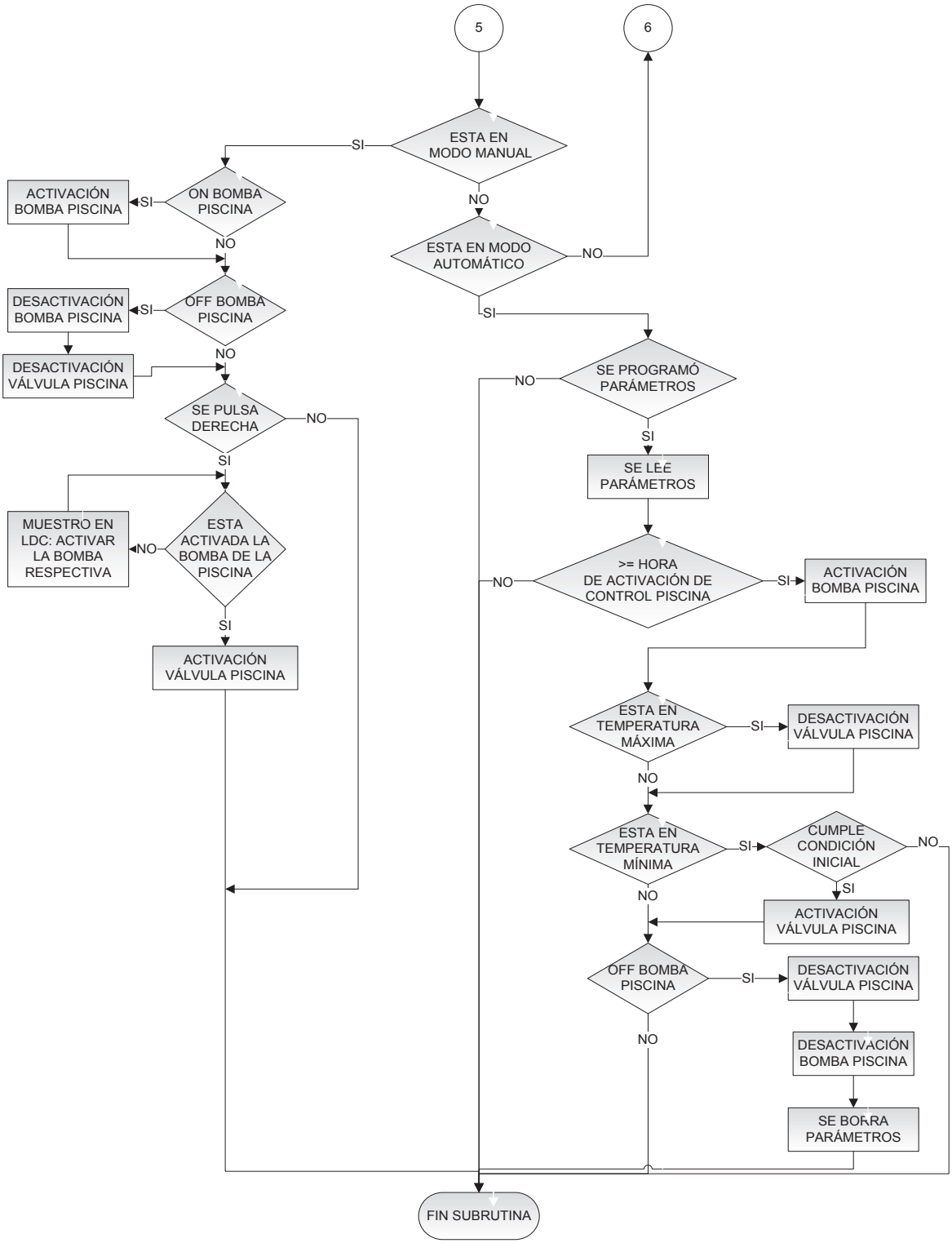


Figura 3.49 Subrutina piscina 2 de 2

3.6.3.5. Subrutina de control para el hidromasaje

La lógica de control, mostrada en el diagrama de flujo ilustrado en la Figura 3.50 y 3.51, es la misma utilizada para la piscina explicada en el literal anterior.

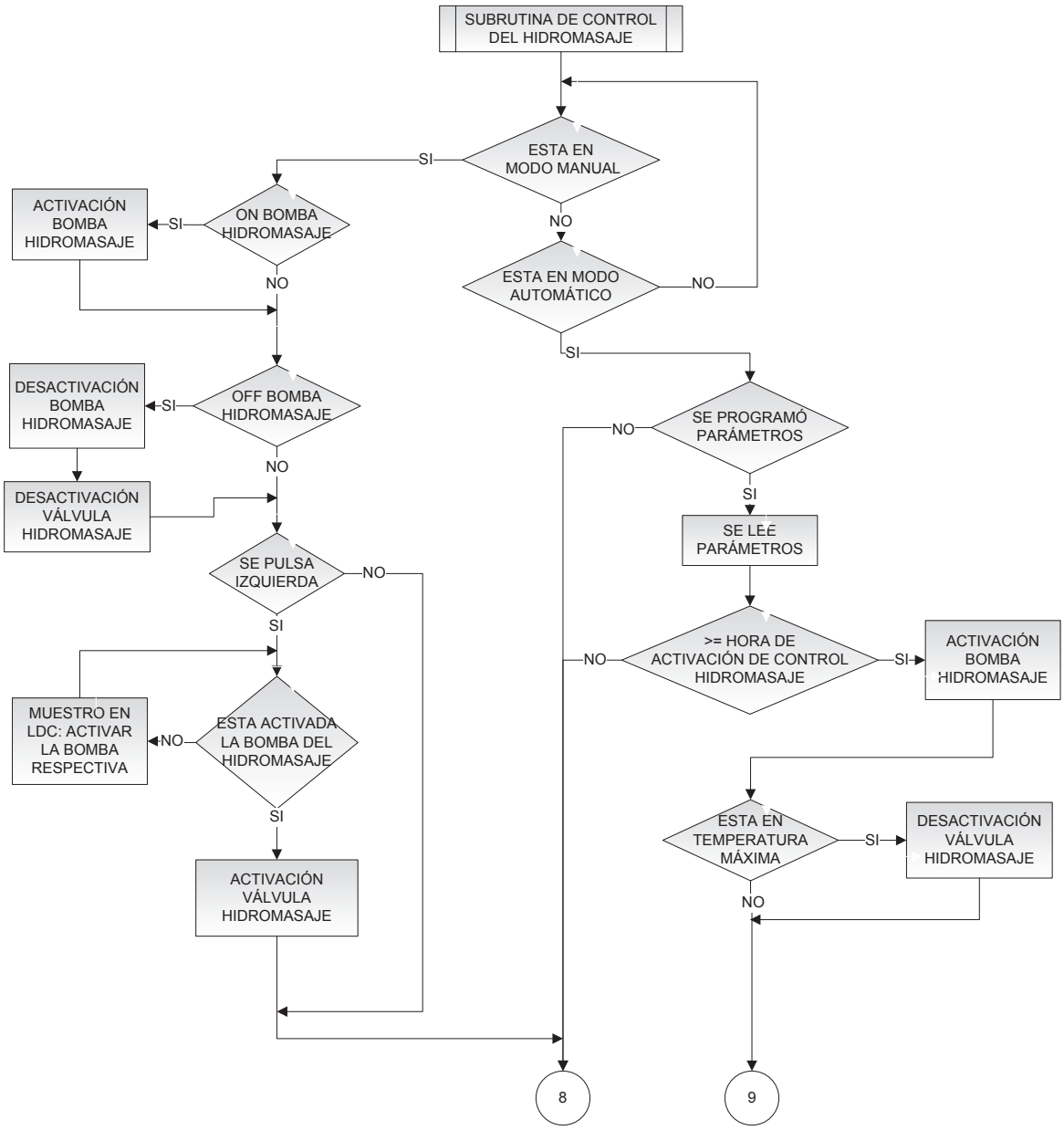


Figura 3.50 Subrutina del hidromasaje 1 de 2

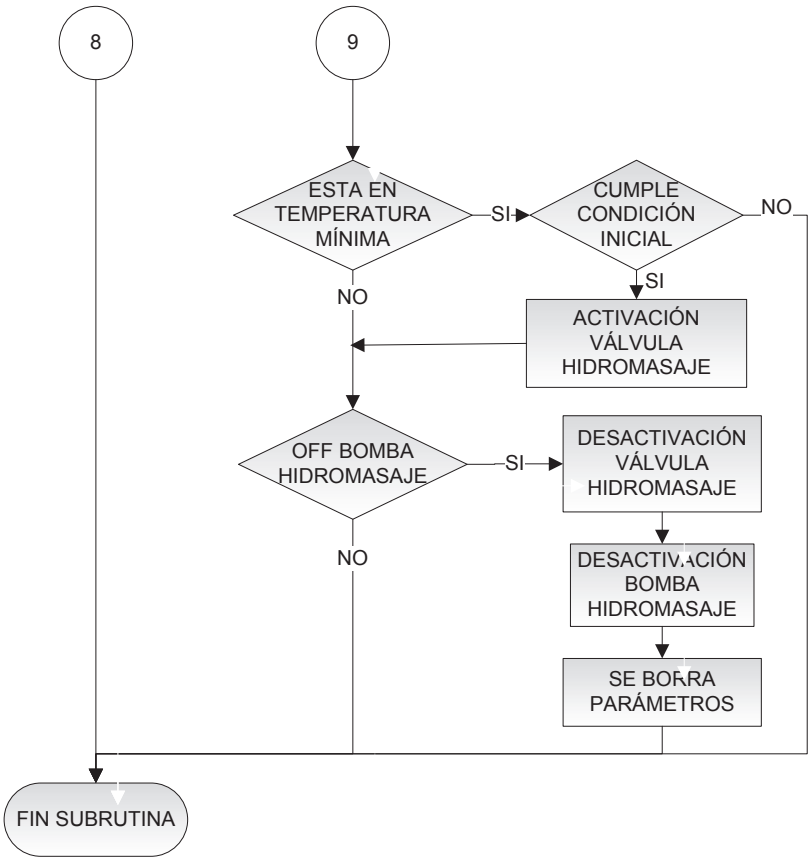


Figura 3.51 Subrutina del hidromasaje 2 de 2

3.6.3.6. Subrutina de control para el blower

Para este proceso el PLC entra en una subrutina la cual se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.52 y se explica a continuación:

Para modo manual con los pulsadores (ON BLOWER y OFF BLOWER) se activa o desactiva el blower.

En modo automático, si se presiona “ON BLOWER” el PLC se programan, mediante comunicación, al pulsar enter los parámetros del blower son recibidos en la subrutina del modo automático. El tiempo programado en minutos, es aquel periodo que se activa y desactiva el blower. Si se presiona “OFF BLOWER”, este se desactiva.

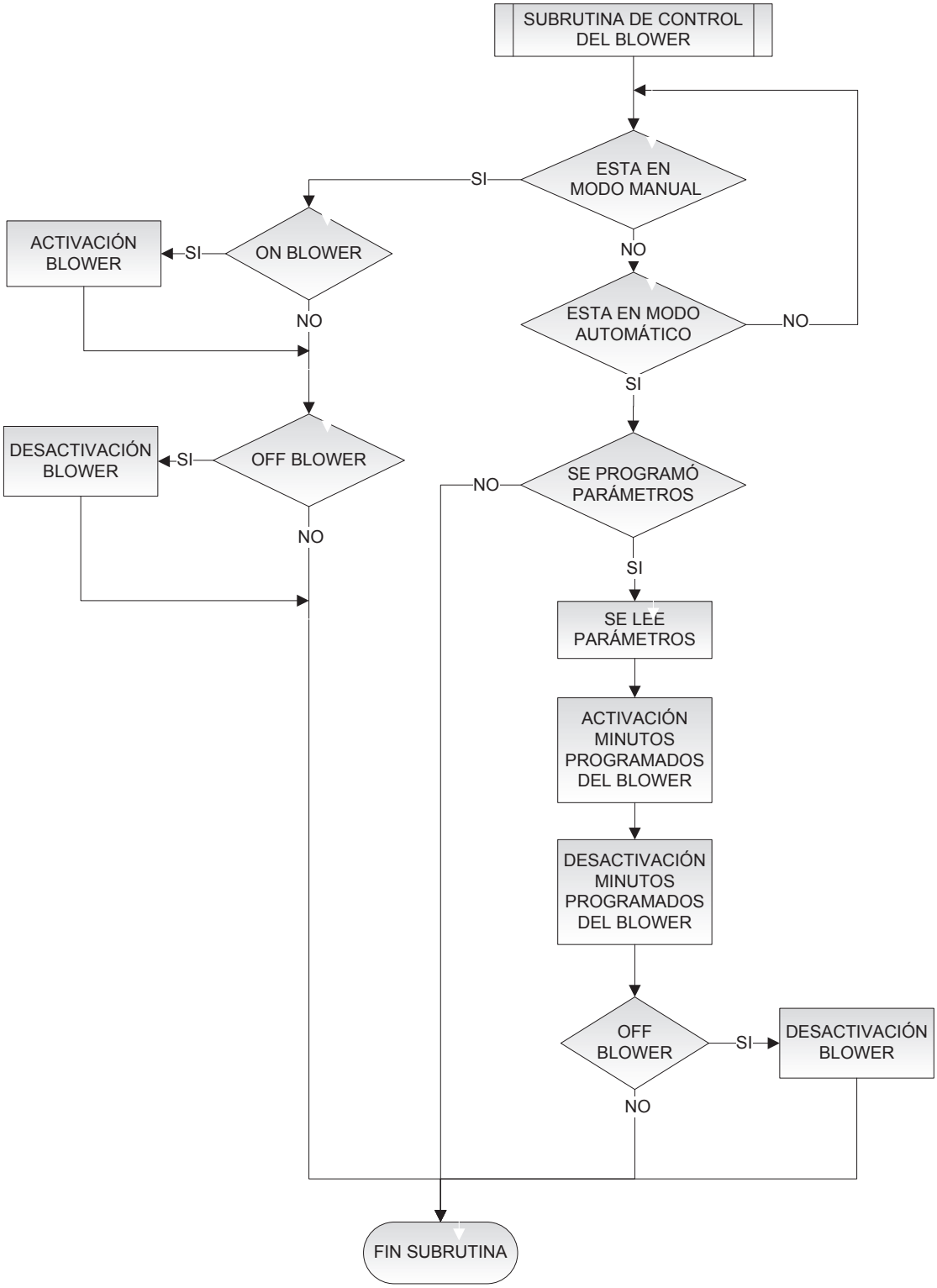


Figura 3.52 Subrutina del blower.

3.6.3.7. Subrutina de control para el baño turco

Para cumplir con este proceso el PLC entra en una subrutina la cual se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.53 y se explica a continuación:

En modo manual, si se presiona (←I) , por medio de comunicación, se activa la válvula del baño turco y si presiono (↑) se desactiva.

En modo automático, si se presiona (←I) se programan los parámetros para el baño turco y son leídos en la subrutina de modo automático, al presionar nuevamente enter el PI cambia de modo manual a automático, el cual a través de temporizadores gobierna la apertura y cierre de la válvula del baño turco, formando un control de ancho de pulso (PWM) de periodo fijo igual a 30 [segundos].

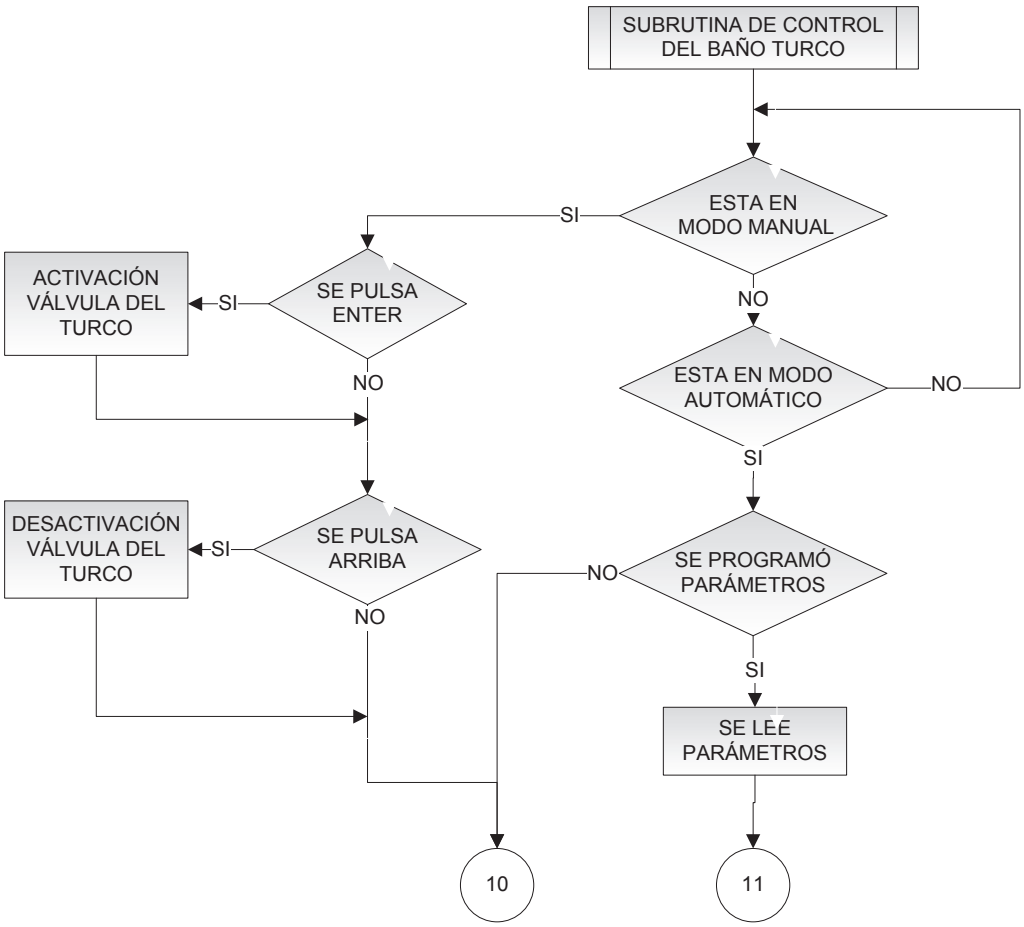


Figura 3.53 Subrutina del baño turco 1 de 2

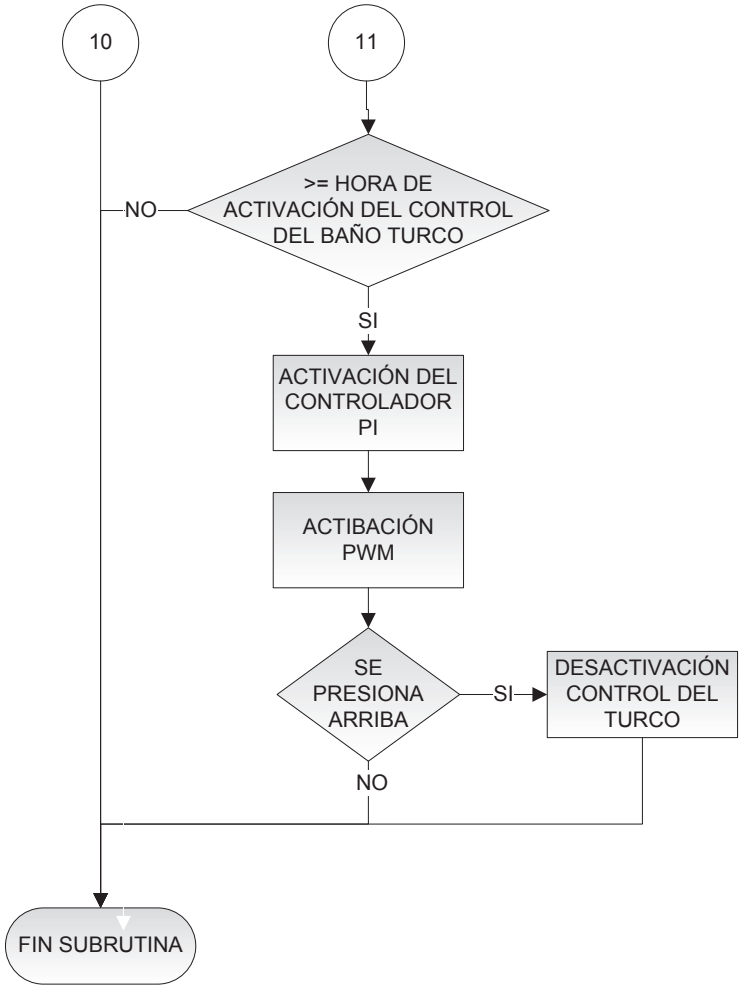


Figura 3.54 Subrutina del baño turco 2 de 2

3.6.3.8. Subrutina de control del apagado total

Para este proceso el PLC entra en una subrutina la cual se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.55 y se explica a continuación:

Si presiono (←I) junto con (↑) , entonces mediante comunicación se programa el tiempo en días y horas que deben transcurrir para que se apague todo el sistema, lo que se refiere a reiniciar todas las salidas, borrar datos de las direcciones del PLC y se desactivan contactores internos.

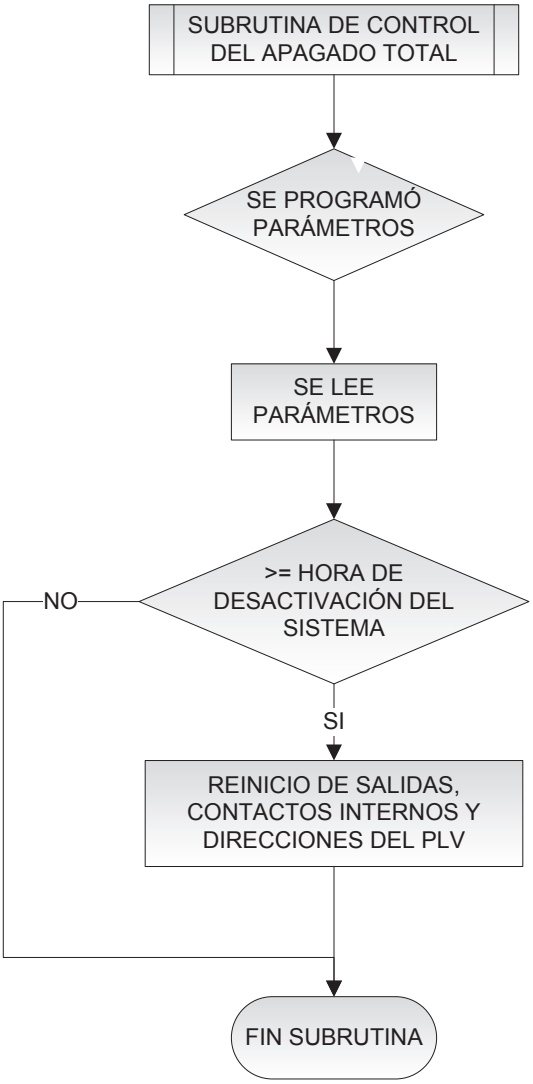


Figura 3.55 Subrutina de apagado total

3.6.3.9. Variables ocupadas en el PLC para el control de temperaturas

A continuación se enlistan los eventos principales para el control de temperatura de la piscina, hidromasaje y baño turco. En la Tabla 3.15 se muestran las entradas y salidas del PLC ligadas a los sensores y actuadores del control de temperaturas y en la Tabla 3.16 se muestran los contactos internos y timers internos utilizados para este control.

EVENTO	ENTRADA	SALIDA
PARO DE EMERGENCIA	X0	------
SELECTOR AUTOMÁTICO	X1	------
SELECTOR MANUAL	X2	------
ON BOMBA PISCINA	X5	------
ON BOMBA HIDROMASAJE	X10	------
OFF BOMBA HIDROMASAJE	X7	-----
VÁLVULA HIDROMASAJE	------	Y6
BOMBA DEL HIDROMASAJE	------	Y1
ON BLOWER	X3	------
OFF BLOWER	X4	------
BLOWER	------	Y3
ON BOMBA PISCINA	X5	------
OFF BOMBA PISCINA	X6	------
VÁLVULA PISCINA	------	Y7
BOMBA DE LA PISCINA	------	Y2
VÁLVULA DEL TURCO	------	Y5
LUZ PILOTO NIVEL BAJO CALDERO	------	Y11
LUZ PILOTO SOLENOIDE DE CONDENSADO	------	Y14

Tabla 3.9 Entradas y salidas en el PLC para control de temperatura

EVENTO	TIMER	CONTACTO
MOSTRAR TEMPERATURAS	------	C30
MODO MANUAL	------	C5
MODO AUTOMÁTICO	------	C11
INICIO CONTROL DE TEMPERATURA PISCINA	------	C2
INICIO CONTROL DE TEMPERATURA HIDROMASAJE	------	C3
INICIO CONTROL DE TEMPERATURA TURCO	------	C4
INICIO CONTROL DEL BLOWER	------	C12
INICIO CONTROL DE APAGADO TOTAL	------	C25
VÁLVULA ON DEL HIDROMASAJE (MANUAL)	------	C10
VÁLVULA ON DE LA PISCINA (MANUAL)	------	C6
ON BOMBA PISCINA POR TIEMPO	------	C13
SENSAR TIEMPO DE ACTIVACIÓN DE LA PISCINA	------	C15
VÁLVULA ON DE LA PISCINA (AUTOMÁTICO)	------	C14
ON BOMBA HIDROMASAJE POR TIEMPO	------	C16
SENSAR TIEMPO DE ACTIVACIÓN DEL HIDROMASAJE	------	C20
VÁLVULA ON DE LA PISCINA (AUTOMÁTICO)	------	C17
SENSAR TIEMPO DE ACTIVACIÓN DEL BLOWER	------	C24
TIEMPO DE APAGADO DEL BLOWER AGOTADO	------	C33
TIEMPO DE ACTIVACIÓN DEL BLOWER AGOTADO	------	C31
ON TURCO POR TIEMPO	------	C21

ON VÁLVULA DEL TURCO(AUTOMÁTICO)	------	C22
SENSAR TIEMPO DE ACTIVACIÓN DEL TURCO	------	C23
SENSAR TIEMPO PARA APAGADO TOTAL	------	C27
TIEMPO PARA EL APAGADO TOTAL CULMINÓ	------	C26
TIEMPO DE MUESTREO TEMPERATURA PISCINA	T4	------
TIEMPO DE MUESTREO TEMPERATURA HIDROMASAJE	T5	------
TIEMPO DE MUESTREO TEMPERATURA TURCO	T3	------
TIEMPO DE PERIODO PWM	T50	------
TIEMPO DE APAGADO DEL PWM	T51	------

Tabla 3.10 Timers y contactos internos utilizados para el control de temperaturas

CAPÍTULO 4
PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ANTES DE LA INSTALACIÓN

Previo al montaje e instalación del tablero de control, se procede a verificar el funcionamiento de cada componente necesario para el manejo de temperatura generada por el caldero a diesel en el complejo turístico “El Molino”.

Para comprobar el estado de las protecciones a ser empleadas, se procede a medir continuidad con el multímetro en los extremos de los disyuntores y portafusibles (con los fusibles dentro).

La fuente de 24 VDC se conectó en vacío para verificar la salida de voltaje.

Con el objeto de verificar el funcionamiento de los contactores y relés, se procede a conectar la bobina de alimentación directamente a 110 VAC, y medir continuidad entre sus contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados.

Se comprueba el funcionamiento del PLC y su comunicación con el microcontrolador, mediante la implementación de un programa sencillo en los controladores.

Las válvulas solenoides se prueban conectándolas y desconectándolas en vacío; a la vez que, se comprueba el paso de aire a través de estas.

El funcionamiento del caldero se prueba accionando el quemador mediante el control primario R7284; si éste funciona correctamente, se comprueba la correcta operación del sensor de presión y nivel.

El sensor de nivel por conducción y su actuador se prueban conectándolos entre si y éste a la fuente de 110 VAC, éste enciende o apaga un led según el nivel que detecte el sensor.

Los indicadores se prueban conectándolos directamente a 110 VAC.

El selector y pulsadores se prueban mediante un multímetro, midiendo continuidad entre sus terminales.

4.2. PRUEBAS ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO

Una vez efectuada la instalación, se realizan varias pruebas antes de la puesta en marcha del sistema de control de temperatura, éstas se citan a continuación:

- **Conexiones en la acometida:** mediante un multímetro midiendo voltajes a la entrada y salida del tablero, accionando su interruptor.
- **Conexiones en el tablero principal:** verificando continuidad en todos los puntos de conexión por medio de un multímetro.
- **Cableado hacia los actuadores y sensores**: midiendo voltajes a la salida del tablero principal y a la entrada de los sensores y actuadores.
- **Funcionamiento de las válvulas solenoides:** activando las salidas del PLC designadas.
- **Calibración de los sensores de temperatura:** se calibra los transmisores de corriente de los RTD's basándose en un termómetro digital y uno de mercurio.
- **Funcionamiento de todos los motores:** se verifica temperatura mediante tacto y corriente mediante un multímetro con pinza.
- **Funcionamiento del control redundante del caldero:** se prueba cortocircuitando la entrada de los sensores en el control primario R7284, eliminando el sensor de presión o el de nivel y cerrando el paso de combustible.

4.3. DATOS OBTENIDOS EN LOS CONTROLES DE TEMPERATURA

En las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, se observan los resultados de los controles de temperatura para el modo automático de la piscina, hidromasaje y baño turco en el complejo turístico "El Molino". Estas pruebas se realizan en días normales de funcionamiento, y se forza su bajada de temperatura con perturbaciones extremas

para obtener la reacción de cada sistema de calentamiento a la variación rápida de temperatura.

Las temperaturas para las diferentes áreas son con las que normalmente se trabaja; sin embargo, el sistema tiene la versatilidad de poder seleccionarlas.

4.3.1. PISCINA

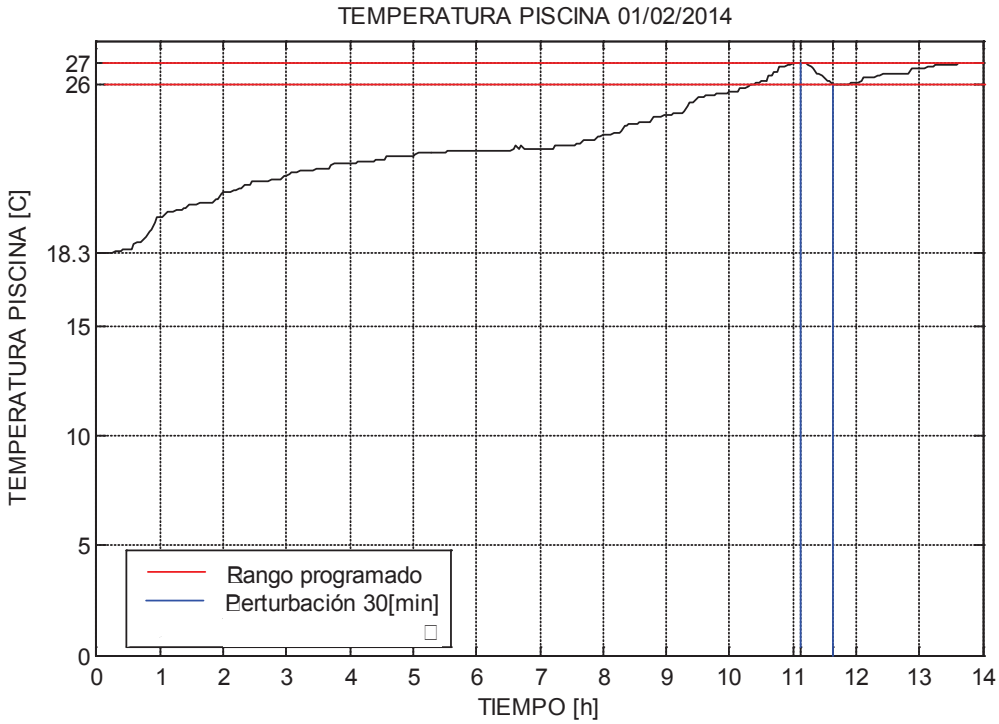


Figura 4.1 Gráfica de comportamiento de la piscina desde el arranque del caldero

El volumen total de la piscina toma en calentarse aproximadamente 10 horas como se muestra en la Figura 4.1; y, esta es la razón por la cual el administrador calienta la piscina un día previo a la apertura del complejo turístico. La perturbación es la entrada de agua a 18 [°C] con un caudal aproximado de 5 [l/min].

Debido al cambio lento de temperatura en este volumen de agua, se toman lecturas de temperatura cada 2.5 minutos. La temperatura deseada para la piscina es de 26 a 27 [°C] (la temperatura seleccionada por el operador es la máxima).

4.3.2. HIDROMASAJE

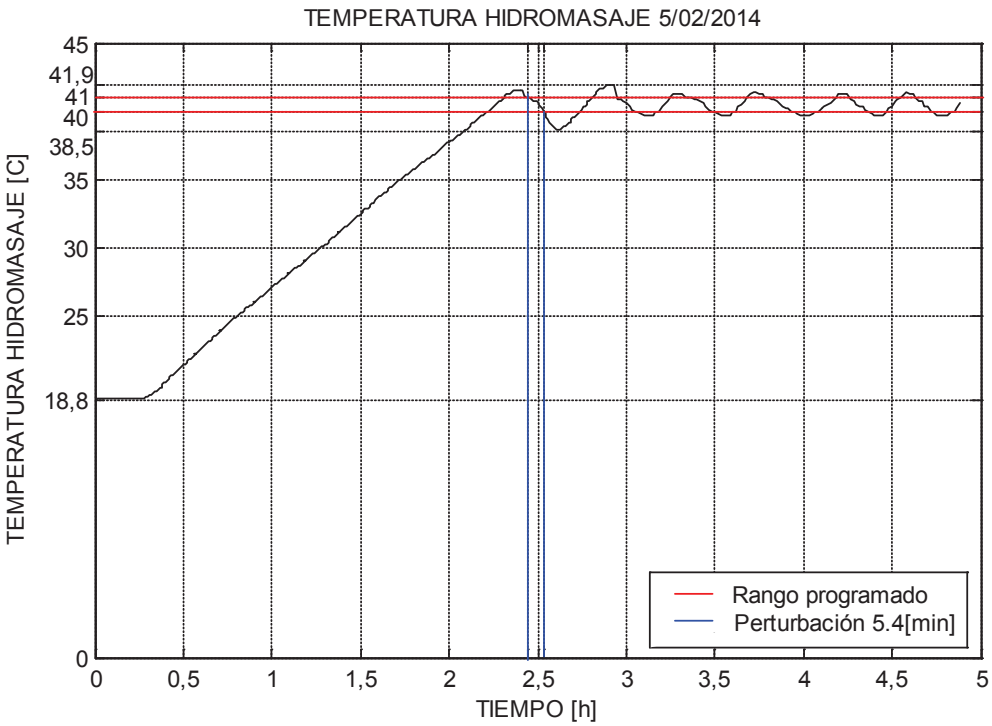


Figura 4.2 Gráfica de comportamiento del hidromasaje desde el arranque del caldero

El volumen total del hidromasaje toma en calentarse aproximadamente 2 horas como se muestra en la Figura 4.2, tiempo aceptable para poder empezar a calentar el día de apertura al público, cuya hora promedio de llegada es 10am. La perturbación forzada mostrada en la gráfica es la entrada de aire forzado por el blower y la entrada de agua a 18 [°C] con un caudal aproximado de 1 [l/seg].

Tomando en cuenta el tiempo de variación de temperatura en este volumen de agua, se toman muestras cada 30 segundos. La temperatura deseada para el hidromasaje es de 40 a 41 [°C] (la temperatura seleccionada por el operador es la máxima) y los datos luego de la perturbación forzada fueron tomados con la perturbación normal del blower (15min prendido y 5min apagado), circulación normal de personas y aire en el área.

4.3.3. BAÑO TURCO

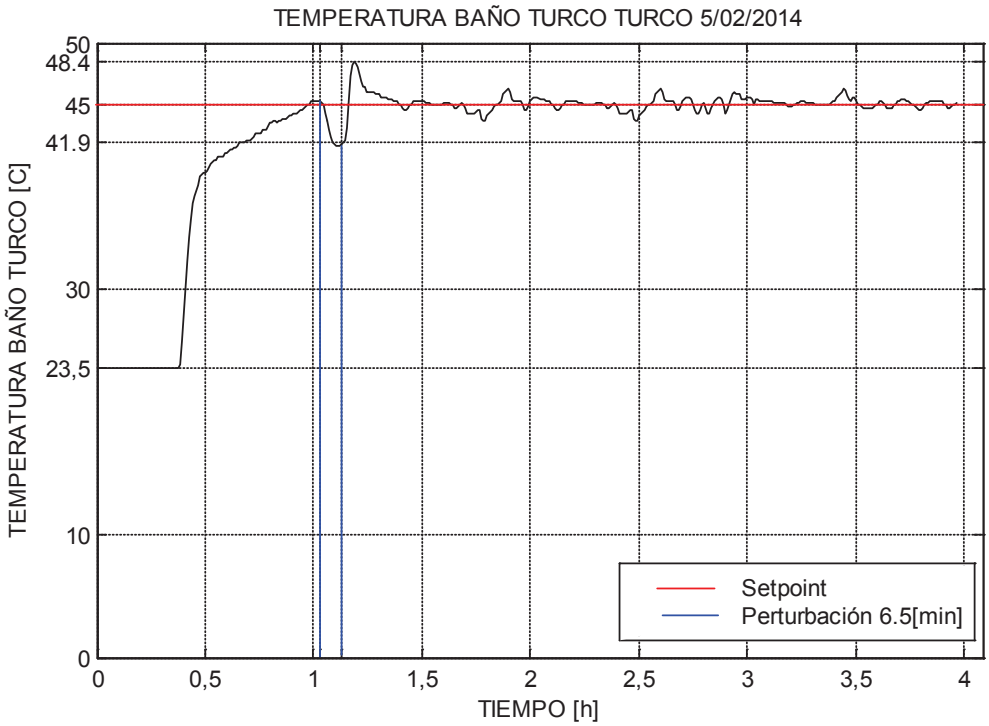


Figura 4.3 Gráfica de comportamiento del baño turco desde el arranque del caldero

El volumen total del baño turco toma en calentarse aproximadamente 30 minutos como se muestra en la Figura 4.3, tiempo suficiente para calentar el día de apertura al público.

Tomando en cuenta el tiempo de variación de temperatura en este espacio físico, se toman muestras cada 30 segundos. La temperatura deseada para el baño turco es de 45 [°C] (temperatura seleccionada por el operador), la perturbación forzada es la entrada de aire mediante la apertura total de la puerta. Los datos luego de la perturbación forzada son tomados con una circulación de personas normal (apertura y cierre de la puerta).

4.4. ANÁLISIS DE ERRORES EN ESTADO ESTABLE

Para el análisis de errores se toma en cuenta la varianza, desviación estándar y error relativo, éste último se calcula en los algoritmos de control on/off creando una franja con la media aritmética y la desviación estándar; encontrando así, un error relativo superior e inferior calculado a base del rango de control.

4.4.1. ERRORES EN EL CONTROL DE TEMPERATURA DE LA PISCINA

- Gráficos de comportamiento

Los gráficos de datos ilustrados a continuación fueron tomados en días y horas distintos para poder observar de mejor manera la reacción en estado estable de la piscina.

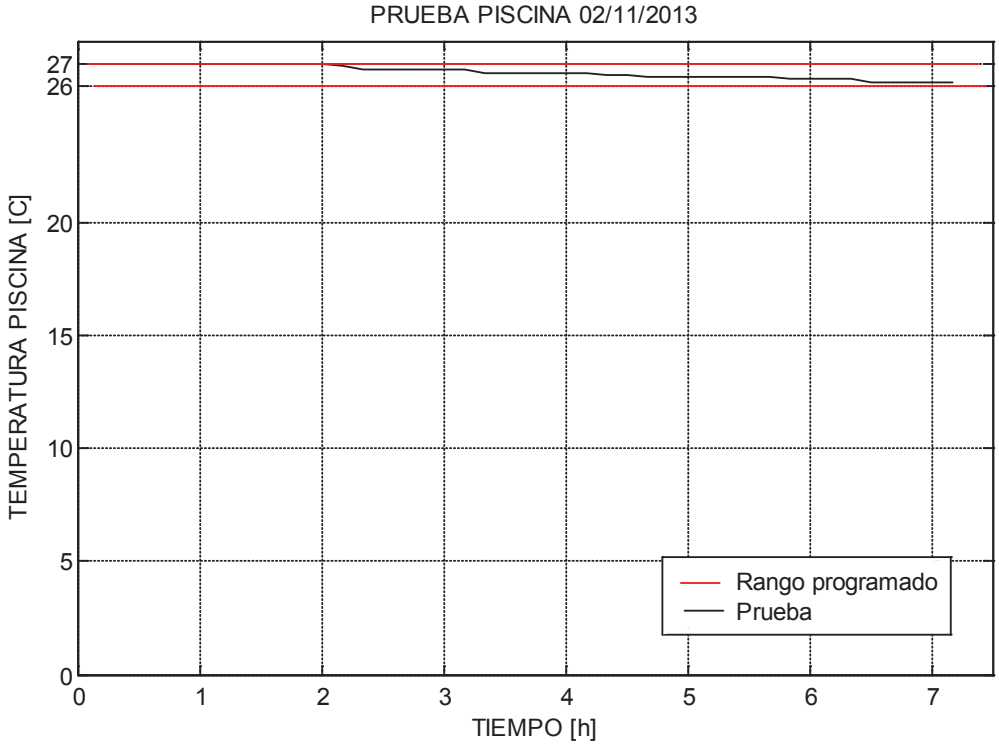


Figura 4.4 Gráfica de comportamiento1 para la piscina

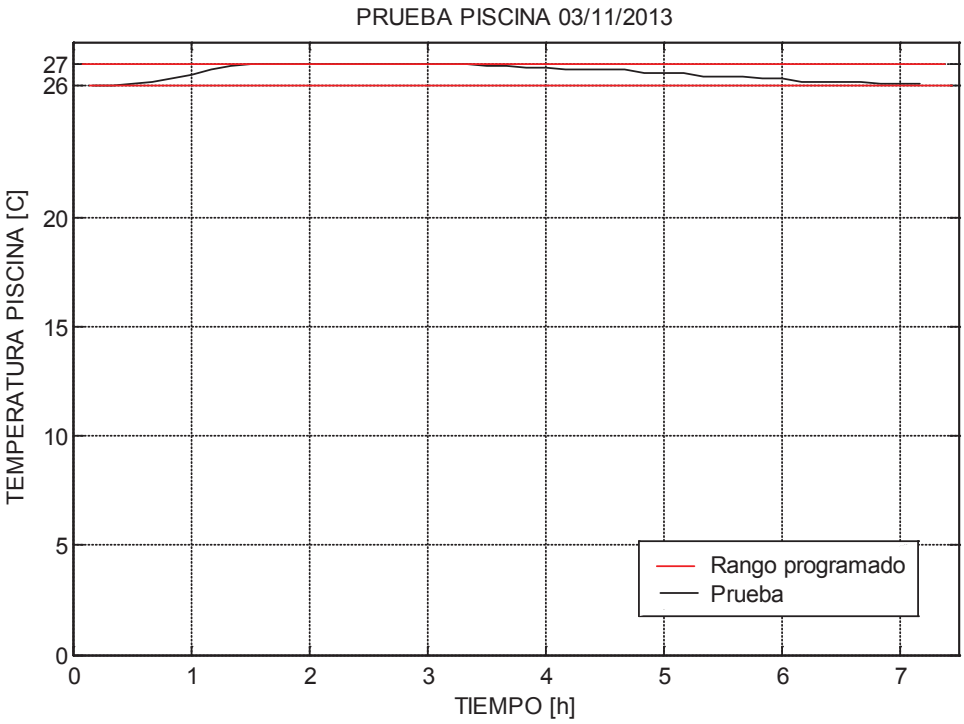


Figura 4.5 Gráfica de comportamiento2 para la piscina

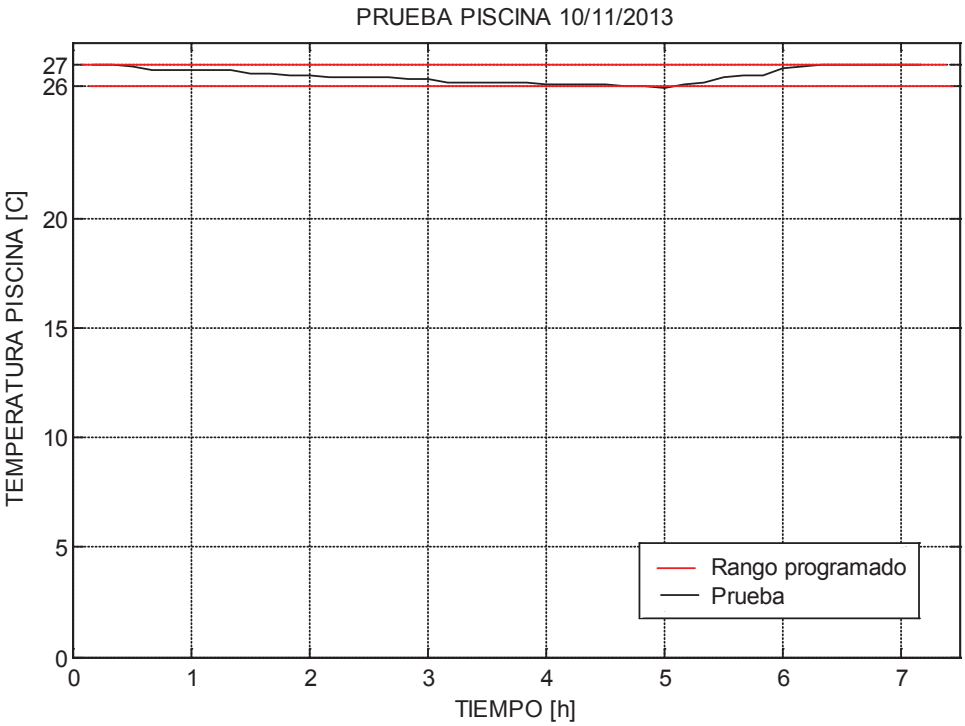


Figura 4.6 Gráfica de comportamiento3 para la piscina

- Errores obtenidos

VARIABLE	SÁBADO	DOMINGO	DOMINGO
	02/11/2013	03/11/2013	10/11/2013
	INICIO 10:00	INICIO 11:00	INICIO 11:30
MEDIA ARITMÉTICA	26,62	26,6	26,5
VARIANZA	0,084	0,125	0,118
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,289	0,353	0,344
ERROR RELATIVO SUP E INF	0%	0%	0%

Tabla 4.1 Errores en la temperatura de la piscina

Como se puede observar en las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 los valores se mantienen dentro de los límites esperados, el valor promedio se mantiene cerca de los 26.5 [°C] con una desviación estándar cerca de 0.3 [°C], éstos valores no salen del rango establecido, e indican un buen algoritmo de control on/off.

4.4.2. ERRORES EN EL CONTROL DE TEMPERATURA DEL HIDROMASAJE

- Gráficos de comportamiento

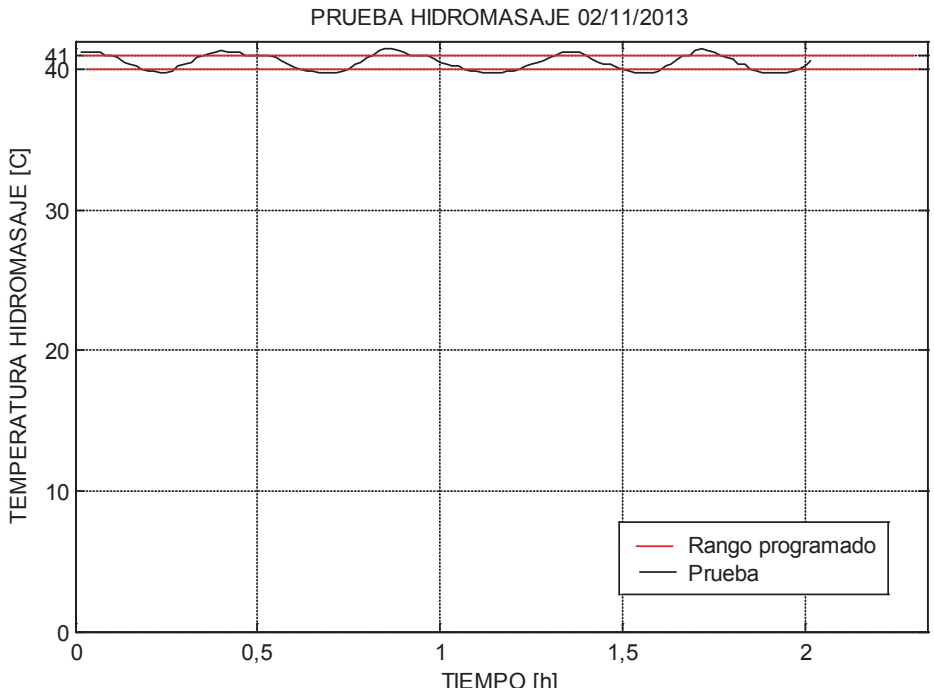


Figura 4.7 Grafica de comportamiento1 para el hidromasaje

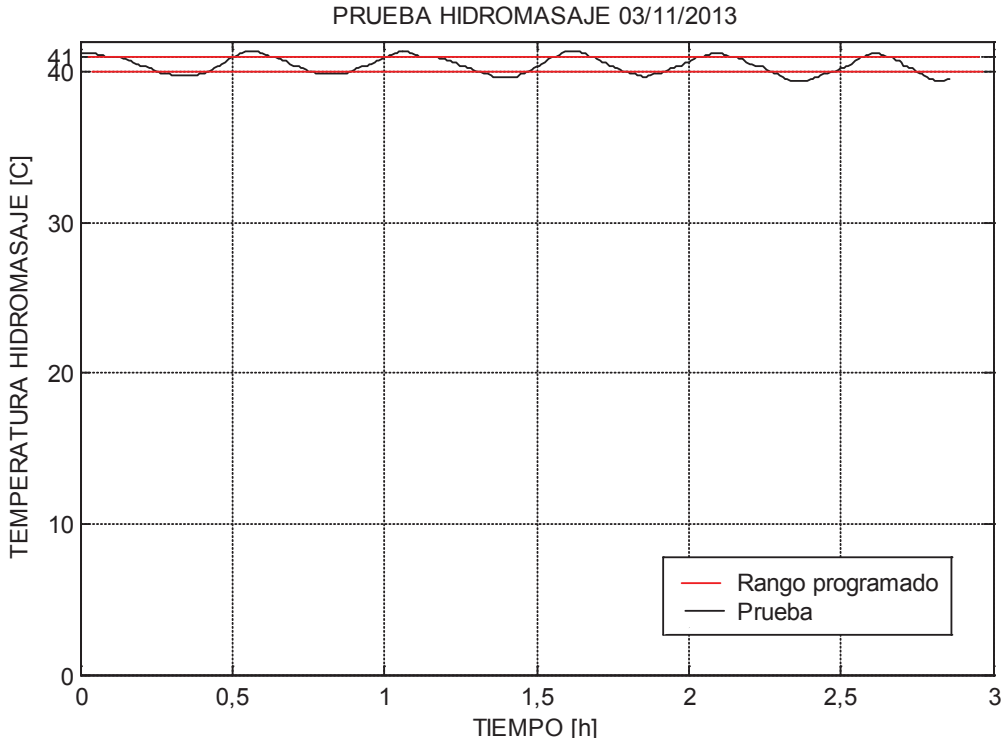


Figura 4.8 Grafica de comportamiento2 para el hidromasaje

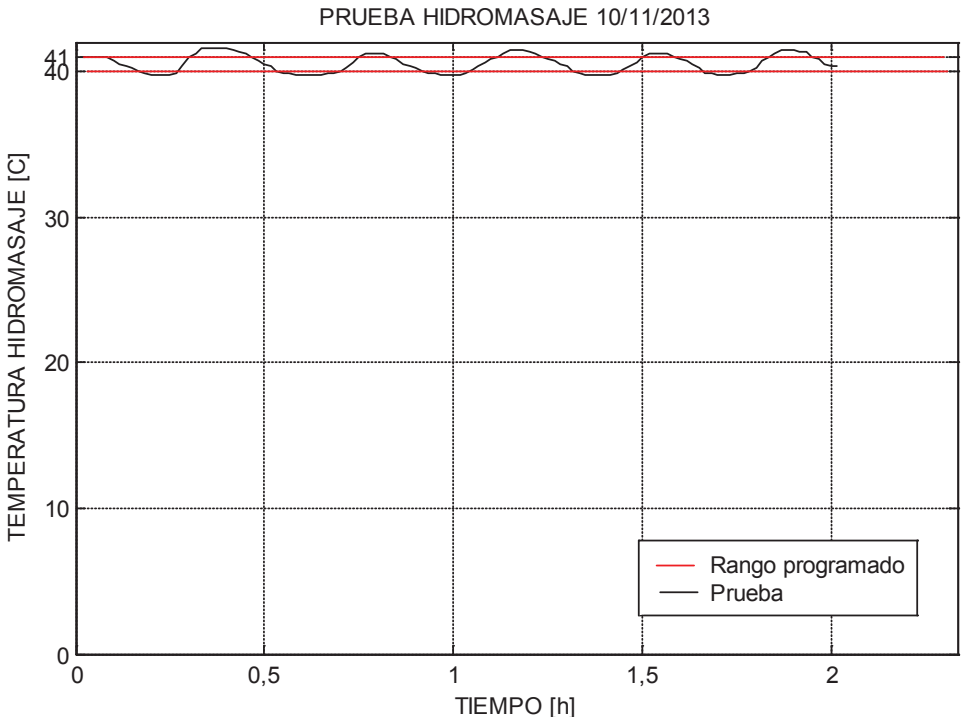


Figura 4.9 Grafica de comportamiento3 para el hidromasaje

Los gráficos de datos ilustrados en las tres figuras anteriores fueron tomados en días y horas distintas para poder observar de mejor manera la reacción en estado estable del hidromasaje; además, se fijó la perturbación producida por el blower de 15 minutos activado y 5 minutos desactivado.

- Errores obtenidos

VARIABLE	SÁBADO	DOMINGO	DOMINGO
	02/11/2013	03/11/2013	10/11/2013
	INICIO 11:30	INICIO 12:23	INICIO 15:24
MEDIA ARITMÉTICA	40,46	40,61	40,51
VARIANZA	0,32	0,45	0,39
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,56	0,67	0,62
PROMEDIO SUPERIOR	41,02	41,28	41,13
PROMEDIO INFERIOR	39,9	39,94	39,89
ERROR RELATIVO SUPERIOR	0,05%	0,68%	0,32%
ERROR RELATIVO INFERIOR	0,25%	0,15%	0,27%

Tabla 4.2 Errores en la temperatura del hidromasaje

Como se puede observar en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 los valores exceden los límites esperados, esto se debe a que existe una perturbación externa producida por el blower además de una inercia térmica del hidromasaje, el mayor error es de 0,68% debido a la inercia térmica, el valor promedio se mantiene cerca de los 40,5 [°C] con una desviación estándar cerca de 0,6 [°C], éstos valores exceden el rango establecido por 0,1[°C], e indican un buen algoritmo de control on/off por que el error es mínimo.

4.4.3. ERRORES EN EL CONTROL DE TEMPERATURA DEL BAÑO TURCO

- Gráficos de comportamiento

Los gráficos de datos ilustrados a continuación fueron tomados en días y horas distintas para poder observar de mejor manera la reacción en estado estable del baño turco.

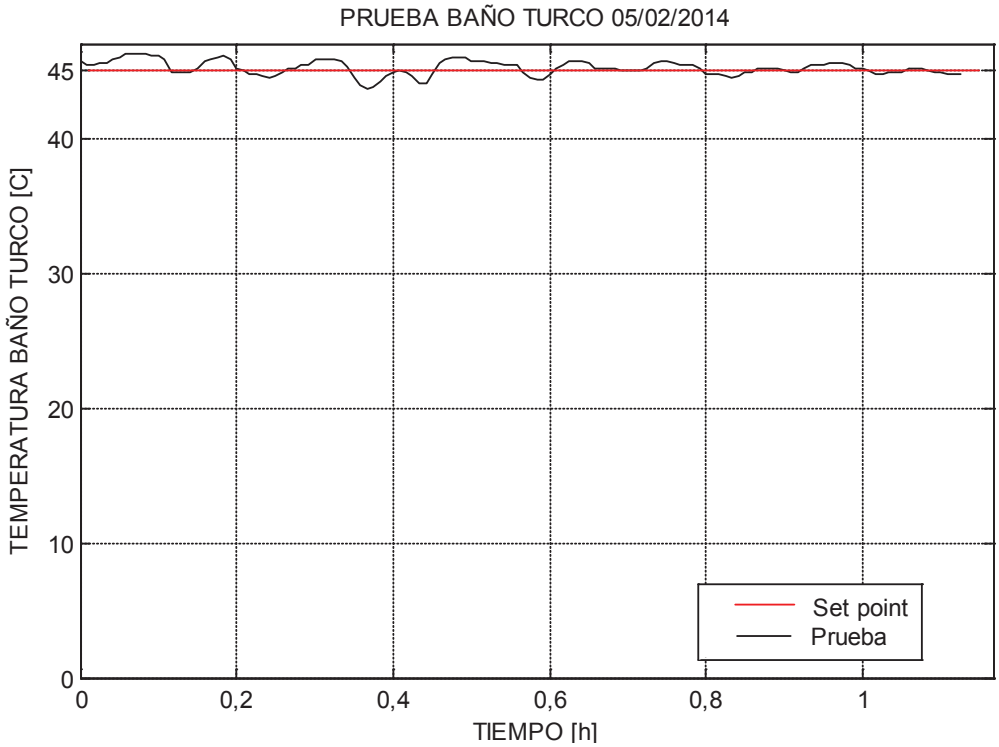


Figura 4.10 Grafica de comportamiento1 para el baño turco

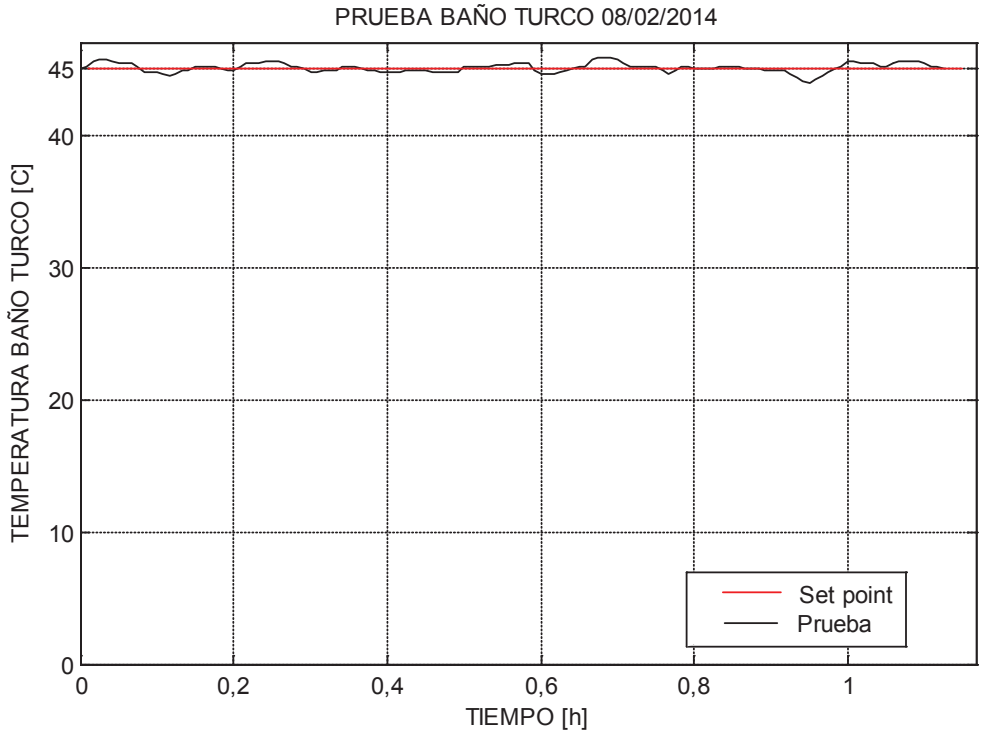


Figura 4.11 Grafica de comportamiento2 para el baño turco

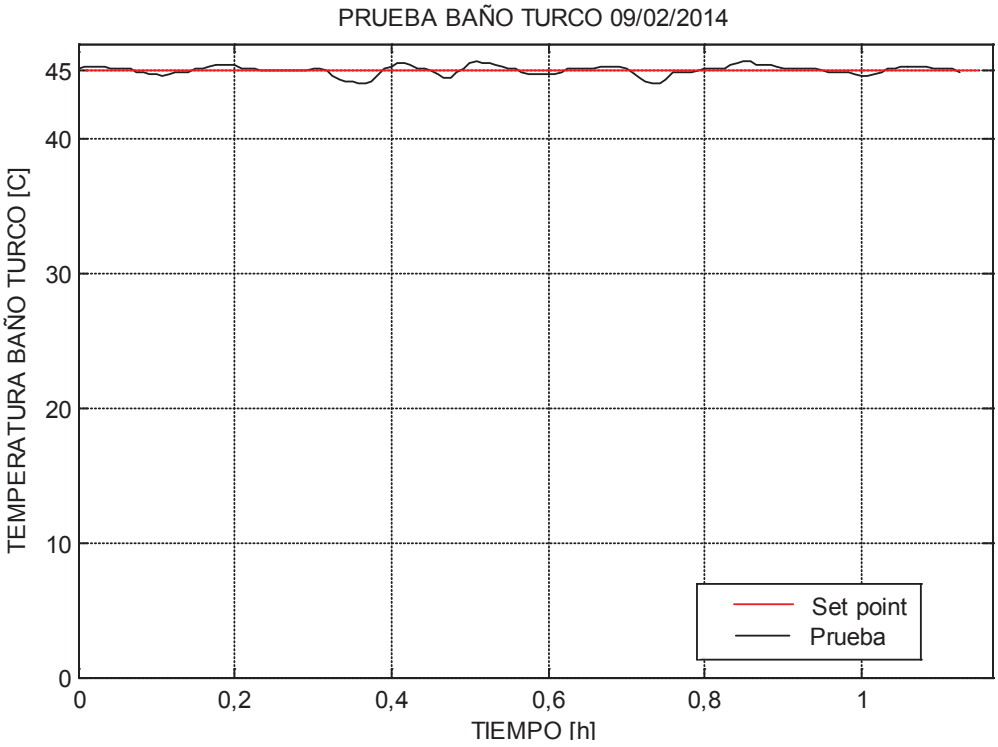


Figura 4.12 Grafica de comportamiento3 para el baño turco

- Errores obtenidos

VARIABLE	MIÉRCOLES	SÁBADO	DOMINGO
	05/02/2014	08/02/2014	09/02/2014
	INICIO 18:00	INICIO 09:00	INICIO 16:30
MEDIA ARITMÉTICA	45,2	45,08	45,03
VARIANZA	0,29	0,12	0,13
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,53	0,35	0,35
ERROR RELATIVO	0,43%	0,17%	0,07%

Tabla 4.3 Errores en la temperatura del baño turco

Como se puede observar en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12, los valores exceden el setpoint seleccionado, esto se debe a que existe una perturbación externa producida por la apertura de la puerta que cierra el recinto, además de una inercia térmica del baño turco, el mayor error es de 0,43% debido a la apertura repetitiva de la puerta, el valor promedio se mantiene cerca de los 45 [°C], con una desviación estándar cerca de 0,5 [°C], éstos valores exceden el setpoint establecido por 0,7[°C], e indican un buen algoritmo de control PI por que el error es menor a un control on/off.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Mediante el conocimiento completo del sistema de generación y transmisión de calor, compuesto principalmente por: un caldero, intercambiadores de calor, tuberías, bombas de agua y válvulas; se logró desarrollar e implementar un sistema de control de temperatura generada por un caldero a diesel en el complejo turístico “El Molino”; el cual en forma autónoma logra elevar y mantener temperaturas de confort en la piscina, hidromasaje y baño turco del lugar, por la acción de válvulas solenoides que administran el paso de vapor, cuya energía térmica se transfiere a los espacios físicos antes mencionados.
- Se obtuvo una mayor fidelidad del caldero mediante un control de supervisión y un sensor de temperatura manejados por una rutina programada en el PLC, la cual puede eliminar la llama del hogar, desenergizando el quemador, si se detecta una falla del control primario R7284 o los sensores ligados a este; logrando así, salvaguardar el equipo y a las personas cercanas a éste.
- Las técnicas de control: on/off realimentada, para la piscina e hidromasaje; y PI, que gobierna un PWM, para el baño turco, logran mantener las temperaturas dentro de los rangos aceptables de confort, lo que da valor agregado al proyecto.
- La investigación y los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, fueron la base para el correcto desarrollo del presente proyecto.
- Es notoria la necesidad de una interacción entre facultades y una conexión de la universidad con el mercado laboral, ya que para realizar este proyecto en específico, aparte de lo aprendido en aulas y laboratorios, es necesario tener conocimientos básicos de mecánica.

- Al tratarse de generación y transmisión de vapor, el proyecto en cuestión tiene un amplio mercado, ya que los calderos por quema de diesel y el vapor producido por éstos, son ampliamente utilizados en hospitales, textiles, complejos turísticos, lavanderías industriales, etc.

5.2. RECOMENDACIONES

- El caldero debe tener un plan de mantenimiento continuo, que se debe cumplir fielmente, ya que además de ocasionar una baja eficiencia en el proceso, una falla grave puede convertir al recipiente en un ente explosivo, poniendo en riesgo la integridad física de las personas.
- Para lograr optimizar la combustión y poder manipular el calor dentro del hogar según la demanda de vapor, conviene implementar un controlador realimentado para la inyección de diesel y aire en el quemador, lo cual permite controlar emisiones de gases y la intensidad de llama producida en el caldero.
- Debido a la operación discreta del actuador (válvula solenoide), no es posible minimizar las variaciones de temperatura en el baño turco; por lo que, para mejorar los resultados obtenidos, es necesario adquirir un elemento que permita manipular el caudal de vapor que ingresa al recinto, obteniendo un control más fino de temperatura.
- Es recomendable incorporar sensores discretos de caudal a la entrada de agua de los intercambiadores de calor protegiéndolos de daño alguno, ya que a una elevada temperatura producida por la falta de circulación de agua, existe el riesgo de torsión de sus tuberías internas. Actualmente se verifica la circulación de agua tocando la tubería plástica a la salida del intercambiador, pero este proceso no es confiable en todo el tiempo de operación.
- Actualmente la alimentación de agua al caldero se la toma directamente desde la vertiente, limpiando periódicamente cualquier acumulación de sedimentos mediante soluciones químicas, por lo cual se puede reducir la vida útil del caldero al largo plazo; en consecuencia, es conveniente implementar filtros

ablandadores de agua, lo cual infiere directamente en la vida del caldero y su confiabilidad de operación.

- La realización de este tipo de proyectos, gestionada por la universidad, es necesaria para complementar la formación académica de los estudiantes; y así, prepararlos a la realidad del campo laboral, además de acercar sus conocimientos a los procesos reales del área empresarial.
- Es aconsejable que la participación de la sociedad en proyectos de titulación sea más cercana, ya que con la ejecución de proyectos reales en diferentes empresas, se beneficia el estudiante tanto como la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] C. &. Brooks, Manual de calderas Selmec, Mexico DF, 1976.

[2] M. Baldriz y S. Hernandez, «Clasificacion de Calderas,» Uruguay, 2011.

[3] S. Machacuay, «Calderos Industriales,» Lima, 2010.

[4] Fi Controles S.A., «Control y Seguridades de Calderas,» Madrid, 2000.

[5] Gas natural fenosa, «Empresa Eficiente,» Gas Natural Fenosa, 2012. [En línea]. Available: http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/sistemas-de-calefaccion-calderas-y-equipos-terminales#ancla.

[6] G. Delgado, «Intercambiadores de calor,» Merida, 2001.

[7] Q. M. A. C. Ramirez, «Hierro Fundido y Hierro Dulce,» Sonora; Mexico.

[8] OXEJALSA, «Electrodo (soldaduras),» Guadalajara, Jalisco; Mexico.

[9] DIPAC Manta S.A, «Tuberia sin costura cdla 40,» Quito.

[10] J. Ezquivel, «Expansor para 2 Pulgadas». Ecuador 10 Marzo 2005.

[11] Tecnología en Valvulas y Tubos, SA de CV, «Acero Inoxidable,» [En línea]. Available: http://www.tecnologiaenvalvulas.com. [Último acceso: 2012].

[12] AUTOMATIONDIRECT, Junio 2007. [En línea]. Available: http://www.automationdirect.com/static/manuals/d006usermsp/d006usermsp.html.

[13] L. Bernal, «Hidroterapia,» de *Fisioterapia*.

[14] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Tercera edición ed., Minnesota: Pearson.

ANEXOS

ANEXO 1

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Las unidades y conceptos más importantes utilizados en este proyecto son:

- **Calor:** energía en movimiento. [1]
- **Transmisión de calor:** flujo de calor a través de un cuerpo, como de un fluido caliente a uno frio a través de una lámina de metal. [1]
- **Ebullición:** conversión de un líquido en vapor.
- **Punto de ebullición:** temperatura en la cual un líquido pasa a gas.
- **Vaporización:** "es el cambio de un cuerpo de la fase sólida o líquida a la fase de vapor" [1]**.**
- **Evaporación:** "vaporización de un líquido que tiene lugar exclusivamente en la superficie libre del líquido" [1].
- **Inflamación:** acción de arder.
- **Punto de inflamación:** mínima temperatura en la cual los vapores de un combustible arden.
- **Condensación:** paso de vapor, o cualquier gas, a fase líquida.
- **Temperatura:** es la medida de intensidad del calor. "La temperatura de un cuerpo, es su estado térmico con referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos" [1]**.**
- **Caloría:** calor necesario para elevar en 1 ^{o}C., un gramo de agua.
- **BTU:** calor necesario para elevar en 1 ^{o}F, la temperatura de una libra de agua. [1]
- **Presión:** fuerza ejercida por el fluido en la unidad de superficie de la pared del recipiente que lo contiene, se expresa en (Kg/cm^2, lbs/pulg^2, bars). [1]

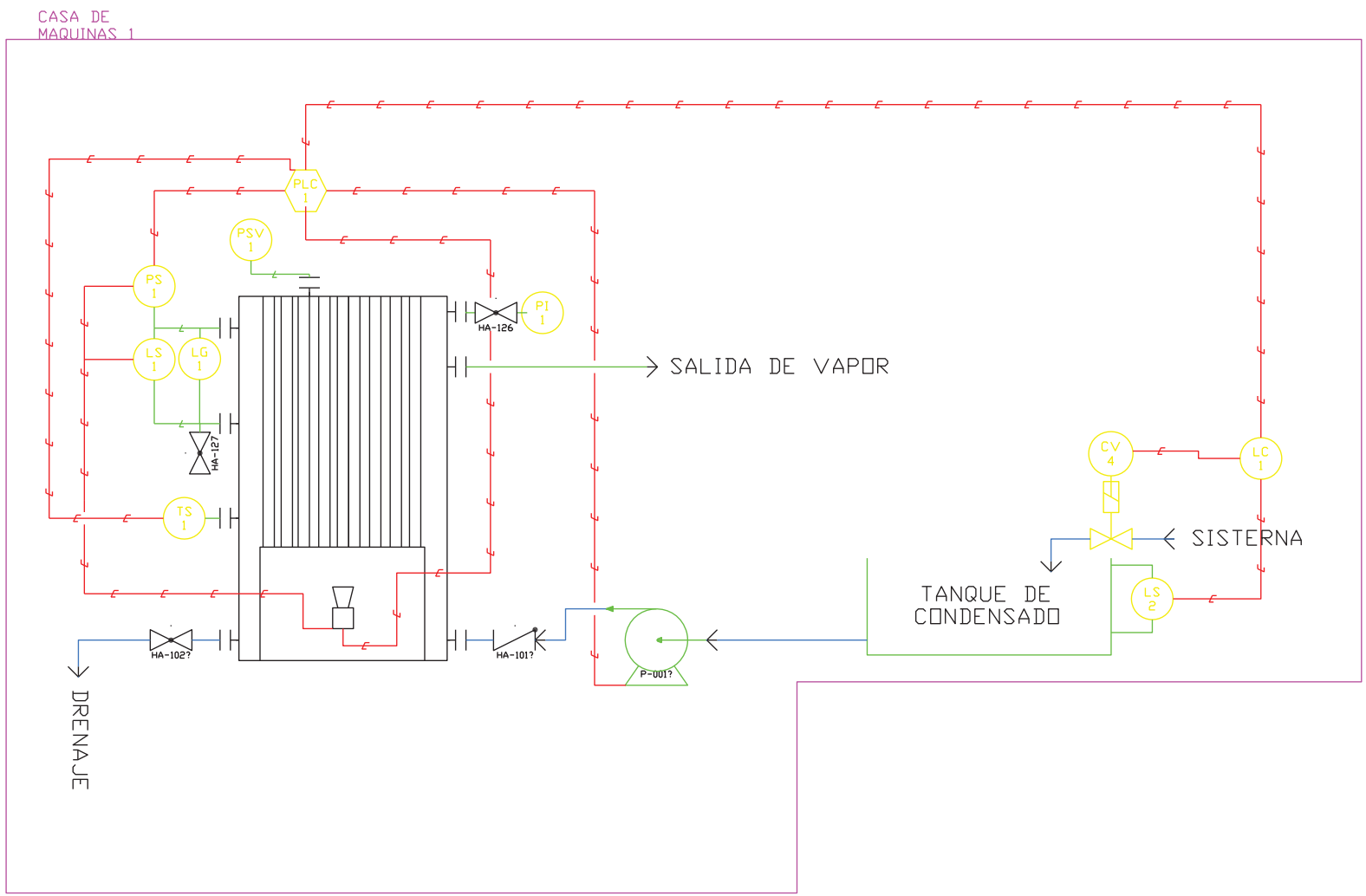
- **Poder calorífico:** cantidad de calor desarrollada por una unidad de combustible.
- **Conducción:** es la transmisión de energía calorífica de partícula a partícula, o entre dos cuerpos. [1]
- **Convección:** “es estrictamente un medio de mover energía de un lugar a otro, ocurre debido a que un fluido en movimiento recoge energía de un cuerpo caliente y la entrega a un cuerpo más frío” [1].
- **Radiación**: es la transmisión de calor por medio de ondas de calor, a través de un cuerpo que puede ser el vacío. [1]
- **Clima:** depende de cuatro parámetros, la temperatura del aire, la radiación de las superficies, la humedad relativa y el movimiento del aire.
- **Confort:** es la sensación agradable y equilibrada.
- **Demanda energética:** es la energía necesaria para mantener condiciones de confort definidas en función del uso del espacio y de la zona climática en la que se ubique.
- **Vapor seco o sobresaturado:** vapor de óptimas condiciones.
- **Vapor húmedo o saturado:** vapor con arrastre de espuma proveniente del agua con alta alcalinidad.

ANEXO 2

LÁMINAS DE DIBUJO

- **DIAGRAMAS P&ID**

- **DIAGRAMAS ELÉCTRICOS**



General Notes

LC	CONTROL DE NIVEL
CV	VÁLVULA SOLENOIDE
LS	SENSOR DE NIVEL
PI	INDICADOR DE PRESIÓN
PLC	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
PSV	VÁLVULA DE SEGURIDAD DE PRESIÓN
PS	SENSOR DE PRESIÓN
LG	VISOR DE NIVEL
TS	SENSOR DE TEMPERATURA

SEÑAL ELÉCTRICA

TUBERÍA CEDULA 40

TUBERÍA DE AGUA

QUEMADOR

BRIDA

HA-101? VÁLVULA CHEK

HA-102? VÁLVULA MANUAL

P-001? BOMBA DE ALIMENTACIÓN

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name

DIAGRAMA P&ID PARA
EL CONTROL DEL CALDERO

Project Name and Address

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN
SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA
GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL
EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"

Area AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

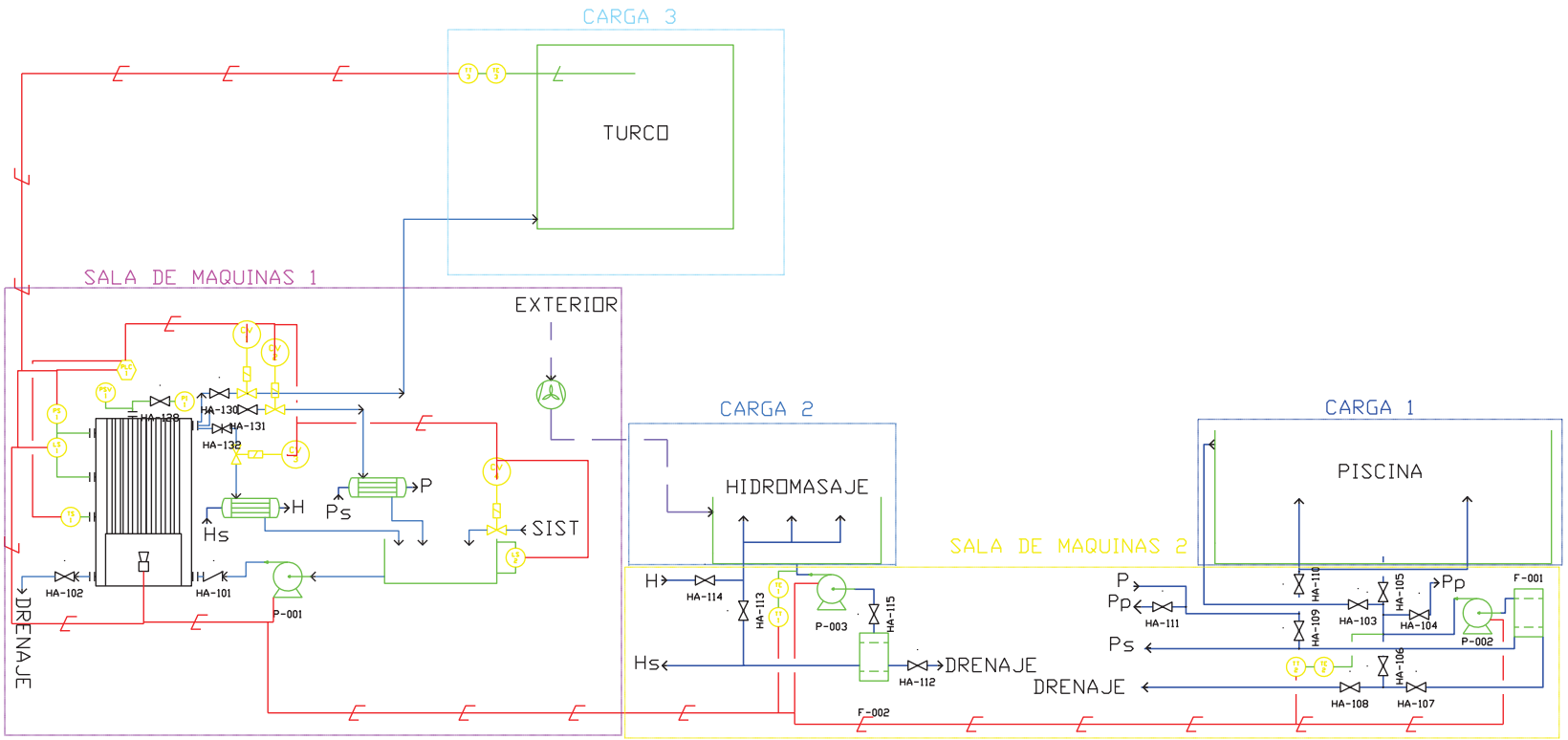
Stamp

Drawing Number

1

Author

FERNANDO TRUJILLO



General Notes

SIMBOLOGÍA:

HA-XXX	Válvula
P-XXX	Bomba de agua
F-XXX	Filtro de arena
CV	Válvula solenoide
TT	Transmisor de temperatura
TS	Sensor de temperatura
LS	Sensor de nivel
PS	Sensor de presión
PSV	Válvula de seguridad de presión
PLC	Controlador lógico programable
PI	Indicador de presión
TE	Sensor de Temperatura
H	Salida caliente al hidromasaje
HS	Entrada del hidromasaje
P	Entrada de la piscina
PS	Salida caliente a la piscina
PP	Piscina pequeña
	Quemador
	Intercambiador de calor
	Blower

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name

DIAGRAMA P&ID PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURISTICO "EL MOLINO"

Project Name and Address

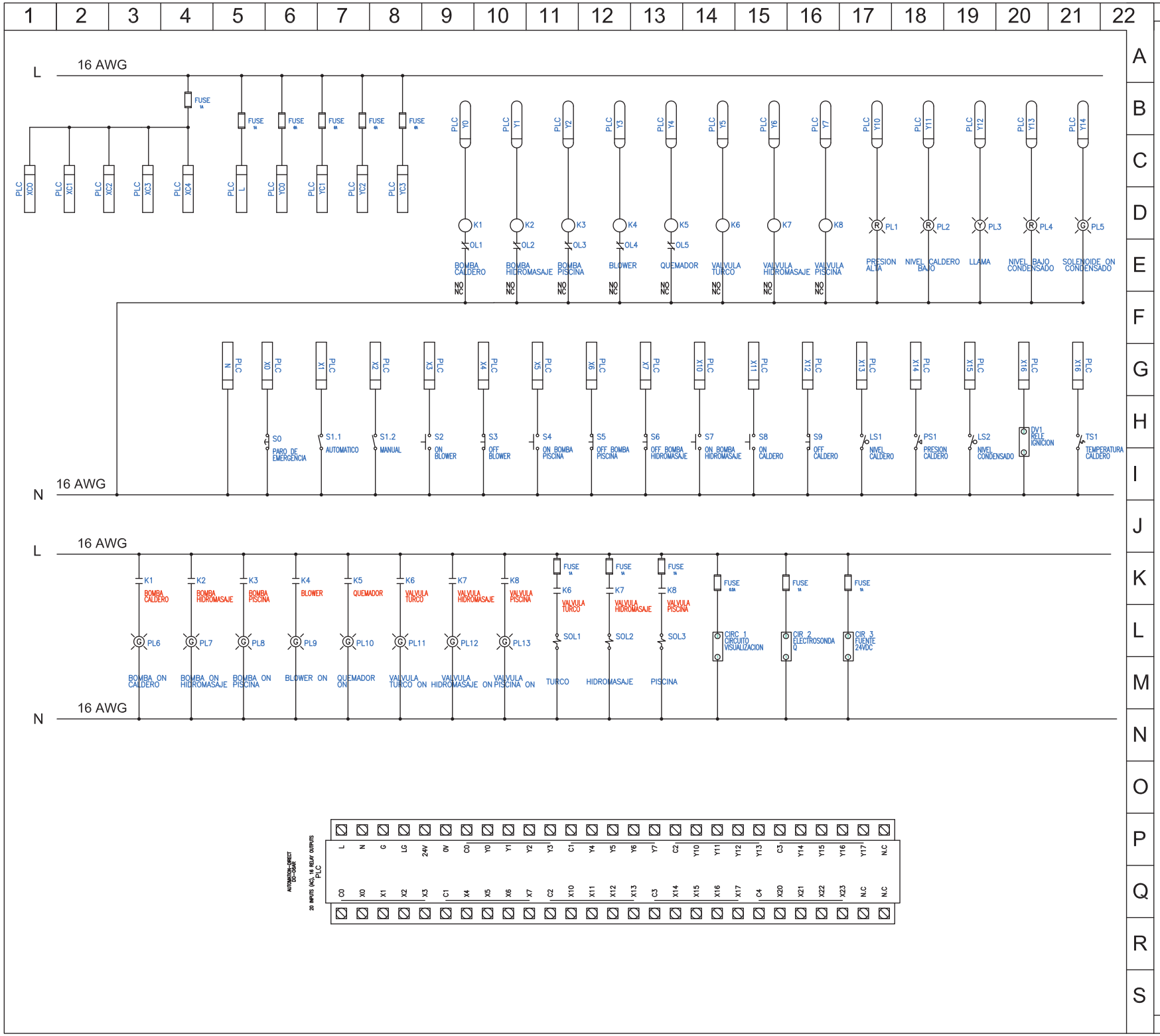
DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURISTICO "EL MOLINO"

Area AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL

Stamp

Drawing Number
2

Author
FERNANDO TRUJILLO



General Notes

XC#	Punto común de entradas del PLC
YC#	Punto común de salidas del PLC
L (C-5)	Alimentación del PLC (linea)
N (G-5)	Allmentacion del PLC (neutro)
Y#	Salida # del PLC
X#	Ebtrada # del PLC
K#	Boblna del contactor #
OL#	Contacto NC del guardamotor #
PL#	Luz plloto roja #
PL#	Luz piloto amarilla #
PL#	Luz piloto verde #
S0	Paro de emergencia tipo hongo
S1.1	contacto 1 del selector 1 (automático)
S1.2	contacto 2 del selector 1 (manual)
S#	Pulsador normalmente ablerto (NA) #
S#	Pulsador normalmente cerrado (NC) #
LS#	Contacto del sensor de nivel #
PS#	Contacto del sensor de presión #
TS#	contacto del sensor de temperatura #
K#	Contacto NA del contactor #
SOL#	Boblna de la válvula solenolde #

No.	Revlslon/Issue	Date

Drawlng Name

DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"

Project Name and Address

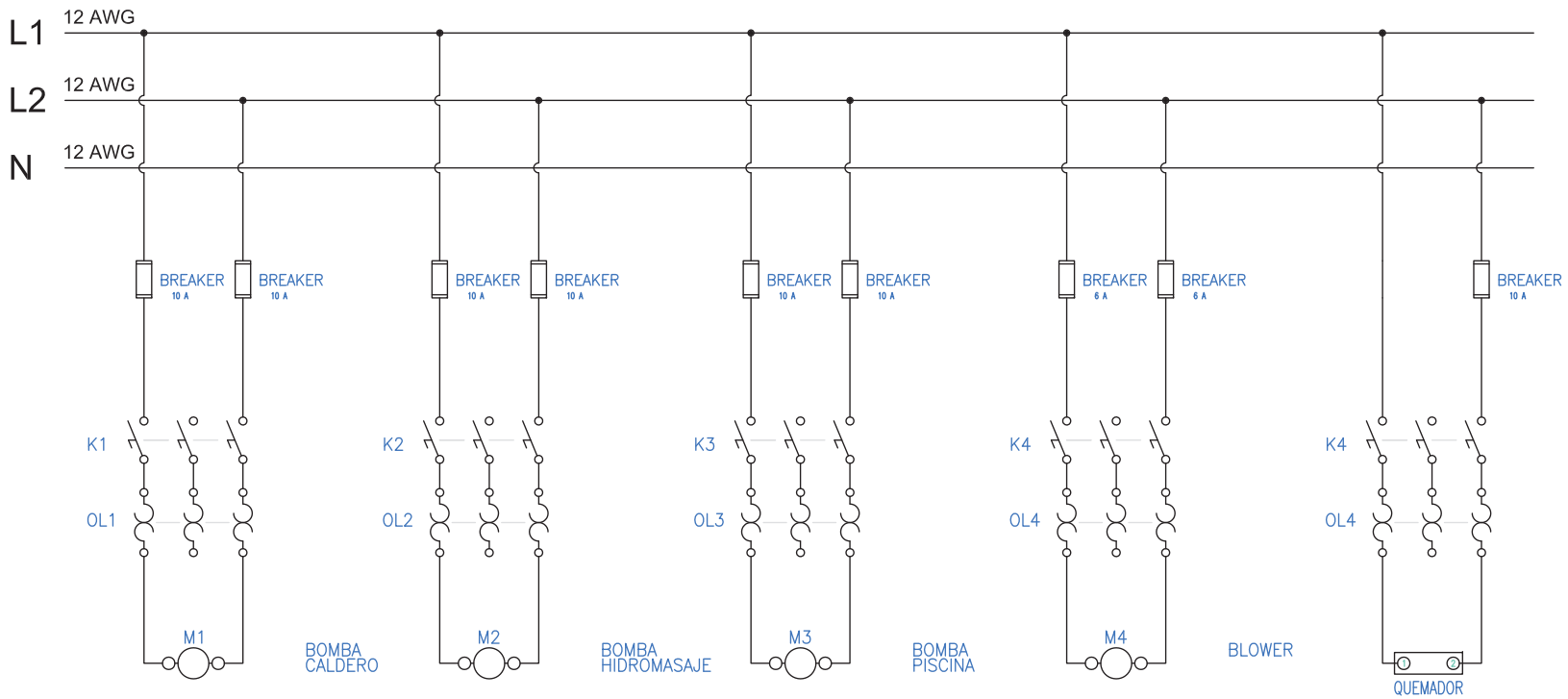
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"

Area: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Stamp

Drawlng Number: 3

Author: FERNANDO TRUJILLO



General Notes

K1	Contactos trifásicos NA (bomba del caldero)
K2	Contactos trifásicos NA (bomba del Hidrom)
K3	Contactos trifásicos NA (bomba del piscina)
K4	Contactos trifásicos NA (blower)
K5	Contactos trifásicos NA (quemador)
OL#	Guardamotor #
M1	Bomba de alimentación del caldero
M2	Bomba del hidromasaje
M3	Bomba de la piscina
M4	Blower
Q (L-20)	Quemador (motor+válvula+R7284)
OL#	Guardamotor #

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name

DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE FUERZA PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"

Project Name and Address

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"

Area: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

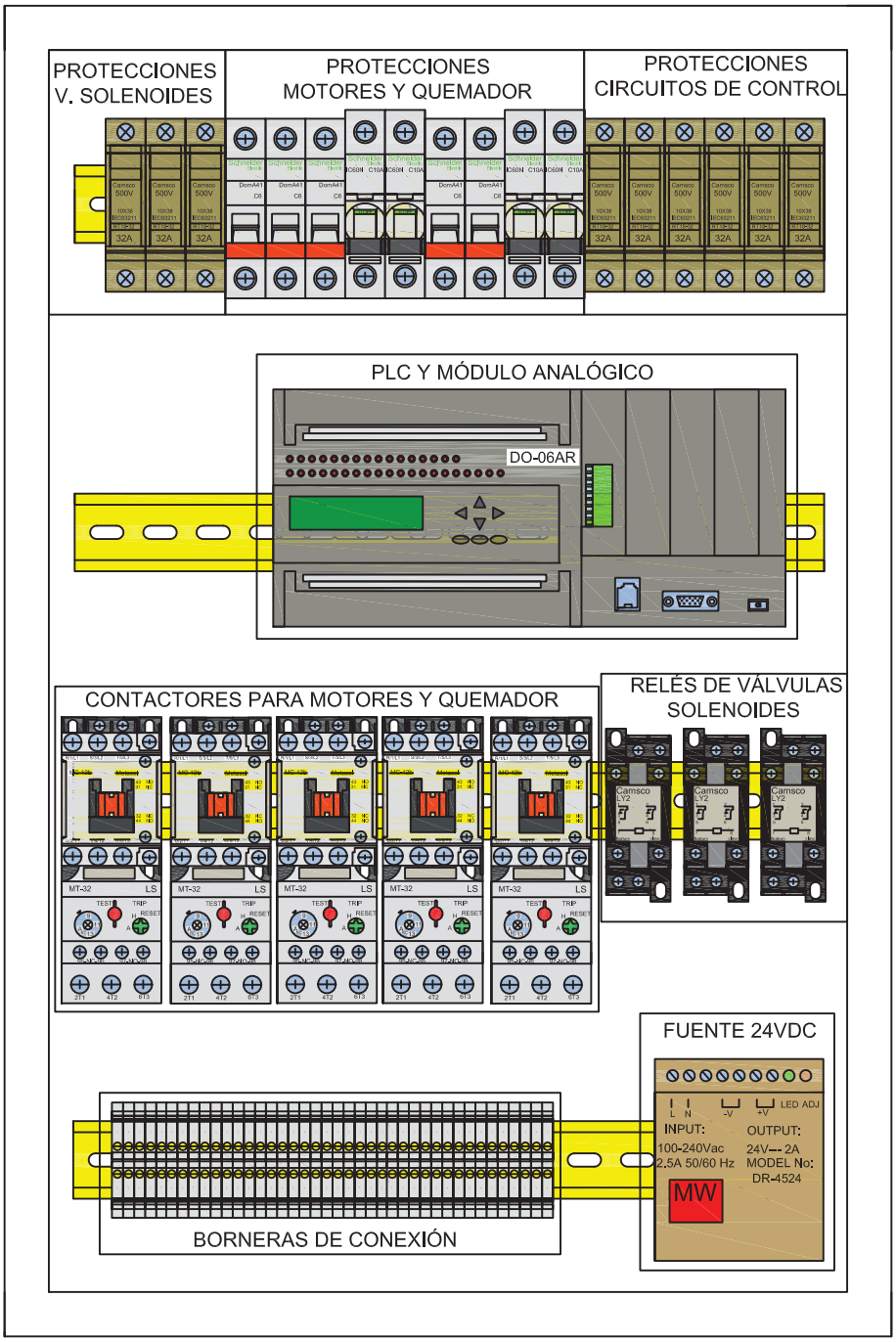
Stamp

Drawing Number: 4

Author: FERNANDO TRUJILLO

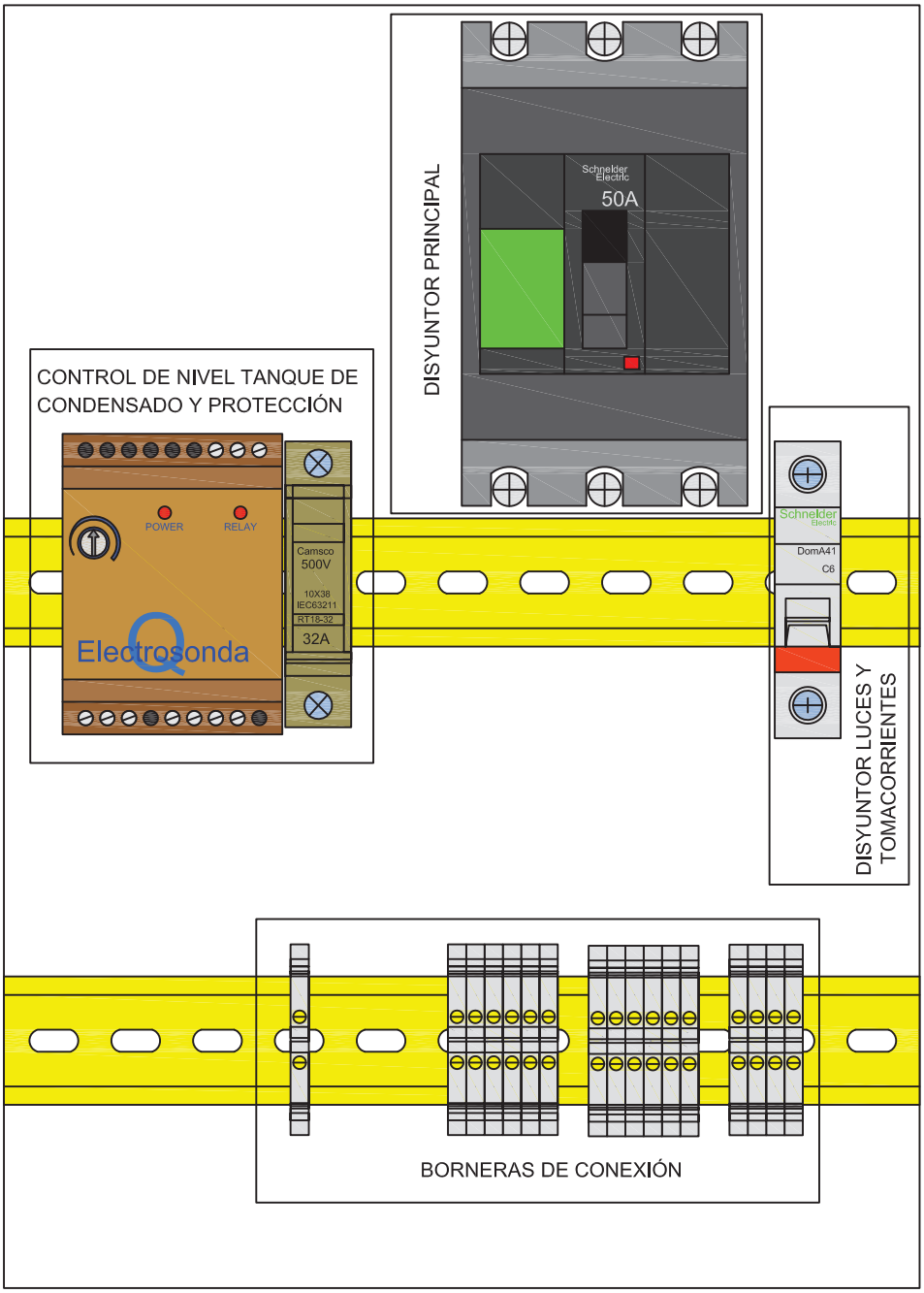
ANEXO 3

- **DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL**
- **DISEÑO DEL TABLERO SECUNDARIO**



Area	Stamp	Drawing Name
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL		DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"
Drawing Number: 5		
Author: FERNANDO TRUJILLO		

Scale	Project Name and Address	No.	Revision/Issue	Date
1cm : 5cm	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"			



Area	Stamp	Drawing Name
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL		DISEÑO DEL TABLERO SECUNDARIO PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"
Drawing Number: 6		
Author: FERNANDO TRUJILLO		

Scale	Project Name and Address	No.	Revision/Issue	Date
1cm : 3cm	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA GENERADA POR UN CALDERO A DIESEL EN EL COMPLEJO TURÍSTICO "EL MOLINO"			

ANEXO 4

MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

Este documento, es un instructivo en el que se detallan los procedimientos básicos de operación del sistema de control de temperatura generada por un caldero a diesel para el complejo turístico “El Molino”. En él se explican los requisitos previos y pasos a seguir para un correcto funcionamiento del sistema de control, para así lograr la temperatura deseada en la piscina, hidromasaje y baño turco del complejo turístico.

ADVERTENCIAS GENERALES

- Leer atentamente las instrucciones de este manual de usuario.
- Este manual de instrucciones es parte esencial del sistema de control de temperatura generada por un caldero a diesel, por lo cual debe guardarse en un lugar accesible para poderlo consultar en cualquier momento.

Este equipo se destina sólo al uso especificado, otro uso se considera impropio; y por lo tanto, peligroso.

Una manipulación incorrecta del equipo o falta de mantenimiento apropiado puede causar daños materiales o personales.

Antes de efectuar cualquier rutina de limpieza o mantenimiento, desconecte el equipo de la red eléctrica mediante el interruptor principal.

En caso de avería o mal funcionamiento del equipo, desconectarlo y acudir a un técnico calificado, hacerlo de igual modo si se debe sustituir un componente.

ADVERTENCIAS ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA

- Revisar que no existan taponamientos en los conductos del sensor de nivel en el caldero, mediante la apertura y cierre de la válvula de purga del visor de nivel mostrada en la Figura 4.13. Al no existir taponamientos se puede observar en el visor de nivel que el agua baja al abrir la válvula y sube al cerrarla.

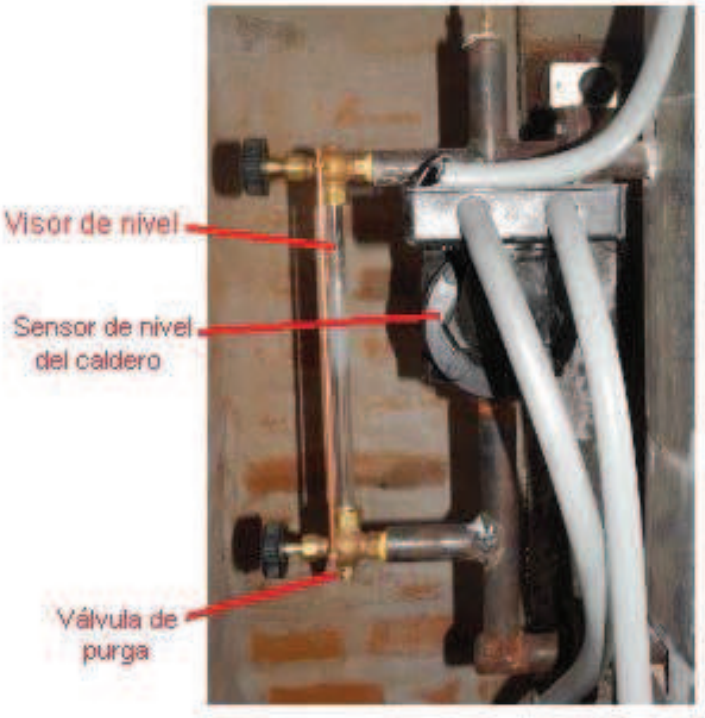


Figura 4.1 Fotografía del visor y sensor de nivel

- Verificar que no existan fugas de agua ni vapor en las uniones del caldero hacia las tuberías (Figura 4.14).

Figura 4.2 brida o unión del caldero

- Verificar que la válvula principal de combustible esté abierta como se muestra en la Figura 4.15.

Figura 4.3 Apertura de la válvula principal de combustible

- Comprobar que la piscina y el hidromasaje contengan agua.
- Verificar que las válvulas manuales para la circulación de agua por los intercambiadores de calor estén abiertas como se observa en la Figura 4.16.

Figura 4.4 Válvula de circulación de agua por los intercambiadores de calor

- Comprobar que circule agua por las tuberías de plástico a la salida de los intercambiadores de calor mediante el tacto como se observa en la Figura 4.17.

Figura 4.5 Comprobando que circule agua por los intercambiadores de calor

- Verificar que las válvulas manuales para la alimentación de vapor al turco e intercambiadores de calor estén abiertas como se observa en la Figura 4.18.

Figura 4.6 Válvulas manuales para alimentación de vapor

⚠ Este equipo no debe ser utilizado por personas con capacidades físicas, sensoriales o mentales limitadas, a menos que actúen balo la vigilancia de una persona responsable de su seguridad o que hayan recibido instrucciones sobre el uso del equipo.

INSTRUCCIONES DE USO

Panel de control

En la Figura 4.19 se muestra el panel de control, mediante el cual se selecciona las formas de operación manual y automático; donde también, se seleccionan las temperaturas para la piscina, el hidromasaje y el baño turco; y por último, se observan las alertas de funcionamiento del proceso.

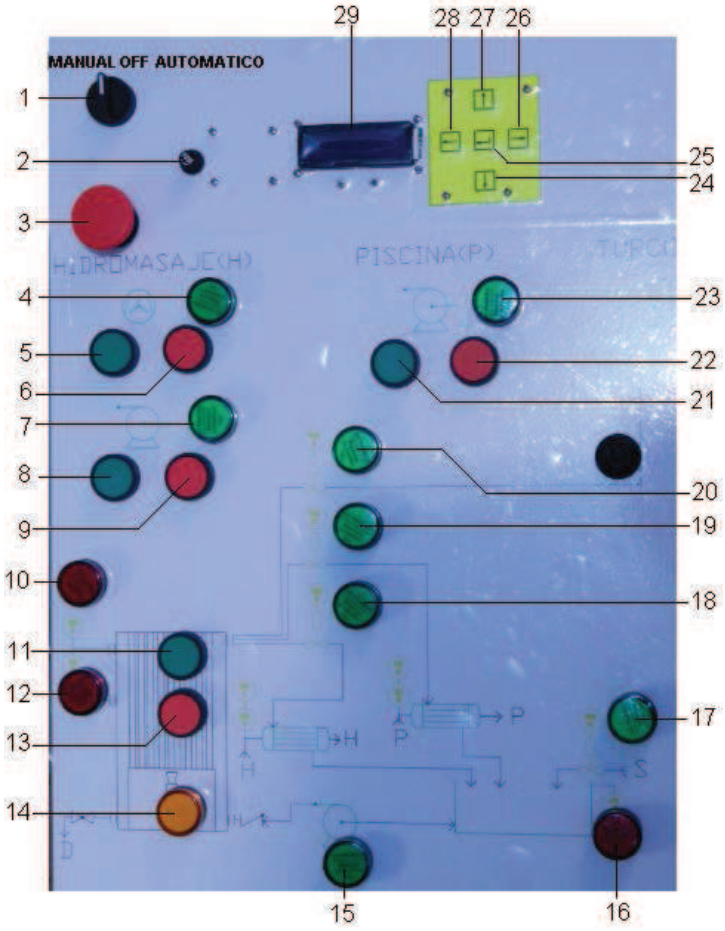


Figura 4.7 Panel de control

LEYENDA:

1= Selector de modo de operación: manual, off y automático.

2= Fusible del interfaz con el usuario (pantalla y teclado).

3= Paro de emergencia.

4= Blower del hidromasaje activado.

5= Activar o programar blower del hidromasaje si es manual o automático respectivamente.

6= Desactivar blower del hidromasaje.

7= Bomba de circulación del hidromasaje activada.

8= Activar bomba del hidromasaje o programar temperatura del hidromasaje si es manual o automático respectivamente.

9= Desactivar bomba del hidromasaje o programar apagado total del sistema si es manual o automático respectivamente.

10= Indicador de presión alta del caldero (mayor a 15 [PSI]).

11= Activar control del caldero (funciona solo en modo manual).

12= Indicador de nivel bajo en el caldero (menor a $\frac{3}{4}$ del volumen del caldero).

13= Desactivar control del caldero (funciona solo en modo manual).

14= Indicador de llama en el hogar del caldero.

15= Bomba de alimentación del caldero activada.

16= Indicador de nivel bajo del tanque de condensado.

17= Válvula solenoide de alimentación del tanque de condensado activada.

18= Válvula solenoide de alimentación de vapor al intercambiador del hidromasaje activada.

19= Válvula solenoide de alimentación de vapor al intercambiador de la piscina activada.

20= Válvula solenoide de alimentación de vapor al baño turco activada.

21= Activar bomba de la piscina o programar temperatura de la piscina si es manual o automático respectivamente.

22= Desactivar bomba de la piscina o programar apagado total del sistema si es manual o automático respectivamente.

23= Bomba de circulación de la piscina activada.

24= Tecla hacia abajo de la interfaz con el operador.

25= Tecla enter de la interfaz con el operador.

26= Tecla derecha de la interfaz con el operador.

27= Tecla hacia arriba de la interfaz con el operador.

28= Tecla izquierda de la interfaz con el operador.

29= Pantalla de la interfaz con el operador.

Encendido y apagado

Cuando el sistema de control de temperatura generada por un caldero a diesel no está alimentado con energía eléctrica, la pantalla se observa como muestra la Figura 4.20.

Figura 4.8 Pantalla (sistema sin energía eléctrica)

Al activar el interruptor principal en el tablero de acometida (Figura 4.21), se inicia el sistema y se observan las siguientes pantallas, según el modo de operación (Figura 4.22).

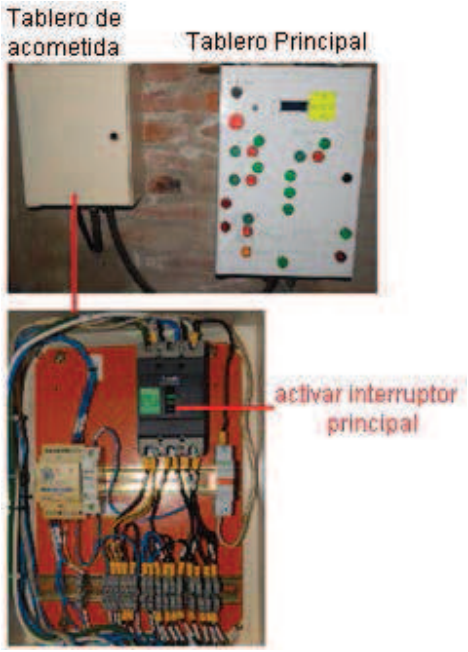


Figura 4.9 Activando interruptor principal

Figura 4.10 Pantalla (sistema energizado)

Para apagar se recomienda pasar al modo OFF antes de abrir el interruptor principal en el tablero de acometida.

Operación en modo manual

Menú

Luego de energizar el sistema, mediante el selector (1 de la Figura 4.19), se escoge el modo de operación manual y aparece la siguiente pantalla (Figura 4.23).

Figura 4.11 Pantalla en modo manual

Al presionar ↓ (24 de la Figura 4.19), se muestra la pantalla inicial del menú (Figura 4.24), donde la segunda fila se refiere que al presionar ↓ (24) de la Figura 4.19 se muestra la siguiente pantalla del menú.

Figura 4.12 Inicio de menú en modo manual

Si se presiona ↓ (24 de la Figura 4.19), se despliega el menú 1 del modo manual (Figura 4.25), donde la primera fila significa que al apagar la bomba de la piscina o hidromasaje (9 y 22 de la Figura 4.19) se apagan sus respectivas válvulas de alimentación de vapor, la segunda fila representa que al presionar → (26 de la Figura 4.19) se abre la válvula de alimentación de vapor de la piscina.

Figura 4.13 Menú 1 modo manual

Si se presiona nuevamente ↓ (24 de la Figura 4.19), se despliega el menú 2 del modo manual (Figura 4.26), donde la primera fila significa que al presionar ← (28 de la Figura 4.19) se abre la válvula de alimentación de vapor del hidromasaje, la segunda fila representa que al presionar ←| (25 de la Figura 4.19) se abre la válvula de alimentación de vapor del baño turco.

Figura 4.14 Menú 2 modo manual

Si se presiona nuevamente ↓ (24 de la Figura 4.19), se despliega el menú 3 del modo manual (Figura 4.27), donde la primera fila significa que al presionar ↑ (27 de la Figura 4.19) se cierra la válvula de alimentación de vapor del baño turco, la segunda fila representa que al presionar ↓ (24 de la Figura 4.19) regresa a la primera pantalla del modo manual (Figura 4.23).

Figura 4.15 Menú 3 modo manual

Lo que se muestre en las pantallas de menú, no influye en la activación o desactivación de los actuadores del sistema de control de temperatura.

Operaciones señaladas en el menú

Revisar la leyenda de la Figura 4.19, ya que las instrucciones del menú se operan mediante botoneras y teclado.

Operación en modo automático

Menú

Luego de energizar el sistema, mediante el selector (1 de la Figura 4.19) se escoge el modo de operación automático y aparece la siguiente pantalla (Figura 4.28).

Figura 4.16 Pantalla en modo automático

Al presionar ↓ (24 de la Figura 4.19), se muestra la pantalla inicial del menú (Figura 4.29), donde la segunda fila se refiere que al presionar ↓(24) de la Figura 4.19 se muestra la siguiente pantalla del menú.

Figura 4.17 Inicio de menú en modo automático

Si se presiona ↓ (24 de la Figura 4.19), se despliega el menú 1 del modo automático (Figura 4.30), donde la primera fila significa que al pulsar 5, 8, 21 y ←| (25) de la Figura 4.19 entra en el modo de programación de temperatura y tiempo de activación de los controles de la piscina, hidromasaje, blower y baño turco, la segunda fila representa que al presionar los pulsadores 9, 22 o ↑(27) de la Figura 4.19 entra en el modo de programación del tiempo de apagado total del sistema.

Figura 4.18 Menú 1 modo automático

Se presiona nuevamente ↓(24 de la Figura 4.19), se despliega el menú 2 del modo automático (Figura 4.31), donde la primera fila significa que al pulsar →(26) de la Figura 4.19 muestra las temperaturas tomadas por los sensores en la piscina, hidromasaje y baño turco, la segunda fila representa que al presionar ←│(25) de la Figura 4.19 entra en el modo de programación de temperatura deseada del baño turco y su tiempo de activación en horas.

Figura 4.19 Menú 2 modo automático

Se presiona nuevamente ↓(24 de la Figura 4.19), se despliega el menú 2 del modo automático (Figura 4.32), donde la primera fila significa que al pulsar ↑(27) de la Figura 4.19 se programa el apagado total del sistema, la segunda fila representa que al presionar ←(28) de la Figura 4.19 muestra las temperaturas y tiempos de activación seleccionadas por el operador para la piscina, hidromasaje, baño turco y tiempo de apagado total del sistema.

Figura 4.20 Menú 3 modo automático

Al presionar nuevamente ↓(24 de la Figura 4.19) regresa a la pantalla de modo automático (Figura 4.28).

En cualquiera de las pantallas mostradas en este literal se puede acceder a las operaciones señaladas en las mismas.

Operaciones señaladas en el menú

Al presionar el pulsador 21 de la Figura 4.19, se muestra la pantalla siguiente (Figura 4.33) donde se programa la temperatura deseada para la piscina y su tiempo de activación en horas (si es 0 se activa al pulsar ←│). Al presionar ←│ ingresan los datos y regresa a la pantalla del modo automático (Figura 4.28).

Figura 4.21 Pantalla de programación para la piscina

Al presionar el pulsador 8 de la Figura 4.19, se muestra la pantalla siguiente (Figura 4.34), donde se programa la temperatura deseada para el hidromasaje y su tiempo de activación en horas (si es 0 se activa al pulsar ←|). Al presionar ←| ingresan los datos y regresa a la pantalla del modo automático (Figura 4.28).

Figura 4.22 Pantalla de programación para el hidromasaje

Al presionar ←| (25) de la Figura 4.19, se muestra la pantalla siguiente (Figura 4.35), donde se programa la temperatura deseada para el baño turco y su tiempo de activación en horas (si es 0 se activa al pulsar ←|). Al presionar ←| ingresan los datos y regresa a la pantalla del modo automático (Figura 4.28).

Figura 4.23 Pantalla de programación para el baño turco

Las variables se modifican mediante el teclado, y para ingresar los datos se presiona ←| , como se muestra en la Figura 4.36.

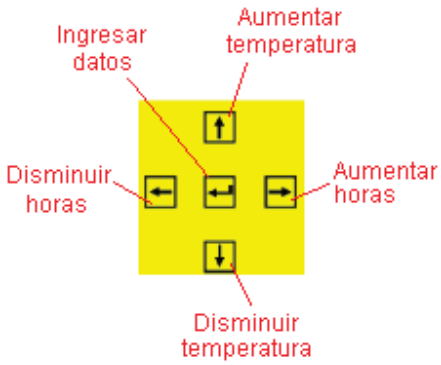


Figura 4.24 Operación del teclado para programar datos de la piscina, Hidromasaje y baño turco

Al presionar el pulsador 5 de de la Figura 4.19, se muestra la pantalla siguiente (Figura 4.37) donde se programa el tiempo que el blower permanece activado y desactivado, si uno de estos tiempos es cero, el blower se activa indefinidamente. Para apagarlo se pulsa el botón 6 del la Figura 4.19.

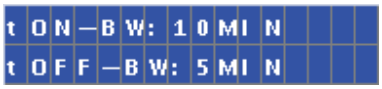


Figura 4.25 Pantalla de programación para el blower

Las variables se modifican mediante el teclado y para ingresar los datos se presiona ←|, como se muestra en la Figura 4.38.

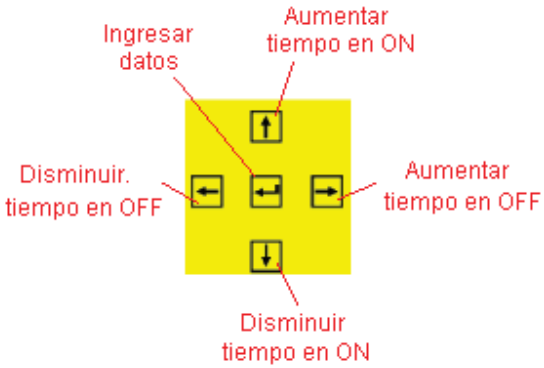


Figura 4.26 Operación del teclado para programar tiempos del blower

Al presionar los pulsadores 9, 22 o ↑(27) de la Figura 4.19, el sistema entra en el modo de programación del tiempo de apagado total, en días(d) y horas(h) mostrando la siguiente pantalla (Figura 4.39).

Figura 4.27 Pantalla de programación para el apagado total del sistema

Las variables se modifican mediante el teclado y para ingresar los datos se presiona ←|, como se muestra en la Figura 4.40.

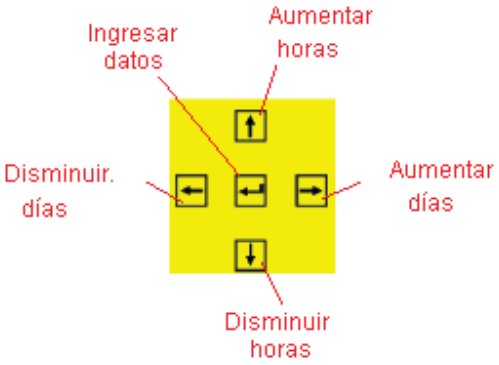


Figura 4.28 Operación del teclado para programar tiempo de apagado total del sistema

Al presionar →(26) de de la Figura 4.19, se muestra la pantalla siguiente (Figura 4.41), donde se muestran las temperaturas tomadas por los sensores en la piscina, hidromasaje y baño turco. Al presionar ←| regresa a la pantalla del modo automático (Figura 4.28).

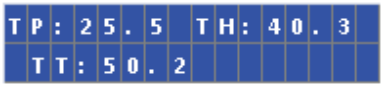


Figura 4.29 Pantalla de visualización de temperaturas tomadas de los sensores

Al presionar ←(28) de de la Figura 4.19, se muestra la pantalla siguiente (Figura 4.42), donde se muestran las temperaturas (T) y tiempos (t) seleccionadas por el operador para el control en la piscina, hidromasaje y baño turco. Al presionar ←| se muestra el tiempo de apagado del sistema, si fue programado y, por último, se pulsa ←| para regresar a la pantalla del modo automático (Figura 4.28).

Figura 4.30 Pantalla de visualización de temperaturas y tiempos seleccionados

Si se programo el tiempo de apagado del sistema al pulsar ←| se muestra la siguiente pantalla (Figura 4.43).

Figura 4.31 Pantalla de visualización de tiempo de apagado del sistema seleccionado

Avisos emergentes

Si se pulsa el paro de emergencia (3 en la Figura 4.19) se desactivan todas los actuadores del sistema de control y se muestra un mensaje mostrado en la Figura 4.44.

Figura 4.32 Pantalla si se pulsa paro de emergencia

Si no hay combustible o si existe falla en la alimentación del mismo hacia el caldero se muestra un aviso en la pantalla mostrado en la Figura 4.45.

Figura 4.33 Pantalla de aviso para revisar combustible

Si la temperatura es elevada en el caldero, lo cual indica que la presión es mayor a 15 [PSI] o que el nivel es menor a $\frac{3}{4}$ del volumen en el caldero, se muestra un aviso en la pantalla mostrado en la Figura 4.46.

Figura 4.34 Pantalla de aviso de temperatura elevada en el caldero

Si se activa la válvula de alimentación de vapor, dirigida hacia el intercambiador de calor de la piscina o el hidromasaje, sin antes activar la bomba respectiva la válvula no se abre y se muestra la pantalla de la Figura 4.47, hasta que se active la bomba de circulación.

☞ ESTA PANTALLA EMERGENTE SOLO APARECE EN EL MODO MANUAL DE OPERACIÓN.

Figura 4.35 Pantalla de aviso para activar bomba de circulación

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Este documento es un instructivo, que permite cumplir un mantenimiento oportuno por medio de rutinas diarias, mensuales y trimestrales con el objeto de lograr un correcto funcionamiento del sistema de control de temperatura generada por un caldero a diesel para el complejo turístico “El Molino”.

Estas rutinas de mantenimiento deben ser realizados por un técnico capacitado.

El mantenimiento oportuno es importante para lograr los siguientes beneficios:

- Aumentar la vida útil del caldero, intercambiadores de calor y componentes del sistema de control.
- Reducir la probabilidad de explosión o incendio en el cuarto de máquinas donde se encuentra ubicado el caldero.
- Mantener un mínimo consumo de combustible de operación.
- Reducir emisiones tóxicas.
- Predecir el periodo de vida útil de los componentes del sistema de control de temperatura generado por un caldero a diesel, para saber cuando se necesita repararlos o reemplazarlos evitando accidentes y paros sorpresivos de operación.
- Garantizar la calidad del proceso.

Rutinas diarias

- Purgar el caldero, por lo menos cada 8 horas de trabajo, mediante la apertura total de la válvula en sentido anti horario como muestra la Figura 4.48.

Figura 4.36 Apertura de la válvula de purga del caldero

- Limpiar la boquilla, entrada de combustible y los contactos para el transformador de ignición (Figura 4.49) cada 72 horas de trabajo.

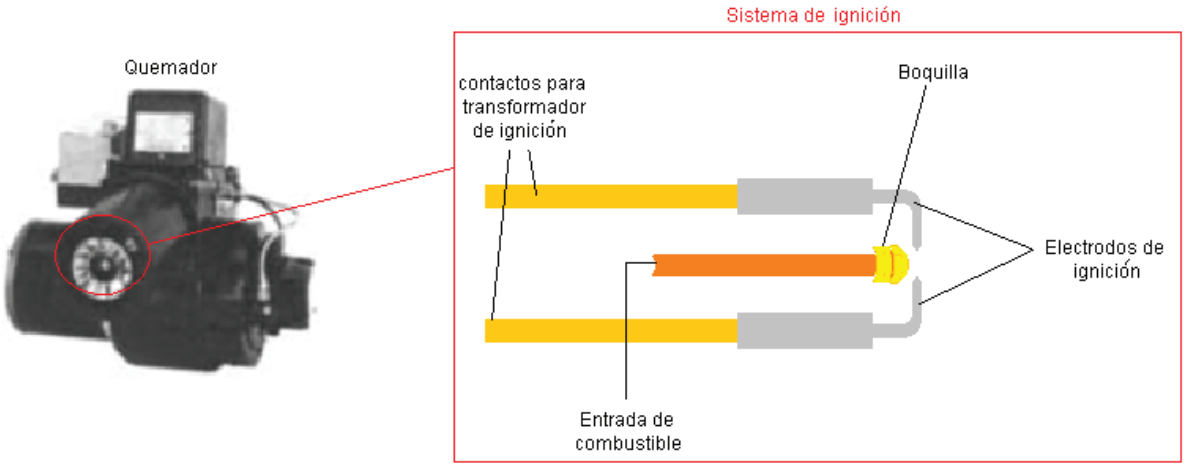


Figura 4.37 Sistema de ignición

- Comprobar el funcionamiento automático del quemador mediante los sensores de presión y nivel.
- Limpiar el filtro de aire del blower y combustible de alimentación para el caldero.
- Verificar la vibración, ruido en las bombas, solenoides y blower.
- Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de agua del proceso.
- Verificar la existencia de fugas de agua o vapor en todas las tuberías.
- Comprobar el color de las emisiones de salida en la chimenea del caldero.

- Verificar el correcto funcionamiento de todos los sensores y actuadores del sistema de control de temperatura, guiándose en las luces piloto del tablero principal.

Rutinas mensuales

- Realizar simulaciones de fallos por: ausencia de combustible, error del control de presión y nivel en el caldero, nivel insuficiente en el tanque de condensados y error del control primario R7284 que controla el quemador.
- Registrar medidas de corriente en todos los motores existentes en proceso.
- Realizar pruebas de disparo en la válvula de seguridad accionando la palanca (Figura 4.38), para así evitar que esta se trabe.
- Añadir químicos necesarios para evitar incrustaciones en el caldero (se realiza este paso si el agua de alimentación no es ablandada previamente).

Rutinas trimestrales

- Deshollinar la chimenea del caldero.
- Inspeccionar el material aislante del caldero.
- Verificar la integridad de los empaques en las bridas del caldero.
- Realizar la limpieza a interior del caldero, verificando mediante espejos u otros equipos que no existan incrustaciones ni agujeros.
- Realizar limpieza de los sensores de nivel y presión del caldero.
- Comprobar el correcto funcionamiento de los fusibles, breakers, relés y contactores del sistema de control de temperatura.
- Realizar la limpieza interna de los intercambiadores de calor.
- Verificar el correcto funcionamiento de las trampas de vapor a la salida de los intercambiadores de calor.
- Registrar medidas de corriente en las válvulas solenoides que alimentan de vapor al baño turco y a los intercambiadores de calor.
- Comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos de medida (transmisores de corriente y RTD).