



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES

TEMA:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA
CALIENTE UTILIZANDO HARDWARE LIBRE EN EL HOSPITAL IESS
LATACUNGA

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Sistemas Computacionales e Informáticos

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Embebidos

AUTOR: Wilmer Santiago Taipe Basantes

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Mauricio Altamirano Meléndez

Ambato - Ecuador
Diciembre, 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“Automatización de sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre en el hospital IESS Latacunga”, del señor, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

Ambato, Diciembre de 2015

EL TUTOR

Ing. M.g. Santiago Mauricio Altamirano Meléndez

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “Automatización de sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre en el hospital IESS Latacunga”. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Diciembre de 2015

Wilmer Santiago Taipe Basantes
C.I: 050282831-2

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública. además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Diciembre de 2015

Wilmer Santiago Taipe Basantes
C.I: 050282831-2

APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORES

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing Edwin Morales P., Mg. e Ing. Santiago Collantes V., Mg. revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado, “**Automatización de sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre en el hospital IESS Latacunga**” presentado por el señor Wilmer Santiago Taipe Basantes de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales L., Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Edwin Morales P., Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Santiago Collantes V., Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATÓRIA

A mis padres y familiares, que con entero sacrificio y abnegación supieron entregar todo de sí para poder cumplir con mi sueño tan anhelado y sobre todo a Dios por darme la vida y la sabiduría necesaria para culminar con mi trabajo de investigación.

Wilmer Santiago Taipe Basantes

AGRADECIMIENTO

Mi eterna Gratitud a la Universidad Técnica de Ambato a la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones en especial a mis maestros que me impartieron todos sus conocimientos Para poder ser un profesional competitivo en la sociedad.

Wilmer Santiago Taipe Basantes

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN COMISIÓN CALIFICADORA	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Resumen	xv
Abstract	xvi
Glosario de términos	xvii
Introducción	xviii
CAPÍTULO I EI PROBLEMA	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Delimitación	2
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 General	3
1.5.2 Específicos	4
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes Investigativos	5
2.2 Fundamentación teórica	7
2.2.1 Sistemas de agua caliente sanitaria	7
2.2.2 Sistema de recirculación de agua caliente	9

2.2.3	Generación industrial de vapor de agua	12
2.2.4	Automatización industrial	15
2.2.5	Sistemas de Control	17
2.2.6	Sensores	18
2.2.7	Transmisores electrónicos industriales	20
2.2.8	Sistemas Embebidos	21
2.2.9	Hardware Libre	23
2.3	Propuesta de Solución	25
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		26
3.1	Modalidad de la investigación	26
3.2	Recolección de información	26
3.3	Procesamiento de la información	27
3.4	Desarrollo del proyecto	27
CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA PROPUESTA		28
4.1	Análisis de las condiciones del sistema	28
4.1.1	Sistema de recirculación de agua caliente	28
4.1.2	Sistema de generación de vapor de agua	32
4.1.3	Instrumentación	35
4.2	Determinación de los requerimientos del sistema	38
4.2.1	Adquisición de las señales del proceso.	38
4.2.2	Actuadores para el proceso	39
4.2.3	Elementos para el sistema de control	40
4.2.4	Elementos para la supervisión del proceso	41
4.2.5	Estructura propuesta	41
4.3	Selección de los componentes	42
4.3.1	Selección de los sensores	42
4.3.2	Selección de los actuadores	45
4.3.3	Selección de los tableros eléctricos	55
4.3.4	Selección de botoneras	57
4.3.5	Selección de los elementos de control	58
4.4	Diseño y construcción del sistema de control	64
4.4.1	Diagrama de bloques del hardware del sistema de control . . .	64
4.4.2	Diagramas esquemáticos electrónicos del sistema de control . .	64
4.4.3	Diseño y construcción de las PCB	76
4.5	Diseño de los planos eléctricos	80
4.5.1	Planos eléctricos	80

4.5.2	Listado de componentes	81
4.6	Instalación de los componentes	85
4.6.1	Montaje de los sensores y actuadores	85
4.6.2	Montaje de los dispositivos eléctricos	87
4.6.3	Cableado del sistema	88
4.7	Desarrollo del programa de control	90
4.7.1	Descripción de software	90
4.7.2	Programa principal	91
4.8	Desarrollo de la Interfaz Hombre Máquina (HMI)	96
4.8.1	Descripción de software	96
4.8.2	Pantalla de presentación de la Interfaz Hombre Máquina.	98
4.9	Pruebas de funcionamiento	99
4.9.1	Pruebas de los sensores	99
4.9.2	Pruebas en los actuadores	105
4.9.3	Pruebas de la interfaz hombre-máquina (HMI)	105
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		107
5.1	Conclusiones	107
5.2	Recomendaciones	108
Bibliografía		109
ANEXOS		114

ÍNDICE DE TABLAS

1	Especificaciones de la válvula reguladora de presión 25PT	30
2	Datos de bomba de recirculación.	31
3	Sensores de temperatura RTD PT100.	43
4	Características de los RTD PT100 WZP-231	44
5	Transmisores de presión.	44
6	Características del STRANS P220(7MF1567)	45
7	Características de las válvulas solenoides 2W500 – 50.	46
8	Características de breaker Schneider Electric.	47
9	Características del contactor LS Industrial Systems.	49
10	Características del relé térmico LS Industrial Systems.	50
11	Características del relé industrial.	51
12	Características del interruptor automático C60HC 210.	52
13	Características de la fuente de 24VDC.	55
14	Características de los tableros eléctricos.	57
15	Características de la botonera.	58
16	Características de las placas Arduino estandar.	59
17	Características del RTC DS3231.	60
18	Características del módulo MAX 31865 PT-100.	61
19	Características de los módulos de RF APC220.	62
20	Características de la lcd 20x4.	63
21	Configuración de los pines del Arduino Mega 2560	66
22	Circuito salida a mosfet	72
23	Diseño en PCB módulo de entradas analógicas.	77
24	Diseño en PCB módulo de salida a triac	78
25	Lista de componentes del tablero de potencia	82
26	Lista de componentes del tablero de control	83
27	Lista de componentes electrónicos del módulo de entradas digitales.	84
28	Lista de componentes del módulo de entradas analógicas	84
29	Lista de componentes del módulo de salida a triac.	84
30	Lista de componentes del módulo salida mosfet	85

31	Lista de componentes electrónicos del módulo de alimentación	85
32	Montaje del tablero de potencia.	87
33	Lectura del RTD PT100 # 1 vs Termómetro de bulbo.	100
34	Lectura del RTD PT100 # 2 vs Termómetro de bulbo.	100
35	Porcentaje de error ε (%) de las temperaturas.	101
36	Datos de temperatura en la mañana.	102
37	Datos de temperatura en la tarde.	102
38	Lectura del transmisor de presión # 1 vs Manómetro # 1	103
39	Lectura del transmisor de presión # 2 vs Manómetro # 2	103
40	Porcentajes de error en la lecturas de presión.	104
41	Porcentaje de error ε (%) total en los transmisores de presión.	104
42	Datos de presión en la mañana.	104
43	Datos de presión en la tarde.	105
44	Prueba de las válvulas solenoides.	105
45	Pruebas de funcionamiento de la bomba de recirculación.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Componentes de una caldera industrial.	13
2	Funcionamiento de las calderas pirutubulares.	14
3	Configuración de la caldera acuotubular.	15
4	Modelo estructurado de un sistemas automatizado.	17
5	Sistema de recirculación de agua caliente.	28
6	Intercambiadores de calor.	29
7	Válvulas reguladores de presión y temperatura 25PT.	29
8	Bomba de recirculación.	31
9	Calderas industriales.	32
10	Sistema de ablandamiento de agua.	33
11	Tanque de almacenamiento de diesel.	34
12	Tanque de servicio diario.	34
13	Tanque de condensado.	35
14	Termómetros de bulbo.	36
15	Manometro de tipo bourdon.	37
16	Válvulas de compuerta.	37
17	Botonera.	38
18	Estructura propuesta.	42
19	Sensor de temperatura RTD PT100 WZP-231	44
20	Transmisores de presión.	45
21	Válvulas solenoide 2W500 – 50.	46
22	Interruptor automático de 35A – 3 fases.	48
23	Contactador de 18A – 3 fases.	49
24	Relé termico	50
25	Relé industrial de 220V AC.	51
26	Interruptor automático de 10A de 2 fases.	52
27	Conductores de instrumentación apantallados.	54
28	Pulsadores	58
29	Arduino Mega 2560.	60
30	RTC DS3231	60

31	Módulo MAX 31865 PT-100.	61
32	Módulos de RF APC220.	63
33	LCD 20x4.	63
34	Diagrama de bloques del hardware del sistema.	64
35	Conexión de los pines del Arduino Mega 2560.	67
36	Circuito de entrada digital	68
37	Circuito del módulo de entradas digitales	71
38	Circuito de salida triac	72
39	Circuito del módulo de alimentación	73
40	Conexión del Max31865 PT 100.	74
41	Conexión del RTC DS 3231.	74
42	Conexión de los módulos de RF APC 220.	75
43	Conexión de la LCD	76
44	Diseño en PCB módulo de entadas digitales	77
45	Módulo de entradas digitales	77
46	Módulo de entradas analógicas	78
47	Módulo de salida a triac	78
48	Diseño en PCB modulo de salidas a mosfet.	79
49	Módulo de salida a mosfet	79
50	Diseño en PCB módulo de alimentación	79
51	Módulo de alimentación	80
52	Instalación de los RTD PT100 en los intercambiadores de calor.	86
53	Montaje de los transmisores de presión.	86
54	Instalación de las válvulas solenoides.	87
55	Montaje del tablero de control.	88
56	Cableado del circuito de control.	89
57	Cableado del circuito de potencia.	89
58	Esquema general del sistema automático.	90
59	Diagrama de flujo general.	92
60	Diagrama de flujo de lectura de temperatura.	93
61	Diagrama de flujos de lectura de los sensores de presión.	93
62	Diagrama de flujos de control de válvulas solenoides.	94
63	Diagrama de flujo de control de la bomba de recirculación.	95
64	Diagrama de bloques de la lectura del DS3231.	95
65	Interfaz gráfica del sistema.	99
66	Supervisión del sistema desde la HMI.	106
67	Monitorización del sistema.	106

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la Automatización del sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre en el hospital IESS Latacunga, el sistema está compuesto por una interfaz gráfica en un computador, un sistema embebido remoto de adquisición y control de datos y un sistema de comunicación inalámbrica. La automatización de este proceso permitirá supervisar la temperatura de los intercambiadores de calor y presión que entrega la válvula reguladora 25PT, controlando la producción de agua caliente por medio de la apertura y cierre de electroválvulas a través de las señales emitidas por los sensores de temperatura y la activación automática de la bomba para la recirculación del agua .El sistema opera por medio de señales que serán admitidas y procesadas por un sistema embebido construido con hardware libre. El mismo que está construido mediante un módulo principal de procesamiento de datos, que realiza las gestiones de control y coordina la comunicación con los módulos secundarios, para que interactué con el mundo exterior adquiriendo señales provenientes de sensores y activando los elementos finales de control, la transmisión de información, se realiza de forma inalámbrica obteniendo una drástica reducción en el cableado y complejidad de interconexión. La interfaz gráfica se realizó en Python el cual permite la supervisión funcionamiento del sistema de forma dinámica al operario, con la automatización del sistema se pretende reducir pérdidas de tiempo de trabajo, evitar riesgos laborales, perdidas de continuidad del agua caliente y detectar fallas en el sistema mejorando la producción y logrando de esta manera aumentar la eficiencia del proceso.

ABSTRACT

The present project consists of the Automation of hot water recirculation using Open hardware at the IESS Hospital of Latacunga, which is made of graphic interface in a computer, a remote embedded system for acquiring data and a wireless communication system. The automation of this process will allow supervising temperatures of the heat exchangers, pressure that the regulating valve 25PT delivers, in order to control hot water production by means of an opening and the activation of a recirculating bomb in an automatic way using signals that will be admitted and processed by an embedded system built with free hardware. The control system is made by means of a main module for processing data, which carries out the control management and coordinates the communication with secondary modules so that they interact with the exterior module acquiring signals coming from sensors and activating final control elements, due to the fact that the system does not require much information transmission, wireless communications takes place. Thus, obtaining a drastic reduction in wiring and complex interconnections. The graphic interface was carried out in the software Python for monitoring the temperature, pressure and the control for starting the electric valves and the recirculating bomb in real time. With the automation of the system, it is attempted to reduce work time loss, flowing running water continuity and avoid failure on the recirculating bomb, thus improving the production and managing to increase the efficiency of the process.

Glosario de términos

- **PCB:** Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impreso)
- **MySQL:** Sistema de Gestión de Bases de Datos
- **ACS:** Agua Caliente Sanitaria
- **HDL:** Lenguaje de Descripción Hardware
- **GPL:** General Public License (Licencia Pública General)
- **CAN:** Controller Area Network (Protocolo de Comunicación Industrial)
- **VGA:** Video Graphics Array (Adaptador Gráfico de Video)
- **RTD:** Resistance Temperature Detector (Detector de Temperatura Resistivo)
- **SPI:** Serial Peripheral Interface (Interfaz Periférica Serial)
- **I2C:** Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados)
- **LCD:** Pantalla de Cristal Líquido
- **IDE:** Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)
- **RTC:** Reloj de Tiempo Real
- **PLC:** Controlador Lógico Programable
- **HMI:** Interfaz Hombre Máquina
- **ICE:** Industrial Communication Engine (Comunicación Industrial Engine)
- **OPC:** OLE For Process Control (Estandar de comunicación para supervision y control de procesos industriales)
- **RF:** Radio frecuencia
- **GUI:** Interfáz Grafica de Usuario
- **PYPI:** Python Package Index (Es un repositorio de software para el lenguaje de programación Python)
- **API:** Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)

INTRODUCCIÓN

El control automático de procesos es parte del progreso industrial lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial el uso de la ciencia del control automático es producto de una evolución de las técnicas de medición y control, durante los últimos años el control industrial ha tenido varios cambios como la aparición de la electrónica que en la actualidad favorece a la fabricación de automatismos complejos que permite a las empresas tener versatilidad en las funciones técnicas.

Esta investigación se desarrolla con el objetivo de proporcionarle al Hospital IESS Latacunga un sistema de supervisión y control automático para el proceso de generación de agua caliente que mejoré el ambiente de trabajo del personal de mantenimiento y brindar de mejor forma el servicio de agua caliente el mismo que está estructurado por sistemas embebidos de plataforma libre, el sistema de control está construido por un módulo principal que es la placa de desarrollo Arduino esta placa es la encargada de adquirir señales, procesar datos y coordinar comunicaciones con los dispositivos secundarios, la automatización de este proceso permitirá supervisar las temperaturas de los intercambiadores de calor y también la presión que entrega la válvula reguladora 25 PT además de esto controla la apertura y cierre de las válvulas solenoides y el control por tiempos de la bomba de recirculación.

Para la implementación del sistema se emplean fases de elaboración de automatismos con tecnología de tipo lógica programada en la que se emplea la electrónica haciendo uso de microcontroladores y sistemas informáticos. Se elabora organigramas para el desarrollo del sistema de control así como de la interfaz gráfica (HMI) las mismas que fueron programadas en software de código abierto.

Este proyecto pretende reducir las pérdidas de tiempo de trabajo, la interrupción del proceso de agua caliente y sobre todo evitar las fallas del sistema facilitándole al operario un control eficiente y eficaz, proporcionándole datos reales con un margen de error del 1%. Este proyecto también esta encamino a la prevención de riesgo

físicos del operario que se encargan de controlar y supervisar el funcionamiento del sistema, en especial de el excesivo ruido que producen las máquinas que con el tiempo provocaran en los operarios pérdidas de audición.

El presente proyecto de investigación esta estructurado por capítulos que se desplazan de la siguiente manera.

El capítulo uno se explica el problema de investigación a ser desarrollado en el cual incluye el planteamiento del problema, delimitación, justificación y objetivo del proyecto.

El capítulo dos se expone información para el desarrollo del proyecto, contiene los antecedentes investigativos, fundamentación teórica y la Propuesta de solución.

El capítulo se indica la modalidad de la investigación realizada en el proyecto, esta compuesta por la recolección de información, Procesamiento de la información y el desarrollo del proyecto.

El capítulo se desarrolla la propuesta la misma que incluye un análisis de las condiciones actuales, determinación de los requerimientos, selección de los componentes, diseño y construcción del sistema de control, diseño de planos eléctricos, instalación de los componentes, desarrollo del programa de control, desarrollo de la interfaz gráfica (HMI) y se realizan las pruebas de funcionamiento.

El capítulo cinco contiene las conclusiones y recomendaciones del desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema de Investigación

Automatización del sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre en el hospital IESS Latacunga.

1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial la automatización de los procesos industriales ha avanzado vertiginosamente a la par del desarrollo tecnológico, convirtiéndose en una necesidad para todas las industrias. Los avances tecnológicos de las últimas décadas han incidido fuertemente en el aumento de la productividad y aprovechamiento de los recursos, pudiéndose afirmar que casi el 95 % de la producción industrial mundial es controlada por sistemas de controles automáticos o semiautomáticos [1].

La automatización de procesos industriales se extiende rápidamente, debido principalmente al elevado crecimiento del parque industrial, las mismas que buscan mejorar su productividad optimizando recursos. Pero para ello se requiere de un sistema integral de automatización, actualmente existen muchos sistemas integrales de automatización en el mercado desde los más robustos hasta los más modestos, sin embargo todos ellos implican una inversión que algunas pequeñas y medianas industrias no están dispuestas a realizar [2]. Esto ha causado el incremento de la necesidad de búsqueda de nuevas alternativas de automatización.

El Hospital IESS Latacunga funciona por varios años al servicio de la comunidad, tiene una gran cantidad de médicos, empleados y pacientes que se atienden diariamente, por lo que el hospital utiliza energía eléctrica, vapor y agua caliente en abundancia.

El suministro de agua caliente para el hospital IESS Latacunga es fundamental, debido a que gran parte es utilizada en la higiene personal de empleados, médicos

y pacientes. Además se ocupa en actividades que se realizan en la cocina y en las terapias del área de rehabilitación.

El proceso de generación de agua caliente del hospital, cuenta con un sistema de generación de vapor industrial compuesto por dos calderas pirotubulares que funcionan mediante combustible (diésel), el vapor de agua producido pasa por una válvula reguladora de presión y calientan directamente dos intercambiadores de calor, estos seden el calor al agua contenida y luego mediante la red de suministro es distribuida por todo el hospital , el sistema está ubicado en la casa de máquinas en una área apartada del hospital, por lo que el agua caliente realiza un largo recorrido dentro del cual a veces se revuelve con agua fría, siendo difícil que llegue el agua en su estado requerido.

En la actualidad el sistema de recirculación de agua caliente implementado en el hospital IESS Latacunga es realizado de un modo manual, debido a esto el control es ejecutado de forma empírica sin obtener datos con precisión, basándose en el conocimiento y experiencia del personal técnico con el que cuenta el hospital. Al no contar con una tecnología moderna y eficiente que realice de forma automática el proceso de recirculación de agua caliente, el personal tiene que dirigirse hacia la casa de máquinas para operar el sistema y tomar mediciones, lo cual ocasiona inconvenientes como aumento de horas de trabajo del personal, control inadecuado de temperatura y presión del sistema y riesgos físicos para el operador que se encuentra en contacto con la maquinaria.

1.3. Delimitación

- **CAMPO:** Ingeniería Electrónica y Comunicaciones
- **ÁREA ACADÉMICA:** Física y Electrónica
- **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas Electrónicos
- **SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas embebidos
- **DELIMITACIÓN ESESPACIAL:** La presente investigación se realizó para el Hospital IESS Latacunga, ubicado en la Av. Quito y Atahualpa del cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi.
- **DELIMITACIÓN TEMPORAL:** El presente proyecto se desarrollado en siete meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4. Justificación

La automatización de máquinas o procesos es muy importante debido a que el control manual de algunos procesos presenta pérdidas de tiempo y de recursos. Además se ha extendido la búsqueda de nuevas alternativas de automatización empleando sistemas embebidos con hardware libre que proporcionen sistemas de control robustos y puedan ser aplicados en los procesos industriales para el desarrollo de las industrias. El sistema de recirculación de agua caliente del hospital IESS Latacunga requiere de constante control y supervisión, por tal razón es imprescindible implementar un sistema automatizado que permita generar mayor eficiencia y seguridad en todo el proceso.

El presente proyecto de investigación es justificable, debido a su impacto y en virtud de dar una mejor alternativa de control y supervisión del sistema de recirculación de agua caliente del hospital, de igual forma la automatización del sistema brinda mayor confianza y tranquilidad al personal técnico obteniendo con ello un control automático que permite controlar las variables relacionadas en el proceso y detectar efectivamente los puntos de falla en la etapa de recirculación.

La ejecución de este proyecto beneficia tanto al personal técnico del área de mantenimiento del hospital IESS Latacunga, ya que ellos son quienes operan el sistema, así como indirectamente al personal médico y pacientes, quienes utilizan el servicio de agua caliente.

El desarrollo del proyecto de investigación es factible, debido a que las autoridades correspondientes de seguridad y salud en el trabajo y el departamento de mantenimiento del hospital IESS Latacunga determinaron su viabilidad, por lo que autorizaron su ejecución. Además, técnicamente es factible de implementar ya que está inmerso en el conocimiento moderno de sistemas electrónicos, y en nuevas alternativas de automatización de procesos industriales utilizando hardware y software libre.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Automatizar el sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre en el hospital IESS Latacunga.

1.5.2. Específicos

- Realizar un estudio de las condiciones actuales del sistema de recirculación de agua caliente implementado en el hospital IESS Latacunga.
- Seleccionar los dispositivos y equipos idóneos para la instrumentación del sistema.
- Desarrollar un programa que ejecute la rutina de control adecuada para el funcionamiento del sistema de recirculación de agua caliente.
- Construir un sistema de interfaz Hombre-Máquina (HMI) para controlar y supervisar el proceso.
- Implementar el sistema automatizado de recirculación de agua caliente en el Hospital IESS Latacunga.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

Una vez revisado el repositorio de la biblioteca de la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, se concluye que no reposan proyectos de investigación similares, por lo que básicamente el proyecto que se propone es inédito y servirá como antecedente a próximas investigaciones, en este sentido únicamente existen trabajos investigativos similares, de los cuales se realizó una revisión y a continuación se presenta las ideas más relevantes para el presente caso:

En el proyecto de grado de Cristhian Durán y Xavier Iturriago de la Universidad de Pamplona de Colombia, se plantea un diseño de automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la tecnología ZigBee. En el desarrollo de este trabajo se ha introducido el protocolo de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.15.4 como una herramienta versátil para la autoaaaaaaaaaaaaamatización de procesos desde un sitio remoto, donde se llevan a cabo las acciones como la adquisición de datos, realizar mediciones de nivel y volúmenes de agua, suministrar y llenar el tanque de forma manual y automática haciendo uso de la herramientas computacional LabView para la instrumentación virtual. El proyecto fue diseñado para suprimir las conexiones físicas mediante cables para proporcionar mayor flexibilidad al sistema[3].

En el trabajo de maestría de Linda Durán y Nelson Rosas de Universidad de San Buenaventura de Bogotá, se propone una plataforma de hardware y software abierta para aplicaciones en procesos de automatización industrial, partiendo del desarrollo de hardware copyleft como parte del proyecto linuxencaja y del sistema de control de procesos open source Proview. Mediante el uso de estos dos proyectos se realiza la implementación del esquema cliente/servidor que soporta protocolo industrial ModBus serial y ModBus sobre Ethernet, en una arquitectura basada en la tarjeta Stamps del proyecto linuxencaja. Además se construye un módulo de entradas

analógicas para la adquisición de señales proveniente de sensores industriales y un módulo de salidas discretas para accionamiento de actuadores[4].

Las Jornadas de Computación Empotrada (JCE) de Madrid expone un proyecto sobre el desarrollo de sistemas industriales mediante dispositivos empotrados basados en Java a cargo de José Gutiérrez y su grupo de investigadores, en el cual se realiza una comunicación entre controlador lógico programable (PLC) e interfaz hombre maquina (HMI) con dispositivos empotrados del fabricante Texas Instruments AM3359 ICE (Industrial Communication Engine) y AM3358. Se utiliza Java ES como middleware que proporciona una abstracción del hardware y la plataforma orientada a servicios Dynamic Open Home-Automation (DOHA) para solventar los problemas de interacción y comunicación con sistemas HMI. Además se plantea el desarrollo de un servidor OPC UA compatible con sistemas HMI ya existentes[5].

En el trabajo investigativo para la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación, elaborado por Cintya Paspuezán de la Universidad Técnica del Norte denominado: “Monitoreo del nivel de agua en los tanques de la subestación azaya de la empresa EMAPA-I a través de una red inalámbrica basada en IEEE802.11A”, se desarrolló un sistema de supervisión del nivel de agua, compuesto por una interfaz gráfica en computador, un dispositivo remoto de adquisición de datos, y un sistema de comunicación basado en el estándar IEEE802.11a, este sistema permite tener un control centralizado sobre el nivel del agua en cada uno de los tanques, con lo que permite tomar decisiones oportunas en caso de que se presenten valores críticos. Este sistema presenta la ventaja de que con algunos cambios de software y hardware puede adaptarse a la necesidad que tenga la institución sobre el sistema de monitoreo del nivel de agua. La interfaz hombre-máquina se realizó en LabVIEW, permitiendo mostrar en pantalla los niveles de cada uno de los tanques y guarda la información en un archivo para el posterior análisis de los resultados[6].

El trabajo de fin de carrera desarrollado por Alberto Martínez denominado “Controlador Modular Programable, basado en procesador de 32 bits y CAN bus” de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de la Rioja de España consiste en el diseño hardware de un PLC basado en microcontrolador de 32 bits, escalable modularmente por medio de CAN bus y compatible con plataforma Arduino, cuyas especificaciones técnicas son comparables a los PLC’s industriales básicos, además se desarrolló una aplicación de código abierto para aplicaciones de control y monitorización industrial. Se trata de un sistema prototipo en el que se diseñaron las tarjetas PCB, las comunicaciones y software de programación de

tarjetas chipKIT, junto con el diseño de software de supervisión a través del lenguaje de programación visual, así como la posterior puesta en marcha e integración en las comunicaciones creadas y diseñadas (Puerto USB y CAN bus)[7].

El trabajo de investigación elaborado por Christian Moya previo el grado de Ingeniero Eléctrico/Electrónico de la Universidad San Francisco de Quito denominado “Software orientado a sistemas de control HMI/Scada usando recursos libres y de código abierto, desarrollado sobre plataforma Linux” se realizó el diseño, desarrollo e implementación de una aplicación o software de generación de sistemas HMI/Scada, usando software libre y de código abierto. Esta aplicación que se llama CM se escribió en lenguaje de programación Python y se implementó sobre el sistema operativo Linux. La aplicación creada pretende convertirse en una alternativa libre y de código abierto, del software propietario de desarrollo de sistemas HMI/Scada. En total se tienen tres módulos independientes, el primero de los cuales es un Servidor Scada para la adquisición de datos del proceso. En la aplicación CM se desarrolló un sistema completo de gestión de información, mediante base de datos MySQL, la cual permite administrar y procesar los datos del proceso, esta aplicación es capaz de controlar un proceso industrial de varias variables y en tiempo real [8].

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Sistemas de agua caliente sanitaria

Los sistemas de agua caliente sanitaria (ACS) distribuyen agua de consumo sometida a algún tratamiento de calentamiento hasta los puntos de consumo, mediante una red de tuberías exclusivas para este servicio. Estos sistemas están muy extendidos en nuestra sociedad. En la actualidad se considera el agua caliente como un requisito de confort imprescindible en la vida de los seres humanos.

Los sistemas de agua caliente pueden clasificarse atendiendo su función, se pueden dividir en exclusivos cuando la caldera o el generador de calor solo se dedican a la producción de agua caliente, o en mixtos cuando la caldera se dedica a la producción de agua caliente y calefacción. En una instalación de agua caliente se debe tener en cuenta que es indispensable el aislamiento térmico de las tuberías y de los depósitos que contengan el agua caliente para no tener pérdidas de calor innecesarias. Dependiendo de cómo se caliente el agua, la producción de ACS puede ser: instantánea o por acumulación mediante depósitos de agua caliente o mediante un sistema de recirculación de ACS [9].

Producción instantánea de agua caliente

La producción de agua caliente instantánea se realiza en el mismo instante, es decir, el agua se calienta a la vez que se produce el consumo. Una peculiaridad de los sistemas de producción de agua caliente de manera instantánea es que el diseño de los intercambiadores de calor está adaptados para abastecer la máxima demanda de la instalación, esto se refiere a que el agua de calderas calienta directamente el agua de consumo al mismo tiempo que se demanda. Debido a este modo de funcionamiento estos sistemas requieren de bombas que se encarguen de hacer circular el agua de los colectores de las calderas a los intercambiadores de calor.

Producción con acumulación de agua caliente

Por lo contrario los sistemas de acumulación calientan el agua poco a poco y se mantiene a temperatura de consumo en el interior de un depósito. Estos sistemas se emplean para reducir la potencia en producción y al mismo tiempo conseguir funcionamientos más homogéneos de la instalación. Los sistemas de acumulación se clasifican dependiendo del volumen de acumulación en acumulación y semiacumulación.

Entonces los volúmenes de acumulación de diseñan para atender a la demanda pico con el agua acumulada, mientras tanto que los de semiacumulación solo pueden abastecer a una parte de esta demanda.

Entonces las diferencias entre estos dos sistemas de producción de agua caliente sanitaria son:

- El sistema instantáneo debe tener una potencia necesaria para calentar de manera instantánea todo el caudal de agua que proceda. En cambio el sistema por acumulación, el calentamiento de agua lo realiza de forma más lenta por lo que requiere una potencia menor.
- Mediante el sistema instantáneo, el caudal del agua caliente varía según se vaya abriendo por los puntos de consumo, mientras que el sistema por acumulación esta variación no se nota, o se nota bastante menos mientras haya agua en el acumulador.
- Los sistemas instantáneos suelen ser menos costosos y ahorran espacio, mientras que los de acumulación ocupan más espacio y son costosos.

2.2.2. Sistema de recirculación de agua caliente

Cuando en una instalación de sistema de agua caliente sanitaria es muy extensa, es conveniente instalar una red de recirculación de agua caliente sanitaria.

El sistema de recirculación de agua caliente es una red de tuberías que transportan el agua de vuelta desde los puntos más alejados de la red de suministro hasta el acumulador, su objetivo es mantener un nivel adecuado de temperatura del agua caliente en toda la red de suministro, aun cuando los terminales no demanden consumo durante largos periodos de tiempo[9].

Esta red hace que el agua caliente se mantenga con una temperatura estable en todos los puntos de servicio cuando la instalación es tan amplia que puede dejar desabastecidos puntos de consumo de agua caliente sanitaria a la temperatura habitual. La bomba de recirculación instalada en el sistema de agua caliente se encarga de hacer circular el agua caliente y de mantener en circulación aun cuando no exista consumo alguno de esta. Al implementar la bomba se logra que los puntos de toma tengan una mejor repartición y que al ir regenerando el agua caliente, haya un ahorro de energía.

Los elementos que constituyen un sistema de recirculación de agua caliente son:

- **Intercambiador de calor:** este componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido, Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes: Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura; reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura; llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura; condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío y llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.
- **Red de suministro:** conjunto de tuberías que transportan el agua atemperada hasta elementos terminales. La red suministro debe ser la más cortas posible con trazados por sitios comunes accesibles para mantenimiento, cuentan con distribuciones horizontales por las plantas bajas y se conectan a las montantes verticales que disponen de las derivaciones en la planta hasta llegar al punto de consumo.
- **Acumulador:** depósito que almacenan el agua caliente, incrementando la inercia térmica del sistema y permitiendo la utilización de generadores de calor de potencia inferior a la demanda máxima puntual del sistema, deben ser de un material de acero inoxidable con tratamientos especiales, la presión

de trabajo debe ser de 6-8 bar y tener una temperatura de trabajo no inferior a 70°C.

- **Bombas de recirculación:** estas son requeridas para mover el agua dentro del sistema, por lo que resulta importante considerar su capacidad correcta, de tal forma que permita el adecuado flujo de agua.
- Elementos terminales: estos son los elementos que se instalan en cada punto de consumo estos poder ser grifos, duchas que nos permitan el uso y disfrute del ACS.
- **Circuito de retorno:** red de tuberías que trasportan el agua de vuelta desde los puntos más alejados de la red de suministro hasta el acumulador, su objetivo es mantener un nivel aceptable de temperatura del agua caliente en toda la red de suministro, aun cuando los elementos terminales no demanden consumo.

Dispositivo de seguridad

Los sistemas de suministro de agua caliente deben poseer dispositivos de seguridad para evitar las presiones peligrosas y las temperatura excesivas. Los componentes y equipos se diseñan para altas presiones exclusivamente los tanques almacenadores agua caliente están diseñados por lo general a no más de 125 psi. Las presiones mayores pueden hacer estallar las partes y componentes débiles del sistema, ocasionando daños a la propiedad[10].

Condiciones de presión peligrosas pueden presentarse en cualquier sistema de suministro de agua caliente, inclusive sistemas de calentamiento sin tanque donde la capacidad de almacenamiento de agua caliente es muy pequeña. Para evitar el desarrollo de presiones peligrosas se debe instalar una válvula de alivio en la line de suministro de agua fría. La válvula de alivio debe instalarse para descargar presiones de 25 psi, más alta que la presión máxima de servicio, bajo estas condiciones el sistema puede operar en cualquier momento pero en ningún caso la presión podrá exceder las 125 psi, a menos que el sistema este diseñado para trabajar con altas presiones. No se debe instalar válvula de retención o de cualquier otro tipo entre la válvula de alivio de presión y el calentador o tanque.

Las temperaturas de agua en el sistema de agua caliente se consideran peligrosas cuando exceden los 98.9 °C, bajo presión de servicio el agua permanece en estado líquido hasta que su temperatura alcance el punto de ebullición correspondiente a la presión limitada del sistema. Los puntos de ebullición corresponden a 30, 50 y 70 psi de presión son 134, 147 y 157°C.

El agua caliente a temperatura más alta que 100°C es extremadamente peligrosa, pues parte del agua caliente es liberada convirtiéndose en vapor de agua a presión atmosférica, de esto puede resultar personas con quemaduras al utilizar los aparatos de suministro de agua caliente.

La cantidad de energía liberada cuando el agua se calienta a 107°C es de 13 btu (Unidad Térmica británica) de recalentamiento, entonces un tanque de almacenamiento de 60 galones con agua a 107°C, la cantidad total de energía recalentada será igual a 13 btu * 60 galones * 8.3 libras por galón, igual a 6.474 btu, si esta se convierte en energía mecánica sería igual a 6.474 btu * 778 pies * libras/ btu, igual a 5.036.772 libras-pies. Todos los sistemas de agua caliente debe tener elementos de protección para evitar que la temperatura del agua exceda los 98.9°C[10].

El dispositivo de seguridad debe constar de una válvula de dispersión de temperatura e interrupción de la energía, para la selección válvula hay que tener en cuenta que los volúmenes de escape sean adecuados, para los equipos que se trata de proteger. Las válvulas de alivio de temperatura y los elementos sensibles a la temperatura deben estar en contacto con el agua más caliente del sistema.

Corrosividad

La corrosión es el ataque que experimentan los metales por la acción del medio en que se utilizan, que puede ser la atmósfera, el agua o el suelo, produciéndose en el proceso reacciones químicas o electroquímicas. La corrosión húmeda es de origen electroquímico y es la más común, ésta necesita de la coexistencia de tres elementos ánodo, cátodo y electrolito, este último es el medio agresivo. Por esta razón, se asocia a la corrosión electroquímica como un proceso en el que tienen lugar reacciones de oxidación y de reducción, mediante flujo de electrones del ánodo al cátodo a través del metal, en donde el papel del electrolito es cerrar el circuito eléctrico[11].

La corrosión en los sistemas de agua caliente sanitaria se manifiesta en las formas de corrosión uniforme (ataque igual por toda la superficie) o de corrosión localizada (puntual, concentrada en una pequeña zona anódica). Un ejemplo de corrosión localizada o picaduras es la rotura local de los revestimientos pasivos que protegen superficies metálicas en un medio agresivo.

Los efectos de corrosión en los tanques se incrementan a temperaturas por encima de los 60°C, debido a dos hechos: el aumento de la temperatura del agua origina un aumento en la conducción eléctrica de ella y por lo tanto, aumenta el grado de corrosión galvánica, los carbonatos en agua a 60°C se descomponen soltando dióxido de carbono lo que da como resultado un aumento en la velocidad de la corrosión

general y total.

Como medida preventiva para evitar la corrosión atmosférica se pueden utilizar protección por recubrimientos, que son un medio muy utilizado para aislar una instalación de la acción corrosiva de la atmósfera en ambientes externos. Los que más se utilizan son los recubrimientos de comportamiento anódico como el galvanizado y ciertas pinturas, y los de comportamiento inerte como la mayoría de las pinturas.

Caída de presión

La caída de presión en los calentadores de tipo sin tanque es un factor importante de tener en cuenta. Estos calentadores están diseñados para calentar el agua a la temperatura normal de servicio en un solo paso a través de los serpentines de calentamiento. Para logra esto, los serpentines tiene un diámetro interno relativamente pequeño y una gran longitud, rasgos que dan como resultado una caída de presión relativamente alta en el calentador de tanque a la capacidad de flujo determinada. En donde la presión de servicio es baja, (menos de 20 m.c.a.) esta alta caída de presión es muy importante y debe tenerse en cuenta en el diseño de un suministro agua caliente, de tal modo que se asegure un volumen y una presión adecuadas en todas las salidas de suministro de agua caliente del sistema. Pero en donde la caída de presión es alta, (más de 20 m.c.a.) la caída de presión en un calentador sin tanque es de menor importancia para las condiciones adecuadas de suministro[12].

2.2.3. Generación industrial de vapor de agua

El vapor de agua es un fluido energético muy útil en el ámbito industrial y su principal función se centra en aportar calor para el movimiento de máquinas y el desarrollo de procesos, es decir es un medio efectivo de calentamiento, gracias a que tiene una baja densidad y un elevado calor latente. El vapor de agua se emplea en todas las unidades de procesos químicos.

La generación de vapor consiste en la producción de vapor a presiones sobre la atmosférica a partir del aprovechamiento de la energía calorífica de un determinado combustible o de la energía eléctrica[13]. Los niveles de temperatura a los que se utiliza el vapor de agua varían en función del uso que se le quiera dar, pero comúnmente oscilan entre 90°C y 260°C, con una presión que fluctúa entre 0,5 kg/cm² y 60 kg/cm².

El vapor se usa en los hospitales para el calentamiento de agua sanitaria, éste se genera con agua en instalaciones que cuentan con varios equipos y con regulaciones de caudal relativamente fáciles de controlar. En la distribución del vapor se debe

tener especial atención en el aseguramiento de las tuberías, además de comprobar que se mantenga baja la temperatura del gas de los humos mediante recuperadores de calor.

Los generadores de vapor disponen de calderas, recalentador, precalentador de agua y de aire, máquinas auxiliares para entrada de combustible, bombas de agua de alimentación, ventilador, aspirador, extractor de polvo, equipo de medición y regulación, entre otros. De entre los mencionados los principales son las calderas, ya que los otros vienen a constituirse en accesorios.

Una caldera de vapor es un recipiente que trabaja a alta presión, para transferir calor obtenido mediante combustión hacia un determinado fluido, la forma más típica y de mayor aplicación es la conversión del agua en vapor, para ser empleado en aplicaciones industriales.

La forma más eficiente de producir agua caliente en los hospitales es mediante una caldera. El consumo promedio de agua caliente en un hospital puede ser muy elevado, con una media de 100 m³ por semana, razón por la que es imprescindible que el sistema de generación de vapor sea eficiente y económico, por lo cual las calderas se convierten en equipos indispensables para el abastecimiento de vapor. En la figura 1 se presenta una caldera típica con sus respectivas partes:

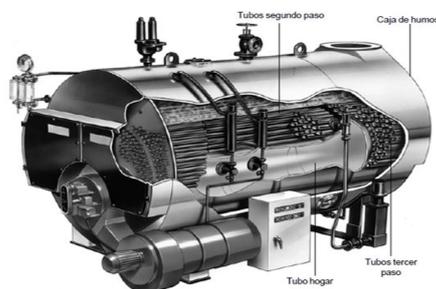


Figura 1: Componentes de una caldera industrial.
Fuente: Centrales de vapor [14].

Calderas pirotubulares

Son aquellas calderas en las que el fluido líquido se almacena en un recipiente atravesado por tubos por donde circulan gases a elevadas temperaturas como resultado de un proceso de combustión. El agua se evapora al contacto con los tubos calientes producto de la circulación de los gases de escape[15].

En este tipo de calderas el fluido se aloja en la parte exterior y los gases que permiten el calentamiento circulan por el interior.

Las calderas pirotubulares pueden ser con cámara seca o con cámara húmeda. A continuación se presenta un esquema que ilustra el funcionamiento de las calderas pirotubulares (Figura 2).

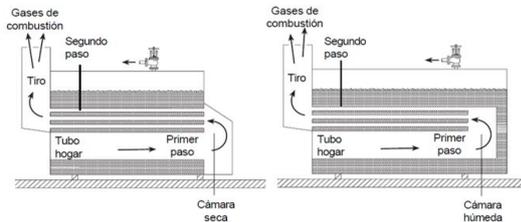


Figura 2: Funcionamiento de las calderas pirotubulares.

Fuente: Energía mediante vapor, aire o gas [15].

Las limitaciones que presentan este tipo de calderas se centran en el hecho que la tensión máxima está alrededor de la circunferencia del cilindro, por lo tanto la presión máxima se incrementa si aumenta el diámetro. Otro problema es el curvado del cuerpo de la caldera, ya que se pueden presentar puntos de fatiga, para lo que se recomienda reducir el número de las paradas del equipo.

Calderas acuotubulares

Son el tipo de caldera en la que es el fluido de trabajo el que se desplaza a través de tubos durante su calentamiento, tienen mucha aplicación en las centrales termoeléctricas, permitiendo altas presiones a la salida y buena capacidad de generación[16].

Este tipo de calderas se emplean para altos rendimientos de vapor, cuando se tienen presiones altas o vapor recalentado. Generalmente en el ámbito industrial y comercial es más aconsejable trabajar con una caldera pirotubular. Solamente es apropiado utilizar una caldera acuotubular cuando se demanda un rendimiento individual superior a 27000 kg/h, presiones mayores a 27 bares o temperaturas sobre 340°C. La razón para esto es el alto costo de la construcción de este tipo de calderas. A continuación se presenta un esquema de la configuración de una caldera acuotubular (Figura 3).

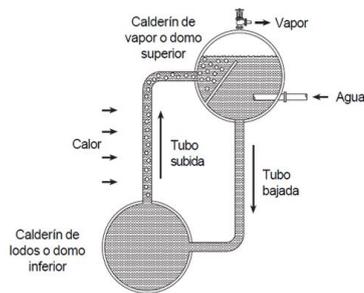


Figura 3: Configuración de la caldera acuotubular.
Fuente: Energía mediante vapor, aire o gas [16].

2.2.4. Automatización industrial

En la actualidad se entiende por automatización el proceso de diseño, realización y/o explotación de sistemas que emplean y combinan la capacidad de las máquinas para realizar tareas y controlar secuencias de operaciones sin la intervención humana. La automatización combina la aplicación conjunta de la tecnología eléctrica, electrónica neumática, hidráulica y/o mecánica para controlar un gran número de procesos de fabricación. La implementación de la automatización no solo se da en la industria, actualmente se localizan de forma significativa en sectores tan importantes como el de la agricultura, servicios básicos, comunicaciones, domótica, comercio y transporte[17].

Elementos o dispositivos que conforman un automatismo

- **Máquina o planta:** es el elemento principal objeto del control automático, puede estar constituido por un único aparato (motor eléctrico, bomba hidráulica, compresor de aire, máquina herramienta, etc.) o por un conjunto de dispositivos dispuestos en planta con una finalidad concreta (climatización de zona, sistema de riego, cinta transportadora, etc.).
- **Fuente de energía:** es el medio empleado para realizar el control, en un automatismo eléctrico este medio lo constituye la energía eléctrica aplicada en sus distintas formas, como la tensiones continuas o alternas de baja potencia para la alimentación de dispositivos de control y señalización (alimentación secundaria) y/o aquellas otras de mayor potencia utilizadas para mover las máquina y actuadores sobre las plantas (alimentación primaria).
- **Controlador o autómeta:** es el dispositivo o conjunto de dispositivos encargados de establecer el criterio de control, partiendo de la señal proporcionada por el sensor enclavado en la máquina o planta, y de acuerdo

con las indicaciones del operador o de algún criterio de actuación previamente definido, determina la correspondiente señal de control que debe ser aplicada al actuador para mantener la máquina o la planta en las condiciones de funcionamiento previstas.

- **Actuador:** es el dispositivo utilizado para modificar la aportación de energía que se suministra a la máquina o planta. Hallamos actuadores típicos en automatismos eléctricos en los relés, contactores, las electroválvulas, las válvulas motorizadas, los tiristores, etc.
- **Sensor:** es el elemento empleado para medir o detectar la magnitud de la variable que deseamos controlar y envía la correspondiente señal, habitualmente eléctrica, al dispositivo controlador. Los sensores de uso frecuente son: los tacómetros, los codificadores digitales, los sensores de proximidad, las sondas de temperatura, de presión o de nivel, etc.
- **Operador:** es el conjunto de elementos de mando y señalización que facilita el intercambio de información entre persona y automatismos para modificar o corregir las condiciones de actuación de la máquina o planta de bajo control.

Modelo estructural de un sistema automatizado

La estructura de un sistema automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado lo que denominaremos Parte operativa, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación de forma específica puede tratarse de máquinas herramientas para la realización de operaciones de mecanizado sofisticadas. Por otro lado tenemos la Parte de Control o Mando, que independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la parte operativa bajo control[18].

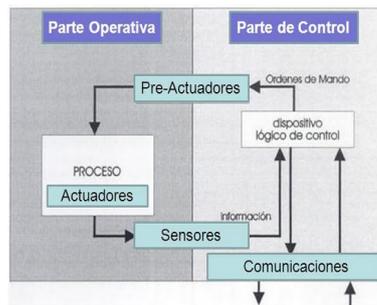


Figura 4: Modelo estructurado de un sistemas automatizado.
Fuente: Automatización de procesos industriales [18].

Los objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Realizar las operaciones imposibles de control intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo prever las cantidades necesarias en el momento del preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción. Mejorar los sistemas de seguridad en el ámbito de las personas y de las máquinas.

2.2.5. Sistemas de Control

Los sistemas de control reciben y procesan la información de cualquier sistema industrial sobre las condiciones de mismo. Esta información representa hechos tales como, posiciones mecánicas de partes móviles, temperatura en diferentes lugares, presiones existentes en tubos, ductos y cámaras, caudales, fuerzas ejercidas sobre dispositivos de detención, velocidades, etc. Este sistema tiene la capacidad de tomar información empírica y combinarla con la que le suministra el operador y sacar una respuesta deseada para el sistema. El sistema de control es capaz de toma decisiones.

El control en lazo abierto

El control en lazo abierto es sólo un control de encendido – apagado, en este la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. El control en lazo abierto se puede identificar porque no tiene un elemento de medición en la salida del proceso. Por

lo tanto no puede verificar si se llegó al set-point que se quiere. Por ejemplo para calentar una habitación un calentador eléctrico se enciende o se apaga[19].

El control en lazo cerrado

En sistema de control en lazo cerrado, el controlador se usa para comparar la salida de un sistema con la condición requerida y convertir el error que resulta en una acción de control diseñada para reducir un error. Por ejemplo cuando en un sistema se introduce una señal de entrada de tipo escalón, para cambiar el valor establecido por uno nuevo.

2.2.6. Sensores

Un transductor convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir uno de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse y se interpreta que se mide solo la otra componente. Dado que existen seis tipos de señales como mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares, y que cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física[20].

El sensor es un dispositivo que a partir de la energía del mismo donde se mide da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. El transductor y sensor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso es la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño no pueden ser precedidas directamente por los sentidos. En cambio un transductor sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas.

La codificación de la señal en forma analógica es de 0-10V o de 4-20mA., mientras que en forma digital se hace mediante pulsos (cuya duración es proporcional a la magnitud) y números codificados en binario. Un caso particular de la codificación digital es la codificación todo-nada.

Sensores de presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie, y para su medida se procede bien a su comparación con otra fuerza conocida. La presión absoluta se mide con relación al vacío perfecto donde la presión es cero. La presión atmosférica local es la presión debida al peso del aire de la atmósfera. Por lo tanto la presión local varía de una ubicación a otra como una función de la altura de la ubicación desde el nivel del

mar. La presión atmosférica absoluta local debida al peso del aire de la atmósfera es $14.7 \text{ lb/in}^2 = 17 \text{ psi}$. Esto significa que el peso actuado sobre una área de 1 in^2 debido al peso del aire en la atmósfera es 14.7 lb. Por tanto la presión atmosférica absoluta a nivel del mar es nominalmente 14.7 lb/in^2 (14.7 psi).

En los procesos industriales, la presión y la temperatura son las variables o magnitudes físicas que más se miden y controlan. Los sensores miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocida, como por ejemplo barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado y manómetro de pozo[21].

Clases de sensores de presión

- **Mecánicos:** estos miden de dos maneras la primera con elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido, el desplazamiento puede indicarse por un sistema de flotador y palanca sobre una escala. La segunda se emplea elementos primarios elásticos que miden la presión por su propia deformación, la aplicación de una presión a su interior produce indirectamente un movimiento que se transmite a una aguja indicadora.
- **Neumáticos:** estos utilizan componentes mecánicos que procuran el equilibrio entre fuerzas (tubo Bourdon) o de movimientos (elementos de muelle).
- **Electromecánicos-Electrónicos:** estos utilizan elementos mecánicos elásticos combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente.

Sensores de temperatura

La medida de temperatura es una de las más comunes y la más importantes que se efectúan en los procesos industriales, casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella. La temperatura se utiliza, frecuentemente para el valor de otras variables del proceso[21].

Clases de sensores de temperatura

- Sensores que combinan la dimensión física como una función de la temperatura.
- Sensores que combinan la resistencia como una función de la temperatura (RTD y termistores).

- Sensores que funcionan basados en el fenómeno termoelectricos (termopares).

Otra clasificación obedece a la naturaleza del sensor, en cuyo caso se los clasifica en sensores eléctricos, mecánicos, de radiación térmica y varios.

Los sensores de temperatura de tipo eléctrico son los más utilizados ya que tienen cualidades especiales que los convierten en más convenientes para un determinado proceso u objetivo. A su vez dentro de los sensores eléctricos de temperatura están las termocuplas, que se hacen con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño el que aumenta con la temperatura.

2.2.7. Transmisores electrónicos industriales

Los transmisores son instrumentos o dispositivos que captan la variable de un proceso a través de un elemento primario y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos, mediante una señal neumática o eléctrica de corriente continua o de tensión (voltaje).

Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable de 3 a 5 psi para el rango de medida de la variable 0 a 100 %. Además se puede emplear la señal 0,2 a 1 bar de presión (3 a 15 psi) en los países que emplean el sistema métrico decimal[22].

Los transmisores electrónicos generan una señal estándar de 4 a 20 mA en corriente continua a distancias de 200m a 1 km. La alimentación de los transmisores se puede realizar a través de una unidad montada en el panel de control y empleando el mismo par de hilos del transmisor. Las señales también pueden ser digitales, en ese caso su transmisión es a través de una serie de impulsos en forma de bits, que se expresen en código binario 0 y 1. Cuando la señal pasa por el conductor se emite el 1 y cuando no pasa el 0.

Cuando los campos magnéticos intensos pueden afectar la transmisión de las señales, se emplean las fibras ópticas. En estos casos los módulos de transmisión pueden ser excitados por fuentes de luz LED (Light Emitting Diodes) o diodo láser, en tanto que los módulos receptores disponen de fotodetector y preamplificador, con los cables de fibra óptica y convertidores electroópticos. La ventaja de utilizar la transmisión por fibra óptica incluye la inmunidad ante el ruido eléctrico, un aislamiento eléctrico total, mayor ancho de banda que la proporcionada por los hilos de cobre, menor tamaño y peso, menores pérdidas de energía, conexiones más seguras, entre otras.

Los microprocesadores han permitido desde 1986, la aparición del primer transmisor con señal de salida íntegramente digital, lo que facilita las comunicaciones digitales entre el transmisor y el controlador o receptor.

2.2.8. Sistemas Embebidos

Los computadores embebidos no son máquinas de cómputo para fines generales, sino que tienen arquitectura y recursos más especializados, esta computadora solo puede tener memoria RAM o flash o ROM respaldada por batería para almacenar sólo un software de la aplicación.

Características de los sistemas embebidos

Los microcontroladores embebidos tienen recursos limitados en términos de potencia (es decir puede estar accionada por una batería), velocidad de la memoria de la CPU. Las computadoras embebidas están dedicadas a tareas específicas no almacenan programas de propósito general, como procesadores de texto, programas de gráficas, etc.

Componentes de los sistemas embebidos

Los controladores embebidos poseen canales de interfaz I/O, los convertidores analógicos a digital (ADC), y digital a analógico (DAC), integrados en el hardware del microchip. Por lo común se requiere que el tamaño físico de una computadora embebida sea muy pequeño lo cual puede ser dictado por la aplicación. Los controladores operan en condiciones ambientales extremas (es decir, un controlador embebido para un motor diésel debe operar en condiciones de temperatura alta y variaciones de vibraciones)[23].

Los convertidores analógicos a digital ADC son dispositivos eléctricos capaces de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario. En base a la resolución el dispositivo establece una relación entre la señal analógica y la salida digital. Los dispositivos convertidores digital a analógico DAC, convierten las señales digitales con datos binarios en señales de corriente o de tensión analógica. Se aplican frecuentemente en los equipos de procesamiento de señales digitales de sonido y video.

Los sistemas embebidos incorporan un circuito temporizador para restablecer el sistema en caso de falla. Además estos cuentan con un circuito de depuración dedicado en el chip en el que la sincronización de todas las señales I/O se puedan verificar y el programa de aplicación depurar en el hardware objetivo. Las herramientas de depuración (hardware y software) son una parte muy importante de una suite de desarrollo del sistema embebido. Las aplicaciones embebidas en tiempo real se deben depurar y las señales I/O se deben verificar para las condiciones en el peor de los casos. El desarrollador debe saber los detalles del hardware del

sistema embebido (arquitectura del bus, registradores, mapa de memoria, sistemas de interrupción) debido a que el desarrollador del software de la aplicación está influido por los recursos del hardware de la computadora embebida.

Herramientas de desarrollo de un microcontrolador embebido

Las herramientas de desarrollo comunes empleadas en entornos de desarrollo de un microcontrolador embebido se agrupan en dos categorías: la primera la herramienta para el hardware, y la segunda es la herramienta para el software. Las herramientas para el hardware incluyen:

1. Una PC de escritorio para albergar la mayoría de las herramientas de desarrollo.
2. El procesador objetivo (es decir, la tarjeta de evaluación o el hardware del microcontrolador) objetivo final.
3. Herramienta de depuración como un emulador ROM, analizador lógico.
4. Herramienta del escrito EEPROM/EPROM/flash.

Área de aplicación de los sistemas embebidos

Las aplicaciones de los sistemas embebidos son numerosas entre las que destacan las siguientes:

- El control de flotas en tiempo real, los sistemas embebidos posibilitan cumplir las exigencias que precisa el desempeño de una flota, especialmente fiabilidad y rapidez.
- Autoventa / preventa, permiten informatizar todos los aspectos inherentes a la venta a distancia, labor que generalmente es manual. Robótica, en el control y automatización de todo tipo de procesos y tareas complicadas como soldadura de grandes tuberías o cubiertas de barcos. Obteniendo información en tiempo real.
- Domótica, hay placas que incorporan todas las capacidades necesarias para dar inteligencia a los edificios, aportación al control y la instrumentación, mediciones analógicas y digitales, vigilancia, seguridad y estaciones remotas.

2.2.9. Hardware Libre

El objetivo de hardware libre es crear diseños de aparatos informáticos de forma abierta, de manera que todas las personas puedan acceder, como mínimo, a los planos de construcción de los dispositivos. Lejos de ser una novedad, esta corriente enlaza directamente con década de los años setenta, cuando los primeros aficionados a los ordenadores construían sus propios equipos en los garajes con piezas compradas a diferentes fabricantes y creaban sus propias implementaciones. El asentamiento de los Lenguajes de Descripción Hardware (HDL) como VHDL (Very high speed integrated circuit Hardware Description Language) o Verilog HDL, ha impulsado la idea de realizar diseños abiertos de la misma manera que el movimiento Open Source. La reutilización de diseños o la adaptación de los ya existentes está haciendo mucho más fácil la vida de los ingenieros de hardware, disminuyendo considerablemente los tiempos y costes de diseño[24].

El hardware libre ofrece libertades aplicadas a los planos del hardware, que sirven para su construcción, permitiendo que cualquier usuario los pueda usar, modificar y distribuir. Los planos que describen el diseño son el esquemático (Indica los componentes lógicos y las señales que se conectan entre ellos), el circuito impreso (PCB, Printed Circuit Board, que indica el lugar en el que sitúan los componentes) y el fichero de fabricación (GERBER, que contiene a información para que se fabriquen los PCBs en la industria).

Software libre(Free Software)

Esta denominación del software que respeta la libertad de los usuarios sobre su producto adquirido y, por tanto, una vez obtenido puede ser usado, copiado, estudiado, cambiado y redistribuido libremente. Según la Free Software Foundation afirma que el software libre se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar el software y distribuir lo modificado [25]. Se suele confundir con el software gratis pero es una acepción diferente, pues este solo es que no tiene costo para el usuario, pero puede traer muchas restricciones.

Para ser considerado libre, un programa debe ser distribuido de modo que el usuario pueda, estudiar el funcionamiento del programa, adaptarlo a las necesidades y distribuir, bajo las mismas condiciones, programas derivados.

Se calcula que actualmente existen alrededor de cien mil proyectos de desarrollo de Software Libre, algunos se encuentran en etapa de planificación y otros ya se han desarrollado y pueden ser utilizados para una amplia gama de necesidades.

Para la selección del software libre se deben seguir algunos criterios tales como:

- Tamaño de la comunidad de desarrolladores, para minimizar el riesgo de pérdida de soporte y desarrollo.
- Proyecto estable y maduro (muchas veces no están vivos, pero son estables y confiables).
- Funcionalidad, se debe estudiar las características del software de acuerdo a las necesidades.
- Conexión con otras aplicaciones y programas.
- Dinamismo del software, es importante conocer si se actualiza y mejora continuamente, en base a establecer si su comunidad de desarrolladores es activa.

Código Abierto (Open Software)

Es el software que se distribuye junto con su código fuente, y con una licencia de uso que garantiza que quien lo adquiere: Puede estudiarlo, corregirlo, mejorarlo y adaptarlo a cualquier necesidad puede utilizarlo para cualquier propósito tiene el derecho de redistribuirlo, siempre que preserve su carácter abierto. El hecho de que el código fuente esté disponible y pueda ser modificado es la razón por la cual es habitual referirse a este tipo de software como "software de código fuente abierto" (en inglés, "open source software"), o simplemente software abierto [25].

Clasificación de Hardware

Dada su diferente naturaleza, al hablar de hardware abierto o libre hay que especificar de qué tipo de hardware se está hablando. El hardware libre se clasifica según su naturaleza:

- **Hardware estático:** Conjunto de elementos materiales de los sistemas electrónicos. Tiene una existencia física (se puede tocar). El hardware libre ofrece las mismas cuatro libertades que el software libre, pero aplicadas a los planos del hardware.
- **Hardware reconfigurable:** Descrito mediante un lenguaje de descripción de hardware. Su naturaleza es completamente diferente a la del hardware estático. Se desarrolla de una manera muy similar a como se hace con el software. Los diseños son ficheros de texto, que contienen el código fuente, se les puede aplicar directamente una licencia libre, como la GPL. Los problemas no surgen por la definición de qué es libre o qué debe cumplir para serlo, sino

que aparecen con las herramientas de desarrollo necesarias. Para hacer que el hardware reconfigurable sea libre, sólo hay que aplicar la licencia GPL a su código.

2.3. Propuesta de Solución

La implementación de la automatización del sistema de recirculación de agua caliente utilizando hardware libre será de mucha utilidad para el personal técnico, ya que permitirá controlar y supervisar en tiempo real los parámetros y condiciones del sistema, lo cual generará mayor eficiencia y seguridad en todo el proceso, optimizando tiempo, recursos humanos y calidad en el servicio de agua caliente para el hospital IESS Latacunga.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Modalidad de la investigación

El presente proyecto se enmarcó dentro del tipo de investigación: Proyecto de Investigación aplicada (I), debido a que se buscó la solución de un problema y el desarrollo de ideas para generar mayor eficiencia y seguridad en el proceso de recirculación de agua caliente del hospital, para disminuir pérdidas de tiempo, recursos humanos y riesgos físicos del operario a causa del control y supervisión manual de parámetros y condiciones del sistema, por medio de la puesta en práctica de conocimientos teóricos y científicos para llegar a un diseño esquemático y finalmente a la implementación de la automatización del sistema utilizando hardware libre.

El estudio realizado se basó en la combinación de las modalidades de investigación bibliográfica-documental, de campo y experimental. La investigación de campo se realizó en la casa de máquinas del hospital IESS Latacunga, donde se determinó el problema de estudio obteniendo la información necesaria y suficiente para la realización de este proyecto. La investigación bibliográfica-documental se basó en documentos como libros, revistas, periódicos y otras publicaciones en la web con el propósito de detectar ampliar y profundizar diferentes enfoques teóricos, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre el tema de investigación.

3.2. Recolección de información

Se recopiló información a través de una encuesta realizada al personal técnico de mantenimiento del hospital IESS Latacunga acerca del funcionamiento del sistema de recirculación de agua caliente implementado en la institución antes mencionada. Además se obtuvo información de fuentes bibliográficas, tesis realizadas anteriormente, artículos científicos y páginas de Internet que contienen información

referente al tema de investigación, así como la guía del tutor, varios profesores de la FISEI-UTA.

3.3. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información se llevó a través de los siguientes pasos:

- Recopilación de información mediante entrevistas realizadas al personal técnico de mantenimiento.
- Recolección de información de libros, artículos, revistas y publicaciones.
- Revisión crítica de la información recolectada, la misma que ayudará a plantear estrategias y soluciones del problema.
- Manejo de la información adquirida.
- Interpretación de resultados con el apoyo de fundamentos teóricos para cada etapa del desarrollo del proyecto.

3.4. Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto de investigación se llevó a cabo la siguiente estructura de pasos:

- Análisis de las condiciones del sistema de recirculación de agua caliente actual.
- Determinación de los requerimientos del sistema para la automatización.
- Selección de los dispositivos y equipos idóneos para la instrumentación electrónica del sistema.
- Diseño y construcción del sistema de control
- Diseño de los planos respectivos para la automatización del sistema.
- Instalación de los sensores, actuadores y sistema de control con sus conexiones respectivas en el sistema.
- Desarrollo de un programa capaz de controlar todo el proceso automáticamente teniendo en cuenta las variables presentes del sistema.
- Programación de la interfaz hombre máquina (HMI) del sistema.
- Pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. Análisis de las condiciones del sistema

Para empezar con el proceso de diseño de la automatización del sistema de recirculación de agua caliente, fue necesario conocer las condiciones técnicas y el desempeño de los equipos que funcionan actualmente en el hospital. A continuación se describirá el estado del sistema existente en la institución.

4.1.1. Sistema de recirculación de agua caliente

El sistema de recirculación de agua caliente del Hospital IESS de Latacunga cuenta con dos intercambiadores de calor, dos válvulas reguladoras de presión y temperatura 25PT y una bomba de recirculación para el proceso de generación de agua caliente, que se usan para dar suministro de agua caliente a todo el hospital. La estructura del sistema se puede observar en la figura 5, y a continuación se describirán cada componente que conforma el sistema.



Figura 5: Sistema de recirculación de agua caliente.

Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor del sistema tienen una capacidad de 845 Gls cada uno, son intercambiadores de serpentines sumergidos, están contruidos por un cilindro de hierro negro recubierto con fibra de vidrio y blindado con aluminio por fuera, el serpentín es un tubo de cobre de $\frac{3}{4}$ " doblado en forma helicoidal. En la figura6, se observa el estado de los dos intercambiadores de calor.

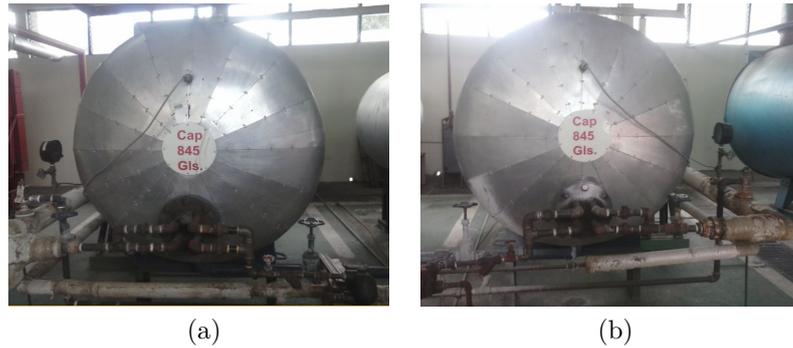


Figura 6: Intercambiadores de calor.

Válvula reguladora de presión y temperatura (25 PT)

La válvula reguladora de presión y temperatura (auto-operada) está compuesta por un piloto de temperatura y un piloto de presión, su función es regular la presión de vapor de 100 PSI a 40 PSI, controla la temperatura del agua en el interior de los intercambiadores de calor. En la figura 7, se puede apreciar estas válvulas.

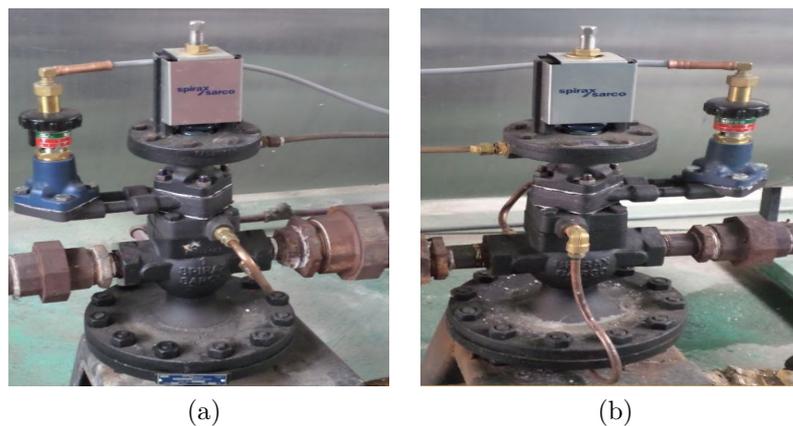


Figura 7: Válvulas reguladores de presión y temperatura 25PT.

Las características técnicas de válvula reguladora de presión y temperatura se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones de la válvula reguladora de presión 25PT

Especificaciones técnicas	
Modelo	25PT
Marca	Spirax Sarco
Medida	1"
Conexión	NPT
Construcción	Cast Iron
Bulbo termostático	Tipo T5 conexión de unión 3/4" NPT
Longitud del tubo capilar	2.5 metros
Max. Presión de funcionamiento (PMO)	NPT 250 PSI (17 bar) a 450 ° F (232 ° C)
Max. Temperatura de funcionamiento	450 ° F (232 ° C)
Rangos de temperatura	100 ° F a 160 ° F (40 ° C a 70 ° C)
Rangos de presión posterior	20 a 100 PSI
Max. presión permitida (PMA)	250 PSI/0-450 ° F 17 bar/0-232 ° C
Max. Temperatura permitida (TMA)	450 ° F/0-250 PSI 232 ° C/0-17 bar
Calibración de la válvula	40°C a 60°C

Fuente: Spirax Sarco.[26].

Bomba de recirculación de gua caliente

La bomba que se utiliza para la recirculación del agua caliente posee un motor trifásico de rotor de jaula de ardilla, también conocido como rotor de corto circuito es de la marca WEG, la cual tienen un control on/off y se encuentra conectada en conexión "triángulo" con arranque directo, los datos nominales de la bomba son indicadas en la tabla 2.

Tabla 2: Datos de bomba de recirculación.

Especificaciones Técnicas	
Tipo	Trifasico rotor de corto circuito
Modelo	100L 1090
Marca	WEG
Potencia	5 CV
Tension nominal	220V - 380V - 440V
Corriente nominal	14A - 8.1A - 7.0A
Revoluciones por minuto (RPM)	3500
Frecuencia electrica	60Hz
Factor de potencia	0.85
Factor de servicio	1.15
IP	54

Fuente: Especificaciones técnica del motor 5 CV. [27]

La bomba de recirculación presentan un correcto funcionamiento y sus características físicas se encuentran en buen estado, como se puede observar en la figura 8.



Figura 8: Bomba de recirculación.

4.1.2. Sistema de generación de vapor de agua

El hospital IESS de Latacunga para cubrir sus requerimientos de agua caliente, vapor para la cocina y lavadora, cuenta con dos generadores de vapor de tipo caldero pirotubular con una potencia de 100HP cada uno, que se encuentran ubicados en las instalaciones de la casa de máquinas del hospital. en la figura 9 se aprecia el estado de las calderas industriales.

En la actualidad para cumplir con la demanda de vapor que requieren el hospital se mantiene un solo caldero encendido de tal forma que ese único caldero absorbe toda la carga. La presión promedio de operación del caldero es de 100PSI. Debido a que una sola caldera puede abastecer la demanda de vapor diaria para todo el hospital las calderas trabajan de manera alternada una caldera permanece en funcionamiento durante una semana mientras la otra permanece apagada y así va intercambiando. El sistema de generación de vapor está compuesto por los siguientes equipos:

- Sistema de ablandamiento de agua.
- Sistema de aire para amortización.
- Tanque de condensado.
- Tanque de combustible para el suministro diario.
- Bombas de alimentación de agua.
- Bombas de suministro de combustible



Figura 9: Calderas industriales.

Sistema de ablandamiento de agua

El agua es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias más abundantes, sin embargo esta presenta una dureza a causa de que contiene soluciones de sales y ácidos que dañan con rapidez el acero y los metales. Los iones o minerales

que están presentes en el agua son magnesio, calcio y bicarbonato. Estos minerales son los causantes de la formación de los depósitos de sólidos e incrustaciones en las tuberías y en las superficies de calefacción. Las unidades ablandadoras ofrecen una solución para el ablandamiento del agua dura, eliminación de depósitos, evitar la formación y aumento de incrustaciones. El sistema de ablandamiento de agua utilizado en el sistema de generación de vapor implementado en el hospital se muestra en la figura 10.



Figura 10: Sistema de ablandamiento de agua.

El sistema de generación de vapor de agua con el que cuenta el hospital posee un equipo de ablandamiento de agua para el abastecimiento de las calderas de tipo *M4040 – SE S/N445000*, en el cual se programa los cuatro procedimientos para el ablandamiento del agua. El tratamiento que se le da al agua consiste primero en filtrar el agua para después tratarla químicamente con lo cual se logra disminuir su dureza, seguidamente se aplican productos químicos para eliminar el oxígeno disuelto en el agua y controlar su grado de acidez. Sin embargo pequeñas cantidades de oxígeno se encuentran en el agua causando corrosiones el metal de las calderas pirotubulares.

Sistema de alimentación de combustible

El diésel es un combustible que generalmente su almacenamiento se hace en tanques cilíndricos los cuales pueden estar al nivel del piso o por debajo de él. Los tanques de almacenamiento deben poseer registros pasa-hombre para la limpieza y mantenimiento. Además deben contar con acoples para el llenado, ventilación, medición, extracción, retorno y purga.

El correcto abastecimiento de combustible (diésel) es de suma importancia para el buen funcionamiento de una caldera industrial. El hospital cuenta con dos tanques de almacenamiento de diésel cada uno de ellos tiene una capacidad de almacenamiento

de 3000 galones y se encuentran instalados en una área con libre acceso como se muestra en la figura 11.



Figura 11: Tanque de almacenamiento de diesel.

El diésel antes de llegar hasta los quemadores de las calderas pasa por un registrador e indicador de combustible y posteriormente se almacenan en el tanque de consumo diario. El tanque de consumo diario tiene una capacidad de almacenamiento de 200 galones, es el encargado de suministra el diésel a los quemadores de las calderas según su requerimiento, a través de la activación automática de bombas de abastecimiento de combustible controladas por el sistema de control de las calderas. En la figura 12 se muestra el estado del tanque de consumo diario existente en el hospital.



Figura 12: Tanque de servicio diario.

Sistema de alimentación de agua

El sistema de suministro de agua es un factor principal para el funcionamiento de las calderas industriales, por lo que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior de la caldera para evitar siniestro o fallas en algunas de sus

partes. Para un óptimo desempeño de las calderas cuentan con un excelente sistema de suministro de agua el cual posee los siguientes elementos:

- Reserva de agua (tanque de almacenamiento)
- Equipo de bombeo
- Control del sistema

Tanque de condensado

El tanque de condensado es un cuerpo de forma cilíndrica de acero negro diseñado para soportar altas temperaturas y tiene una capacidad de 200 Gls, está montado sobre una estructura metálica, bajo la cual se encuentran dos motobombas que se utilizan para el bombeo de agua hacia las calderas. El tanque de condensado recibe el agua suavizada que proviene del sistema de ablandamiento de agua y el condensado resultante del vapor que surge de las calderas, banco de distribución y los intercambiadores de calor, permitiendo un gran ahorro de consumo del agua, tratamientos químicos y combustible. El tanque de condensado existente en el hospital se muestra en la siguiente figura 13.



Figura 13: Tanque de condensado.

4.1.3. Instrumentación

El personal técnico de mantenimiento con el que cuenta el hospital IESS Latacunga, opera y controla el sistema mediante indicadores y actuadores manuales en los equipos existentes. Las magnitudes que se monitorean son la temperatura en los intercambiadores de calor y la presión de vapor en la salida de la válvula reguladora de presión y temperatura.

Temperatura de los intercambiadores de calor

Para la medición de la variable de temperatura actualmente se utilizan termómetros de bulbo, están montados localmente en cada uno de los intercambiadores de calor.

Las condiciones actuales de estos equipos se pueden apreciar en la figura 14.

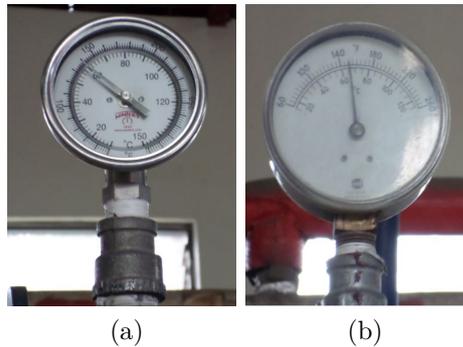


Figura 14: Termómetros de bulbo.

Los indicadores de temperatura de tipo Bourdon están compuestos por un sensor de temperatura, un elemento de desplazamiento de tipo Bourdon, diafragma, tramo de tubo capilar y un fluido, en la parte inferior del indicador se encuentra un sensor que debe estar conectado donde se requiere medir la temperatura.

Este tipo de indicadores de temperatura funcionan mediante una variación de volumen o presión del fluido en el sensor, provoca el movimiento de la aguja en un indicador o registrador, previamente transformándose en una señal neumática o eléctrica que se utiliza para control de un proceso.

Presión de vapor en la salida de válvula 25PT

La válvula reguladora de presión y temperatura (25PT) regula la presión de vapor entregada por el banco de distribución a una presión adecuada para alimentar a los intercambiadores de calor. Conocer los valores de presión de vapor que está entregando la válvula 25 PT a su salida es de suma importancia ya que de eso depende el buen funcionamiento del sistema. La tubería de alimentación de vapor posee indicadores para la medición de presión del tipo Bourdon con relleno de glicerina, y se encuentran instalados localmente en cada una de las salidas de las valvulas 25PT. En la figura se observa estos dispositivos.

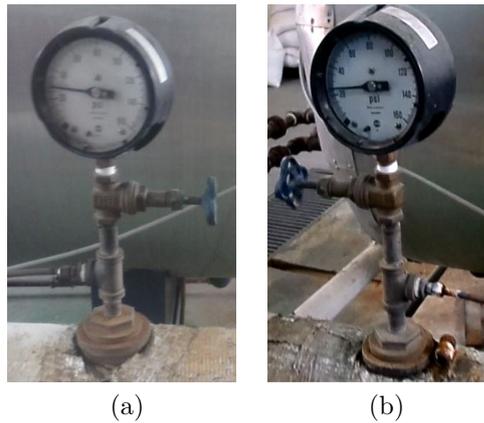


Figura 15: Manometro de tipo bourdon.

Accionamiento de valvulas de suministro de agua

Para el proceso de circulación de agua caliente es necesario operar dos valvulas de tipo compuerta que permita el paso del agua hacia los intercambiadores de calor. Estas válvulas se abren o se cierran dependiendo de la temperatura del agua contenida en el interior de los intercambiadores de calor. Las valvulas tienen un diámetro exterior de 2 pulgadas el estado de estas valvulas se puede apreciar en la figura 16.



Figura 16: Válvulas de compuerta.

Encendido de la bomba de recirculación

Debido a la extensión de la red de suministro de agua caliente con la que cuenta el hospital, el sistema emplea una bomba para la recirculación del agua, esta bomba se encienden durante 15 minutos cada 6 horas durante el día. Actualmente la bomba de agua es encendida manualmente por el operador de turno. En la figura 17 se divisa los elementos empleados para el accionamiento de la bomba de recirculación.



Figura 17: Botonera.

4.2. Determinación de los requerimientos del sistema

El diseño e implementación de la automatización del sistema de recirculación de agua caliente debe presentar ventajas sobre el sistema ya existente con afines de mejorar su funcionamiento. fue necesario analizar los requerimientos de cada etapa del sistema para determinar los elementos a emplear en la automatización.

4.2.1. Adquisición de las señales del proceso.

La adquisición de señales radica en tomar un conjunto de señales físicas y las transforma en tensiones eléctricas o de corriente las cuales pueden ser digitalizadas para luego procesarlas en un computador. a

Temperatura de los intercambiadores de calor

Los indicadores de temperatura montados en cada uno de los intercambiadores de calor se encuentran en buen estado, por esta razón no se remplazaran y servirán de indicadores locales en el proceso. Los intercambiadores de calor que se utiliza actualmente en el hospital no dispone de un sensor electrónico por lo cual es necesario instalar un sensor de temperatura que tenga las siguientes características:

- Sensor de temperatura por variación de resistencia (RTD)
- Resistencia PT100
- Rango de medición de 0°C a 100°C
- Sumergible en agua
- Conexión mínimo de tres hilos

Presión en la salida de la válvula 25PT

Los indicadores de presión de tipo Bourdon se encuentran en buen estado por lo que no es necesario remplazarlos, aquellos servirán de indicadores locales en el proceso. Debido a que para la medición de presión de vapor solo se emplean manómetros, surge la necesidad de instalar un sensor electrónico de presión. En la actualidad el sensor y transmisor de presión, viene integrados dentro de un mismo encapsulado lo cual facilita su instalación. Los transmisores de presión que contienen galgas extensiométricas son los que mejor responden a la medición de presión de vapor, por ello se instalara un transmisor de presión que reúna las siguientes características:

- Rango de medición de 0 a 100 psi
- Salida analógica de 4-20mA
- Soporte altas temperaturas
- Voltaje de alimentación de 24 Vdc
- Conexión de 2 hilos

4.2.2. Actuadores para el proceso

Accionamiento de las valvulas de suministro de agua

Las valvulas solenoide que se usen para el control automático permitirán el paso de agua hacia los intercambiadores de calor, por lo que deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Normalmente cerrada.
- Dos posiciones (totalmente abierta, totalmente cerrada).
- Accionamiento independiente de la presión diferencial.
- Rango de presión de operación de 0-5 bares.
- 2 pulgadas de diámetro externo.
- Constricción en hierro galvanizado.

Encendido de la bomba de recirculación

Los elementos de potencia que se utilizan para el arranque de la bomba de recirculación se encuentran en mal estado debido al deterioramiento de su vida útil, por lo que se requiere remplazar todo el circuito de potencia con equipos nuevos que son los siguientes:

- Interruptor automático
- Contactor
- Relé térmico
- Conductores

4.2.3. Elementos para el sistema de control

En el sistema de control se debe realizar la adquisición de datos y las acciones de control necesarias para un correcto funcionamiento del sistema de recirculación de agua caliente, dado que se necesitan varias entradas y salidas se deberá construir un sistema de control con posibilidad de integración de módulos adicionales.

Se necesita adquirir señales provenientes de los sensores de temperatura instalados en los dos intercambiadores de calor, también es preciso medir la presión de vapor en la salida de las dos válvulas reguladoras de presión y temperatura, en total se tiene 4 señales analógicas para su adecuado tratamiento. La activación de las dos válvulas solenoides y el encendido de una bomba de recirculación implica la existencia de 3 salidas discretas para la activación de las mismas, para mayor flexibilidad la transmisión de datos hacia el computador se realizará en forma inalámbrica. Las características mínimas que debe tener el sistema de control a construirse es de:

- 4 entradas analógicas
- 3 salidas digitales
- Voltaje de alimentación
- Comunicación inalámbrica
- Expansión flexible

El sistema de control requiere de los siguientes módulos adicionales:

- Módulo de procesamiento de datos
- Módulo de entradas digitales
- Módulo de entradas analógicas
- Módulo de salidas digitales a triac
- Módulo de salidas digitales a mosfet
- Módulo convertidor analógico a digital para la RTD
- Módulo de reloj de tiempo real
- Módulo de alimentación
- Módulo de radio frecuencia para la transición de datos al PC.
- Visor local

4.2.4. Elementos para la supervisión del proceso

La supervisión de datos del sistema se presenta a través de una interfaz gráfica en la oficina de mantenimiento del hospital. Para la monitorización del proceso se escogió un computador en cual se programara la recepción y presentación de datos del sistema a controlar, la interfaz gráfica se desarrollara en Python el cual se ejecutara en el sistema operativo de distribución gratuita Linux. Para no generar gasto adicional se debe procurar que el monitor del computador disponga de las siguientes características:

- Resolución VGA
- Tamaño mínimo de la pantalla 15”

4.2.5. Estructura propuesta

La estructura propuesta para la automatización del sistema de recirculación de agua caliente, se realizó tomando en cuenta los elementos necesarios para su construcción. Los sensores proporcionan información al sistema de control, este se encarga de procesar la información para luego enviarla hacia el computador mediante un sistema de comunicación inalámbrica. De la misma forma desde la PC se enviara datos a través

del módulo de radio frecuencia hacia el sistema de control, el mismo que activara los elementos finales de control.

La estructura propuesta para la automatización se muestra en la figura 18.

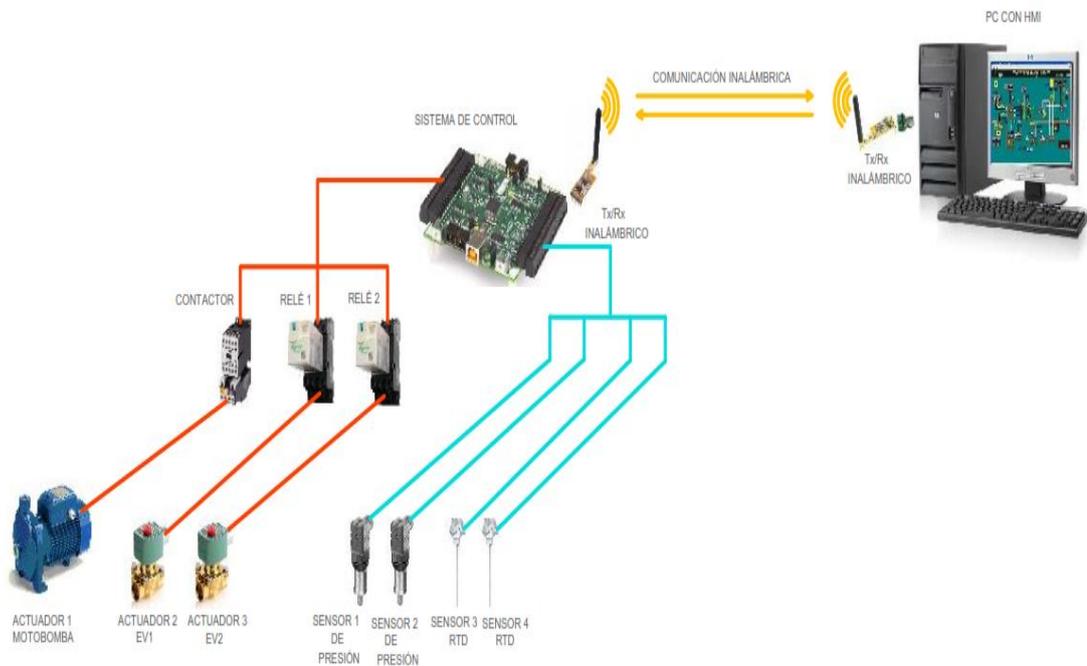


Figura 18: Estructura propuesta.

4.3. Selección de los componentes

Una vez evaluado el sistema actual que existe en el hospital se procedió a la selección de los dispositivos y equipos idóneos para la instrumentación electrónica.

4.3.1. Selección de los sensores

La selección de los sensores es un factor muy importante, ya que de esto depende que el sistema funcione correctamente garantizando seguridad y confianza a los operarios encargados. Para la selección de los sensores se consideró los siguientes puntos:

Requerimientos funcionales

- Tamaño del sensor
- Alimentación
- Tipo de salida

- Rango de medición
- Tiempo de respuesta
- Ajuste de sensibilidad
- Temperatura que soporta
- Inmersión en el agua

Montaje físico

- Espacio requerido
- Soportes, abrazaderas
- Pre-cableado o cable-conector

Sensor de temperatura

Existen una variedad de sensores para la medición de temperatura entre ellos los más conocidos son los termistores, los RTD y termopares, en función a las características que poseen los distintos sensores de temperatura se escogió los RTD PT100 por presentar mayor linealidad, exactitud y estabilidad. En la tabla 3 se muestran los sensores modelos:

Tabla 3: Sensores de temperatura RTD PT100.

Modelo de RTD PT100	Implementación inmediata	Posibilidad de integración	coste
R1T285L (3 hilos) Pyromation	NO	SI	ALTO
TWRPT (3 hilos) Autonics	SI	SI	ALTO
WZP-231 (3 hilos)	SI	SI	BAJO

Una vez que se analizó la tabla 3 se eligió los RTD PT100 WZP-231 de tres hilos con cobrezal tipo B (Figura 19). Las características del RTD PT100 que se instaló en los dos intercambiadores de calor se muestran en la tabla 4 y las especificaciones técnicas se muestran en el Anexo D. Hojas de especificaciones técnicas.

Tabla 4: Características de los RTD PT100 WZP-231

Tamaño del sensor	$L = 8''$ y $D = 0.3''$
Cabezal	Tipo B
Rango de medición	$(-20^{\circ}C) - (+450^{\circ}C)$
Inmersión en agua.	Si

Fuente: Hoja de especificaciones.[28]



Figura 19: Sensor de temperatura RTD PT100 WZP-231

Sensor de presión

Existen una variedad de transmisores de presión industriales para cubrir los diferentes rangos de medida, precisión y protección fabricados con diferentes tecnologías que permiten cubrir todas las necesidades. Para esta actividad se realizó una minuciosa búsqueda de las características de varios sensores/transmisores de presión, en la tabla 5 se muestra los transmisores de presión modelos encontrados en el mercado.

Tabla 5: Transmisores de presión.

Modelo de transmisores de presión	Implementación inmediata	Posibilidad de integración	coste
SITRANS P220 Siemens	Si	Si	Bajo
S-10 Wika	No	Si	Alto
8498 serie Ecos	Si	Si	Alto

De los tres transmisores mencionados anterior mente se escogido el SITRANS P220(7MF1567) de Siemens, por ser una marca muy reconocida y sobre todo esta

a disponibilidad del usuario. En la siguiente tabla se detalla las características de este transmisor de presión.

Tabla 6: Características del STRANS P220(7MF1567)

Tipo de salida	Analógica (4-20 mA)
Rango de medición	0 – 100psi
Soporta altas temperaturas	Si
Precisión de medición	Alta
Alimentación	24Vdc
Conexión	NPT 1/2"
Carcasa	Acero inoxidable

Fuente: Especificaciones técnicas. [29]

En la figura 20 se aprecia los transductores de presión y las especificaciones técnicas se muestran en el Anexo D. Hojas de especificaciones técnicas.



Figura 20: Transmisores de presión.

4.3.2. Selección de los actuadores

Valvulas solenoides

Las valvulas solenoides son dispositivos mecánicos que conducen o restringen el paso del agua hacia los intercambiadores de calor. Los parámetros fundamentales considerados para la selección de las valvulas son los siguientes:

- Tipo
- Operación
- Tamaño

- Conexión
- Voltaje de bobina
- Presión de operación
- Aplicación

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se ha escogido las válvulas solenoides 2W500 – 50 de la marca PNEUMATIC (Figura 21) , cuyas características se indican en la tabla 7.

Tabla 7: Características de las válvulas solenoides 2W500 – 50.

Válvula solenoi- de	Tipo	Operación	Tamaño	Conexión	Voltaje de bobina	Aplicación
1	2 vías	NC	2"	NPT	220Vac	Agua
2	2 vías	NC	2"	NPT	220Vac	Agua



Figura 21: Válvulas solenoide 2W500 – 50.

Elementos para el circuito de fuerza

Antes de que se seleccione los elementos para el circuito de fuerza primero hay que dimensionar los dispositivos de protección, arranque y conductores eléctricos para que sea más segura y confiable su adquisición.

Dimencionamiento del interruptor automático

Los interruptores automáticos (breaker) son empleados para la protección de motores contra sobre cargas y corto circuitos, para el dimensionamiento del breaker se debe considerar los siguientes aspectos:

- Corriente n3mina
- Tensi3n de trabajo
- Poder de corte
- Poder de cierre
- N3mero de polos

Para realizar los c3lculos de dimensionamiento se toma como referencia los datos nominales de la placa del motor de la bomba.

- Potencia 5 Hp
- Tensi3n Nominal 220V
- Corriente nominal 14 A
- Factor de potencia 0.85

Seg3n datos del fabricante se debe realizar un ajuste del 25 % de corriente nominal del motor.

$$I = 25\% * I_n$$

$$I = 2.5 * 14A$$

$$I = 35A$$

El breaker que se seleccion3 es de tres polos marca Schneider Electric de 35A y de 220V AC. En la tabla 8 se presenta las caracter3sticas del mismo.

Tabla 8: Caracter3sticas de breaker Schneider Electric.

Marca / Serie	Schneider Electric
N3mero de polos	3
Corriente m3x	35A
Tensi3n, Grado	480/277V AC
Tipo de montaje	Riel DIN
Tipo primario	Circuit Breaker
Tipo de cierre	T3rmico / magn3tico



Figura 22: Interruptor automático de 35A – 3 fases.

Dimencionamiento del contactor

El contactor es un dispositivo que se encarga de abrir o cerrar circuitos eléctricos y que normalmente funciona como mando a distancia.

Para el dimensionamiento del contactor se debe tener en cuenta:

- Tipo de accionamiento
- Voltaje nominal
- Intensidad nominal del motor
- Potencia del contactor
- Categoría de utilización establecida por la norma IEC 947
- Frecuencia Clase de servicio
- Voltaje de la bobina

También se debe considerar las especificaciones técnicas características de un contactor que se define por:

Categoría de utilización: la cual define las condiciones de establecimiento y corte de la corriente dependiendo de la corriente y tensión nominal. Además depende de la naturaleza de la carga a alimentar y de las condiciones en las que el establecimiento o el corte de la corriente se dan (bomba en funcionamiento normal, corte durante el arranque).

Por razones de seguridad se considera un sobre dimensionamiento del 25 % de la potencia nominal del motor de la bomba.

$$P_{\text{Contactor}} = 1.25 * P_n(\text{Bomba})$$

$$P_{\text{Contactor}} = 1.25 * 5Hp$$

$$P_{\text{Contactor}} = 6.25Hp$$

En base a las características del motor de la bomba y a su potencia nominal, se escogió el contactor de marca LS Industrial Systems que sera el encargado del control ON/OFF de la bomba de recirculación. En la tabla 9 se muestra las características del contactor.

Tabla 9: Características del contactor LS Industrial Systems.

Tipo de accionamiento	Electromagnético
Voltaje nominal	220V AC
Intensidad nominal	18A
Potencia del contactor	7HP
Categoría de utilización según norma IEC 947	AC3
Frecuencia	60Hz
Clase de servicio	Intermitente
Voltaje de la bobina	220V AC
Marca	LS Industrial Systems



Figura 23: Contactor de 18A – 3 fases.

Dimensionamiento del rele térmico

Los relés térmicos de bilaminas son los más utilizados para la protección de motores contra sobrecargas débiles y prolongadas. Para el diseño de las protecciones contra sobrecargas se debe considerar los siguientes puntos:

- La corriente nominal, de arranque y de funcionamiento en régimen estacionario del motor.

- Los valores de tablas del distribuidor.

Los fabricantes recomiendan un ajuste del 25 % de corriente nominal del motor

$$I_{RT} = 1.25 * I_n$$

$$I_{RT} = 1.25 * 14A$$

$$I_{RT} = 17.5A$$

El relé térmico que se seleccionó es de marca LS Industrial Systems y las características se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Características del relé térmico LS Industrial Systems.

Tripolares	Motores trifásicos
Compensados	Insensibles a cambios de temperatura
Rearme	Automático o manual
Visualización de la graduación	En amperios
Tamaño	S0
Contactos auxiliares	1NA+1NC
Botón de parada	Si



Figura 24: Relé termico

Dimencionamiento de relés

Los relés generalmente son empleados para la protección de entradas y salidas digitales de controladores lógicos programables, ya que cualquier imprevisto podría dañar primero el relé en lugar de las salidas del controlador. El dimensionamiento de los relés industriales se realizó tomando en cuenta la tensión de la bobina de las válvula solenoides, el número de contactos abiertos y cerrados, la corriente y el voltaje que los contactos deben soportar en condiciones normales de trabajo.

Con la siguiente ecuación se calcula la corriente que fluye por la válvula solenoide.

$$I = \frac{P}{V}$$
$$I = \frac{250W}{220V}$$
$$I = 1.13A$$

Los relés industriales seleccionados soportan fluido de corriente hasta 5A, a continuación en la tabla 11 se muestran las características del relé.

Tabla 11: Características del relé industrial.

Número de pines	8
Corriente máx. en contactos	10A
Número de contactos	2NA + 2NC
Voltaje de la bobina	220VAC

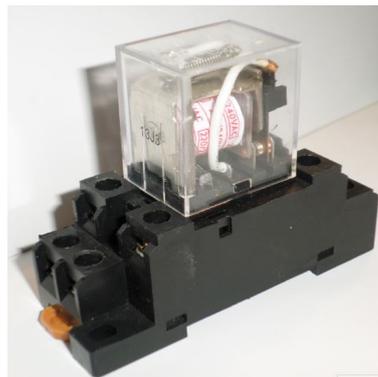


Figura 25: Relé industrial de 220VAC.

Dimencionamiento de protección para las válvulas solenoides

Para la protección de las válvula se emplea un interruptor automático que proteja de sobrecargar y corrientes de corto circuito. se realizó el dimensionamiento siguiendo una serie de pasos consecutivos.

- La corriente que fluye por la bobina válvula solenoide es de 1.14A. Entonces la corriente de excitación de la bobina es aproximadamente 3 veces mayor a la corriente nominal, es decir 3.41A. se toma este valor para evitar que durante la activación de la válvula solenoide abra la protección. A los 3.41A se los multiplica por el factor de 1.25 dando un resultado de 4.26A, por lo que se escoge una protección superior de $I_{N1} = 6A$.

- Utilizando la tabla de factor de corrección de temperatura para interruptor automático, se estima la reducción de capacidad conductora en función de la temperatura ambiente. La temperatura de la válvula solenoide tiene un promedio de 35°C , la corriente escogida para este caso es de $I_{N2} = 5.88\text{A}$.
- Como el interruptor se halla dentro del tablero eléctrico se multiplica por 0.8, obteniendo como resultado $I_{N3} = 4.70\text{A}$
- El valor $I_{N3} = 4.70\text{A}$ no es mayor que el original de $I_{N1} = 6\text{A}$, entonces se escoge un nuevo valor de $I_{N1} = 10\text{A}$ el cual a 35°C presenta un $I_{N2} = 9.70\text{A}$, que multiplicado por 0.8 da un $I_{N3} = 7.76\text{A}$ este valor si es mayor que el original $I_{N1} = 6\text{A}$.

De acuerdo a tablas de especificaciones de los interruptores automáticos proporcionados por el fabricante. El breaker que se seleccionó es el C60HC 210. Las características se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Características del interruptor automático C60HC 210.

Marca / Serie	Schneider Electric
Número de polos	3
Corriente máx	54A
Tensión, Grado	480/277V AC
Tipo de montaje	Riel DIN
Tipo primario	Circuit Breaker
Tipo de cierre	Térmico / magnético



Figura 26: Interruptor automático de 10A de 2 fases.

Dimensionamiento de los conductores

El conductor se dimensiona aumentando el 25% a la corriente a plena carga del motor más grande y luego agregando los valores de corriente de los otros motores y

demás dispositivos. En este caso se tiene una bomba de recirculación y dos válvulas solenoides.

$$I = Factor * I_{PC}(BG) + \sum I_{PC}(BR) + I(CC)$$

Donde:

- $I_{pc}(BG)$: Corriente a plena carga de la bomba
- $I_{pc}(BR)$: Corriente a plena carga de las valvulas solenoides
- $I(CC)$: Corriente aproximada de los circuitos de control

Empleando la ecuación anterior se obtiene:

$$I = 1.25 * 14A + 3.4 + 4.5$$

$$I = 17.5 + 3.4 + 4.5$$

$$I = 25.4A$$

Con este valor de corriente hallado y en base a la tabla 310-16 de la norma NEC, el calibre del conductor es: cable N° 12 AWG flexible de cobre TW-60°C.

Conductor para el circuito de fuerza

El conductor para el cableado del circuito de fuerza en el se conecta la motobomba, válvulas solenoides y luces piloto, se seleccionó tomando como referencia las tablas que proporcionan los fabricantes y en base a la corriente el conductor # 12 AWG que posee una capacidad de conducción de 30 A.

Conductor para el circuito de control

Para el circuito de control se escogió el cable flexible calibre N° 20 AWG de color blanco, el mismo que soporta una corriente de 2A.

Conductor para la instrumentación

Para el cableado de los sensores RTD PT100 se escogió un cable especial para aplicaciones industriales, el mismo que posee un apantallado de tres conductores mul-

tifilar, calibre N° 18 AWG que soporta 300V, 105 °C, de colores negro, blanco y rojo.

Para cableado de los transmisores de presión se seleccionó un cable de instrumentación que tiene un apantallado de dos conductores multifilar, calibre N° 18 AWG que soporta 300V, 105°C, de colores negro y blanco.



Figura 27: Conductores de instrumentación apantallados.

Dimensionamiento de la fuente de tensión para los transmisores de presión.

El transmisor de presión requiere alimentación de tensión de $24VDC$ y su consumo de potencia es de $0.75W$. Se requieren conectar 2 de estos transmisores en la salida de las valvulas reguladoras de presión y temperatura.

Para realizar el dimensionamiento de la fuente de tensión que alimente los transmisores de presión se siguió los siguientes pasos:

- Reconocimiento de la cantidad de sensores a conectar, los dos transmisores serán alimentados con la misma fuente de tensión.
- Determinación del consumo total de los dos transmisores de presión:

$$P = 2 * 0.75W$$

$$P = 1.5W$$

- Cálculo de la corriente consumida:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1.5W}{24V}$$

$$I = 0.063A$$

d. Incremento del valor de corriente un 20 %.

$$I_{\text{corregida}} = 1.2 * 0.063A$$

$$I_{\text{corregida}} = 0.0756A$$

e. La potencia teórica que debe poseer la fuente de tensión.

$$P = I_{\text{corregida}} * V$$

$$P = 0.0756A * 24V$$

$$P = 1.81W$$

La fuente que servirá para alimentar los transmisores de presión deberá poseer las siguientes características que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Características de la fuente de 24VDC.

Modelo	Delta
Voltaje de entrada	110 – 220VAC
Voltaje de salida	24VDC
Corriente de salida	4.5A
Potencia suministrada	100W

4.3.3. Selección de los tableros eléctricos

Los parámetros que se consideró para la selección de un tablero de control son el aspecto constructivo, grado de protección industrial y dimensiones físicas.

Aspecto constructivo:

- Cajas: usadas para montajes compactos y sobrepuestos en paredes, poseen fácil acceso a los elementos que protege y son útiles para sistemas de control pequeños.
- Gabinetes: utilizados en instalaciones empotrados y sobrepuestos en muros, son cerrados con una puerta batiente vertical para el acceso a los equipos

instalados, estos son útiles para sistemas pequeños y medianos.

- Armarios: son de mayor tamaño que los anteriores y se ensamblan en el piso, poseen dos puertas batientes lo cual los hacen accesibles por los dos lados y son útiles para sistemas grandes.

Grado de protección industrial IP:

Se refiere a las condiciones ambientales que pueden soportar el tablero eléctrico y los elementos que alberga. Se determina el grado de protección IP en función del local de trabajo, aplicando la norma C 15100. Se debe elegir correctamente el material y el correcto grado de protección ya que al no hacerlo, hay riesgo de rápido deterioro del contenido y continente.

Dimensiones físicas:

La dimensión que se requiere para albergar todos los elementos de un sistema a instalar, es decir el ancho, alto y profundidad. Es recomendable una sobrecapacidad de $\simeq 30\%$ en la superficie y volumen, para asegurar su colocación de aparatos en posibles futuras ampliaciones.

Para la automatización del sistema se requirió de dos tableros eléctricos. Tomando en cuenta las consideraciones expuestas anteriormente se procedió a la selección de los mismos.

Tablero eléctrico N° 1 (De potencia)

Este tablero se sobrepuso en el muro de la casa de máquinas ubicado cerca de las bombas de recirculación de agua caliente y de los intercambiadores de calor. El cual almacena todos los elementos de potencia empleados para el arranque directo de la bomba y activación de las valvulas solenoides, Para el acceso a los componentes ensamblados deberá hacerse a través de una puerta batiente vertical asegurada con una llave. Por el tamaño y número de elementos a instalarse se uso un gabinete que protege de la mínima incidencia de polvo a los mismos. Como no se halla expuesta a precipitación de líquidos entonces el grado de protección industrial que se escoge es IP55. Las dimensiones requeridas (ancho x alto x profundidad) son (400 x400x200) mm.

Tablero eléctrico N° 2 (De control)

Este tablero esta sobrepuesto en el muro de la casa de maquinas ubicado dentro de la oficina de control. Almacena todos los elementos del sistema de control (placa principal, módulos secundarios, botoneras e indicadores), Para el acceso a los circuitos de control deberá hacerse a través de una puerta batiente vertical que está asegurada con una llave. Desde un punto de vista constructivo se uso un gabinete, que protege el sistema de control de la mínima incidencia de polvo, como no se halla expuesta a precipitación de líquidos entonces el grado de protección industrial que se escoge es IP55. Las dimensiones requeridas (ancho x alto x profundidad) son (300 x400x250) mm.

La tabla 14 muestra las características de los tableros de control que se emplearon en el proyecto.

Tabla 14: Características de los tableros eléctricos.

Parámetros considerados			
Tablero eléctrico	Aspecto constructivo	Grado IP	Dimensiones (ancho x alto x profundidad)
1	Gabinete	IP 55	400x400x200
2	Gabinete	IP 55	400x300x250

4.3.4. Selección de botoneras

Se selecciono los pulsadores de marcha, paro y parada de emergencia, que permitieron la operación del tablero de control por parte de los operarios. Los parámetros a considerar son:

- Tipo de contacto requerido
- Accionamiento
- Luz piloto
- Número de posiciones
- Dimensiones físicas

En la tabla 15 se muestra las características técnicas de la botonera.

Tabla 15: Características de la botonera.

Botonera	Contacto	Accionamiento	Luz piloto	Nº de posiciones
Pulsante start	NA	Pulsante tipo hongo	No	1
Pulsante stop	NC	Pulsante color verde	No	1
Pulsante de emergencia	NC	Pulsante color rojo	No	1



Figura 28: Pulsadores

4.3.5. Selección de los elementos de control

Para la selección de cada uno de los dispositivos se tomó en cuenta el costo, tiempo de adquisición, modo de conexión y compatibilidad. El sistema de control está diseñado por una placa principal y módulos secundarios que complementa para realizar la tarea de control del sistema de forma automática.

Módulo de procesamiento de datos (Placa principal)

Para la selección de este componente se evaluó varios modelos de tarjetas electrónicas destinadas para adquisición de datos y control de procesos industriales. Las desventajas son varias ya que estas tarjetas requieren software comercial para ser programadas, lo que se busca en este proyecto es automatizar con hardware y software libre por ello se buscó tarjetas que trabajen con open source de las cuales se escogió la tarjeta de desarrollo Arduino, ya que existe una gran cantidad de información acerca de esta plataforma libre.

En la tabla 16 se muestra las características de los modelos de Arduino oficiales existentes en el mercado.

Tabla 16: Características de las placas Arduino estandar.

Características	UNO	LEONARDO	MEGA2560	DUE
Microcontrolador	Atmega 328	Atmega 32U4	Atmega 2560	AT91SAM3X8E
Velocidad del reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz
Pines de entrada y salida	14	20	54	54
Entradas analógicas	6	12	16	12
Salidas analógica	0	0	0	2(DAC)
Memoria flash	32 Kb	32 Kb	256Kb	512 Kb
Memoria SRAM	2 Kb	2.5 Kb	8 Kb	96 Kb
Memoria EEPROM	1 Kb	1 Kb	4 Kb	0 Kb
corriente en la líneas I/O	40 mA	40 mA	40 mA	130 mA
Tipo de USB	Estándar	Mini	Estándar	Mini
Precio	\$ 35	\$ 35	\$ 64	\$ 70

Fuente: Arduino Open Source.[30]

Una vez analizado las características de las placas anteriores se escogió una placa oficial Arduino mega 2560. Las especificaciones técnicas se muestran en el Anexo D. Hoja especificaciones técnicas.

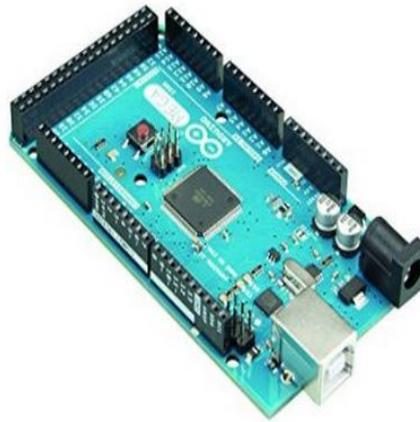


Figura 29: Arduino Mega 2560.
Fuente: Arduino Open Source.[30]

Módulo RTC (Reloj de tiempo real)

Por necesidad de control de tiempos, el reloj debe ser exacto por lo que se optó utilizar un reloj externo con comunicación I2C. Realizado una búsqueda se encontró dos que trabajan bien con el Arduino el DS1307 y DS3231. Como se requiere de precisión para operar en ambientes industriales se escogió el DS3231 por presentar mayor precisión de funcionamiento.

Las características de RTC DS3231 se presentan en la tabla 17. Las especificaciones técnicas se puede apreciar en el Anexo D. Hojas de especificaciones técnicas.

Tabla 17: Características del RTC DS3231.

Voltaje de entrada	3.3V – 5V
Onda de salida	DS3231
Chip	Cuadrada programable
Soporte calendario	Hasta el año 2100
Precisión del sensor de temperatura	± 3 grados
Chip de memoria	AT24C32
Capacidad del chip de memoria	32k



Figura 30: RTC DS3231

Módulo conversor de analógica a digital para los RTD PT100

Para la conversión de análogo a digital de la variación de la resistencia de los sensores RTD PT100 se escogió el módulo MAX31865 PT-100 RTD to Digital Breakout, el cual posee dos configuraciones de hardware estándar diseñado para interactuar tanto con el PT100 o PT1000 RTD de platino. Se pueden conectar sensores RTD de 2, 3 y 4 hilos, el MAX31865 se interconecta a través de una comunicación SPI con una salida de datos listos para el funcionamiento de modos específicos. Este dispositivo tiene la capacidad de interconectarse a través de la comunicación SPI con los microcontroladores, Arduinos, Raspberry PI, etc. sin sacrificar su rendimiento.

En la tabla 18 se detalla las características del módulo MAX31865 PT-100.

Tabla 18: Características del módulo MAX 31865 PT-100.

Capacidad de conexión	RTD de 2, 3 ó 4 hilos
Tensión de alimentación	3.2 a 5.6V
Interfaz SPI	15 bits
Resistencia de precisión	Alta
Compatibilidad	Arduino
Detección de falla	Múltiples y configurables
Orificios de montaje	4 – 40mm

Fuente: Playingwithfusion.[31]

En la figura 31 se visualiza el módulo MAX31865 PT-100 y las especificaciones técnicas se muestran en el Anexo D. Hoja de especificaciones técnicas.

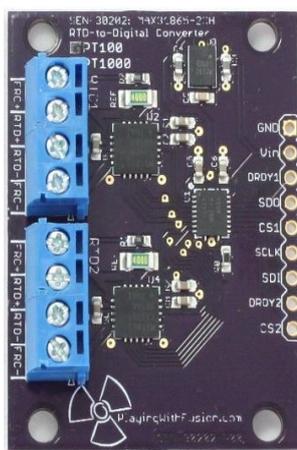


Figura 31: Módulo MAX 31865 PT-100.

Módulo de radio frecuencia

La transmisión de información del sistema de control instalado en la planta hacia el computador ubicado en la oficina de mantenimiento se realizó de forma inalámbrica para controlar y monitorear el sistema de recirculación de agua caliente. Realizando una búsqueda de módulos de radio frecuencia se encontró varios modelos que analizando las características de cada uno de ellos se escogió el APC220 por lo que es un transceptor half-duplex de alto nivel de integración, posee un MCU de altísima velocidad, un circuito integrado con mayor capacidad en características de radio frecuencia y cuenta con un avanzado sistema de corrección de errores debido a la codificación por interpolación. Los módulos de RF APC220 operan entre las frecuencias 418-455 MHz con una modulación GFSK y son altamente recomendados para trabajar en ambientes industriales y de gran interferencia, en la tabla 19 se muestra las características técnicas de estos módulos.

Tabla 19: Características de los módulos de RF APC220.

Alimentación:	+3.4V a 5.5V
Consumo transmisión:	40mA
Consumo recepción:	28mA
Temperatura de operación:	-30°C a +85°C
Alcance:	800mts
Rango de frecuencias:	418 – 455Mhz
Modulación:	GFSK
Canales de separación:	200Khz
Máxima potencia de salida:	20mW ajustable por programación
Interfaz comunicación:	UART TTL
Sensibilidad de recepción:	-113dmb@9600bps
Buffer de datos:	256bytes
Dimensiones:	$Largo = 37.5[mm]$ $Ancho = 18.3[mm]$ $Espesor = 7[mm]$

En la figura 32 se puede apreciar este módulo de radio frecuencia APC220 y las especificaciones técnicas se muestran en el Anexo D. Hoja de especificaciones técnicas.



Figura 32: Módulos de RF APC220.

Pantalla LCD

La visualización local de los datos leídos por los sensores de presión y temperatura se realiza mediante una pantalla de cristal líquido (LCD). En el mercado existen unos cuantos tipos de estos dispositivos, pero de acuerdo a los datos que se requiere presentar en la pantalla se escogió una LCD 20x4 por disponer de 4 filas de 20 caracteres cada una lo que le hace ideal para esta tare. Las características de la lcd 20x4 se presenta en la tabla 20.

Tabla 20: Características de la lcd 20x4.

Características de lcd 20x4	
Calidad	Alta
Consumo	Bajo
Formato de presentación	20 caracteres x 4 líneas
Texto	Negro
Luz de fondo	Verde
Tamaño:	9,8cmx6cmx1,2cm.

En la figura 33 se observa la lcd 20x4 usado para visor local de sistema de recirculación de agua caliente.



Figura 33: LCD 20x4.

4.4. Diseño y construcción del sistema de control

En esta parte se diseñó y construyó el sistema de control que responde a los parámetros requeridos por el mismo.

4.4.1. Diagrama de bloques del hardware del sistema de control

El sistema de control está constituido por módulos de acuerdo a la función que realizan, los módulos permitieron un mejor análisis y verificación en la operación del sistema. En la figura 34 se muestra los módulos que conforman el sistema de control automático.

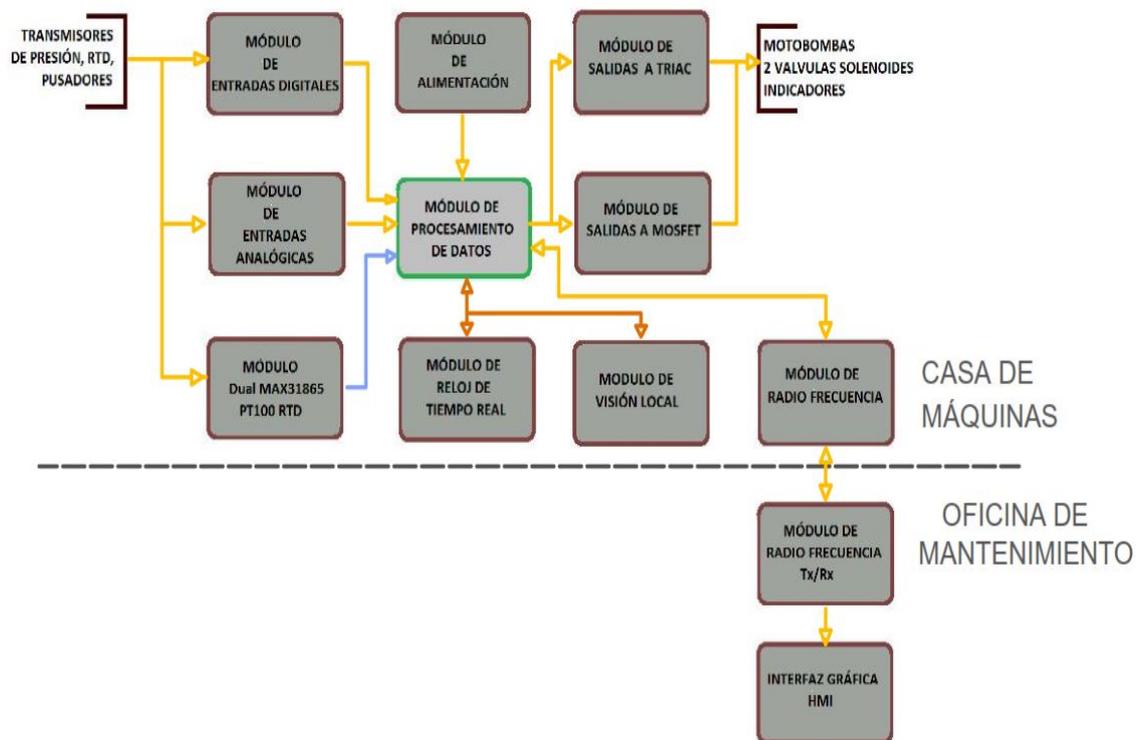


Figura 34: Diagrama de bloques del hardware del sistema.

4.4.2. Diagramas esquemáticos electrónicos del sistema de control

Los diagramas esquemáticos se realizaron en el software Proteus, este programa se utiliza para simular circuitos electrónicos.

Módulo de procesamiento de datos (Placa principal)

Este módulo es el cerebro del sistema de control, encargado de coordinar las comunicaciones y ejecutar cíclicamente el programa de control, coordinando la secuencia de operación del sistema de control automático.

- Digitaliza las señales provenientes de los sensores/transmisores de presión y sensores de temperatura.
- Coordina las comunicaciones serial I2C y SPI.
- Activación de las valvulas solenoides según información anterior
- Activación de las bombas de recirculación según información anterior
- Recepción serial del estado de las bombas de recirculación y valvulas solenoides
- Envío de las señales digitalizadas al PC a través del módulo de transmisión inalámbrica.

La placa de desarrollo elegida para la construcción del módulo de procesamiento de datos es un Arduino mega 2560, posee un microcontrolador ATmega2560 además cuenta con 54 pines digitales los cuales funcionan como señales de entrada o salida, 16 entradas analógicas para conectar sensores analógicos, un cristal oscilador de 16MHz, conexión por USB, un botón de reset y una entrada externa para la alimentación de la placa.

El Arduino mega 2560 se comunica con la computadora a través del puerto serie, gracias a que posee un convertidor USB-SERIE por lo cual se necesita un cable USB para conectarlo a la PC. Esta placa Arduino puede ser programada utilizando el lenguaje propio de Arduino junto con la interfaz Arduino IDE, este es un software Open Source que puede ser descargado fácilmente de la página oficial de Arduino.

La placa principal (Arduino mega2560) es el encargado de procesar información, permitiendo la adquisición de datos de las variables procedentes de los sensores externos, ejecuta la rutina de control y acondiciona la recepción de datos de forma adecuada para su visualización.

Las conexiones de cada uno de los pines del Arduino Mega2560 se especifican en la tabla 21.

Tabla 21: Configuración de los pines del Arduino Mega 2560

Nombre	PIN	E/S	A/D	Función
PA0/AD0	22	S	D	Encender motobomba
PA2/AD2	24	S	D	Activar válvula solenoide 1
PA4/AD4	26	S	D	Activar válvula solenoide 2
PA6/AD6	28	S	D	Reserva
PB5/OC1A/PCINT5	11	E	D	E/D 2 (Módulo de E/D)
PB4/OC2A/PCINT4	10	E	D	E/D 1 (Módulo de E/D)
PB3/MISO/PCINT3	50	E	D	Miso (MAX1685)
PB2/MOSI/PCINT2	51	E	D	Mosi (MAX1685)
PB1/SCK/PCINT1	52	E	D	Sck (MAX1685)
PB0/SS/PCINT0	53	E	D	SS Slave (MAX1685)
PD0/SCL/INT0	21	E	D	SCL (Módulo RTC y I2C)
PD1/SDA/INT1	20	E	D	SDA (Módulo RTC y I2C)
PE0/RXD0/PCINT8	0	E	D	RX0 (Módulo APC 220)
PE1/TXD0/PEDO	1	E	D	TX0 (Módulo APC 220)
PE4/OC3V/INT4	2	E	D	E/D 10 (Módulo de E/D)
PE5/OC3C/INT5	3	E	D	E/D 9 (Módulo de E/D)
PG5/OC0B	4	E	D	E/D 8 (Módulo de E/D)
PE3/OC3A/AIN1	5	E	D	E/D 7 (Módulo de E/D)
PH3/OC4A	6	E	D	E/D 6 (Módulo de E/D)
PH4/OC4B	7	E	D	E/D 5 (Módulo de E/D)
PH5/OC4C	8	E	D	E/D 4 (Módulo de E/D)
PH6/OC2B	9	E	D	E/D 3 (Módulo de E/D)
PF0/ADC0	A0	E	A	Canal Analógico(Sensor de presión 1)
PF1/ADC1	A1	E	A	Canal Analógico(Sensor de presión 2)

En la figura 35 se muestra diagrama esquemático de las entradas y salidas conectadas al Arduino Mega2560.

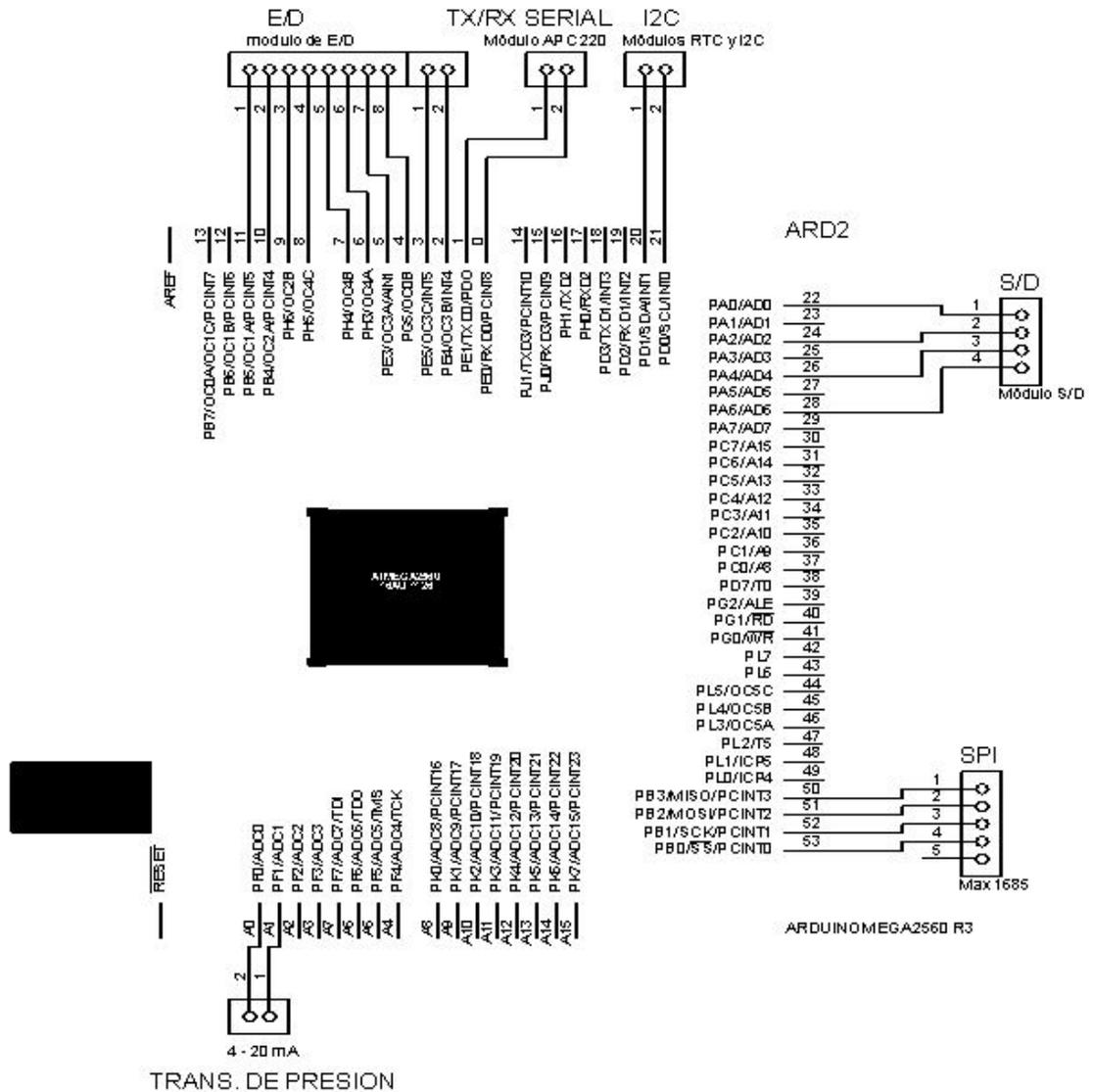


Figura 35: Conexión de los pines del Arduino Mega 2560.

Módulo de entradas digitales

Este módulo es el encargado de obtener a través de sus pines la información que transmiten los pulsadores, contactor y relé térmico. El sistema requiere de 9 entradas digitales distribuidas de la siguiente manera 7 de ellas para pulsadores de control on/off, las restantes para conexión del NC del relé térmico y conexión del NO del contactor.

La electrónica con la que se diseñó el módulo de entradas digitales, reduce el voltaje proveniente de los pulsadores, contactores auxiliares del contactor y relé térmico. Además aísla el módulo de picos de tensión que podrían destruir la placa principal. El circuito que se diseñó en esta placa está constituido por un optoacoplador 4N25, resistencias, un diodo led y un zener. Se realizó un divisor de tensión empleando un zener de modo que exista siempre entre sus puntos 5.1 voltios, después se colocó una resistencia y un diodo led reduciendo el voltaje hasta 1.5V que es necesario para que trabaje el optoacoplador 4n25 que es el encargado de aislar la placa Arduino del medio exterior.

En la figura 36 se observa el circuito diseñado y simulado en el Software Proteus.

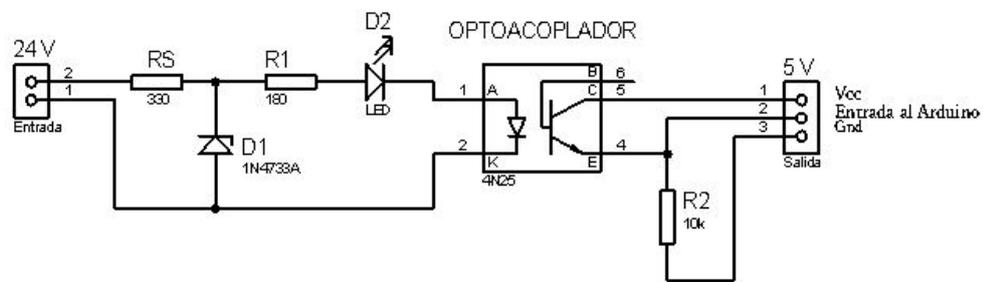


Figura 36: Circuito de entrada digital

Cálculos realizados en el circuito:

Potencia del diodo zener de 5.1 voltios es de 1W, entonces la corriente que circula por zener es:

$$\begin{aligned}
 P &= V * I \\
 1W &= 5.1 * I \\
 I &= \frac{1W}{5.1V} \\
 I &= 0.196A
 \end{aligned}$$

Para seguridad por el diodo zener solo debe pasar $\frac{1}{4}$ de la corriente total que soporta.

$$\frac{1}{4}I = 49mA$$

Cálculo de R1:

$$\begin{aligned}5.1V &= R1 * I + 2.2V + 1.5V \\5.1V - 2.2V - 1.5V &= R1 * (10mA) \\R1 &= \frac{1.4V}{10mA} \\R1 &= 140\Omega\end{aligned}$$

Cálculo de RS:

- La corriente de consumo = $59mA$
- El voltaje que cae en RS = $24V - 5.1V = 18.9V$

$$\begin{aligned}RS &= \frac{V}{I} \\RS &= \frac{18.9V}{59mA} \\Rs &= 315\Omega\end{aligned}$$

El valor de la resistencia de 315Ω no es comercial se ajusta a un valor de 330Ω .

Módulo de Entradas analógicas

Este módulo diseñado está basado en el receptor convertidor del lazo de corriente RCV 420JP de la compañía Texas Instruments, que convierte una señal de instrumentación de 4-20 mA a un voltaje linealmente proporcional ente 0-5V que es adecuado para ser digitalizado por el Arduino mega 2560. Los beneficios que presenta este circuito integrado son de mayor facilidad en el diseño, montaje y mantenimiento. Las especificaciones técnicas del circuito integrado RCV 420 se muestran en el Anexo B. Hoja de especificaciones técnicas.

Para obtener una salida de tensión de 0-5V a partir de una entrada de 4-20mA la transimpedancia del circuito debe ser:

$$\frac{V_{out}}{I_{in}} = \frac{5V}{16mA} = 0.3125V/mA$$

Esto determina que por cada mA a la entrada se medirá a la salida una variación de $0.3125V$, por lo que para obtener una salida de $0V$ con una entrada de $4mA$ y $5V$ para una entrada de $20mA$ la salida del amplificador debe ser compensada por un offset de la magnitud de la siguiente ecuación.

$$V_{os} = (-4mA)(0,3125V/mA) = -1,25$$

La ganancia de tensión del amplificador es:

$$Ad = 5V/16mA(75) = 4.1667V/V$$

Para convertir la señal de salida de los dos transmisores de presión en voltaje, se conectan dos RCV420 por cada medidor de presión. La conexión se realizó bajo especificaciones proporcionadas por el fabricante esto se muestra en la figura 37, cada circuito integrado en el pin 14 está conectado a un amplificador operacional LM358 que ayuda para que el Arduino no se quemara con los voltajes negativos que da el integrado cuando no está en funcionamiento. Además requiere de una tensión de alimentación mínima de $\pm 12V$.

Por medio de una ecuación obtenida del datasheet del RCV420 se halló la resistencia limitadora $R1$ mínima para evitar una sobretensión a la entrada del integrado en caso que se produzca un cortocircuito en los terminales del transmisor de presión y que además actuó como resistencia de lazo.

$$R1_{minima} = 24V/40mA - 75\Omega = 525$$

Donde:

- $24V$ es el valor de tensión de los transmisores de presión.
- $40mA$ es la corriente máxima que soporta el RCV 420
- 75Ω es la resistencia interna de la entrada del circuito integrado.

La resistencia de 525 no es un valor comercial por lo que se conectaron en serie dos resistencias de 510 y de 22 ohmios.

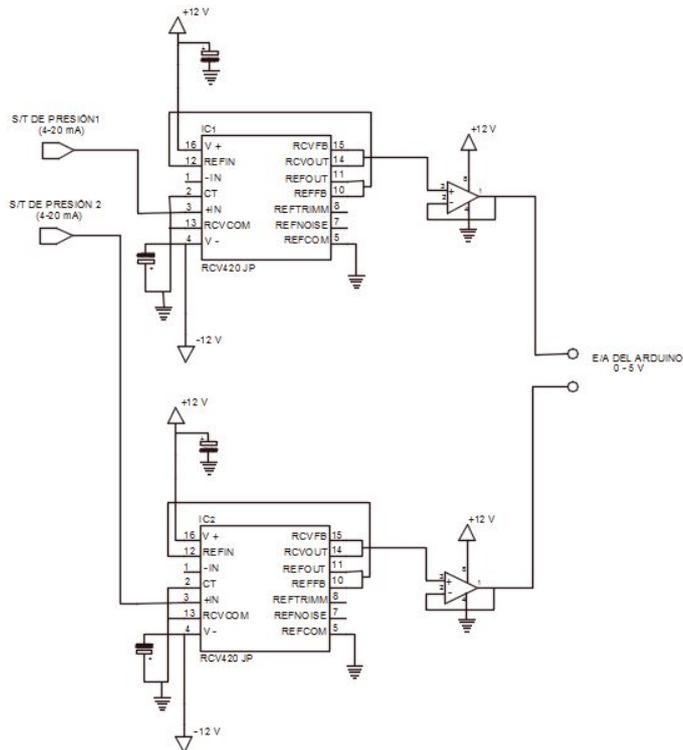


Figura 37: Circuito del módulo de entradas digitales

Módulo de salida a triac

En este módulo se diseñó la etapa de potencia para activar la bobina del contactor y de los relés que trabajan con una tensión de 220 VAC. El circuito fue diseñado empleando un dispositivo de estado sólido denominado triac que es transistor especial para corriente alterna y es extremadamente útil para realizar conmutación con microcontroladores. Para aislar la etapa de potencia con la de control se emplea un opto-triac que tiene en su interior un led y un foto triac, existen varios modelos pero se empleó el MOC 3041 por poseer la característica de detectar el cruce por cero, lo cual ayuda a evitar los picos de corriente hacia la carga.

Las cargas que se conectaron al circuito son inductivas (bobinas), la desconexión produce picos de tensión-transitorios- de alto valor, para proteger los circuitos internos se acopla un circuito de protección compuesto por un condensador y una resistencia (circuito RC) conectado en paralelo con un varistor. En la figura 38 se muestra el esquemático diseñado y simulado en Proteus.

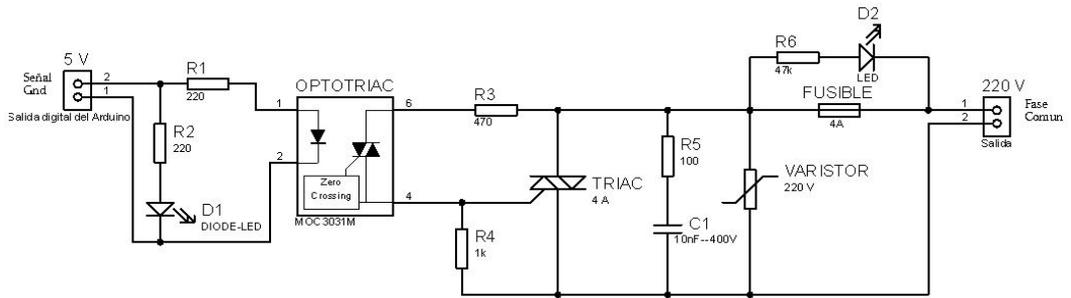


Figura 38: Circuito de salida triac

Módulo de salida a mosfet

Los indicadores (Luces pilotos) que se emplearon para visualizar el estado de los actuadores en el proceso requieren de una tensión de 24V para su activación. El Arduino mega 2560 no puede manejar tensiones e intensidades mayores que 5V y 40mA, por lo que se usó un transistor mosfet para conmutar cargas con tensiones elevadas. En el diseño de este módulo se utilizó un mosfet canal P el cual va a ser empleado como un interruptor por presentar una rápida respuesta y alto número de operaciones.

El circuito fue diseñado utilizando un opto acoplador que aísla la conexión de la fuente de alto y bajo voltaje para proteger la parte de control, el optoaislador utilizado es el 4N25 que en su interior posee un diodo led y un foto-transistor bipolar NPN, resiste una conexión de tensión máxima hasta 30V y una corriente de 150mA. En la figura 22 se muestra el circuito para la activación del mosfet.

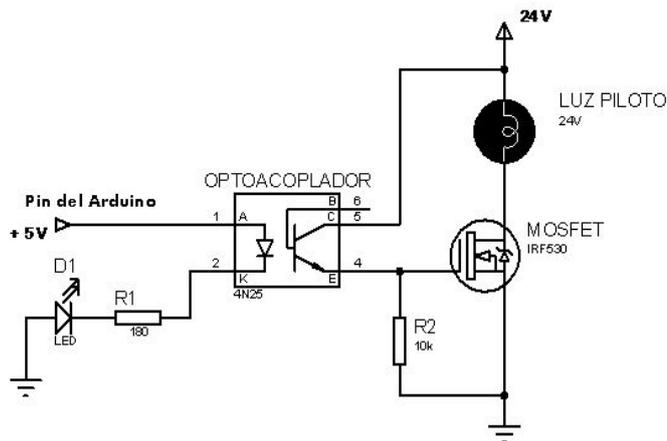


Tabla 22: Circuito salida a mosfet

Módulo de Alimentación

Este módulo se encarga de proporcionar los niveles de tensión necesarios para el funcionamiento de Arduino y módulos secundarios. La tensión de alimentación se obtiene de una fuente de 24V de la cual se filtra y se adapta a los niveles de tensión de 12 V y 7 V para alimentar a los circuitos del sistema de control, haciendo de esta forma un montaje más compacto y seguro.

Para la regulación de tensión se empleó dos reguladores de tensión el circuito integrado LM 7812 y el LM7806 con sus respectivas protecciones térmicas, los mismos que permiten una corriente máxima de 1 A, la regulación de voltaje de la fuente de 24V se realiza por etapas primero se regula a 12V y después a 6V para que de esta forma la caída de voltaje de entrada se disipe en los dos circuitos integrados evitando el calentamiento de los mismos.

En la figura 39 se puede apreciar el circuito del módulo de alimentación, el mismo que cuenta con diodos rectificadores para recortar picos negativos de ruido y proteger el circuito en caso de inversión de polaridad, los capacitores a la entrada de los reguladores eliminan inductancias presentes y los capacitores a la salida mejoran la respuesta transitoria.

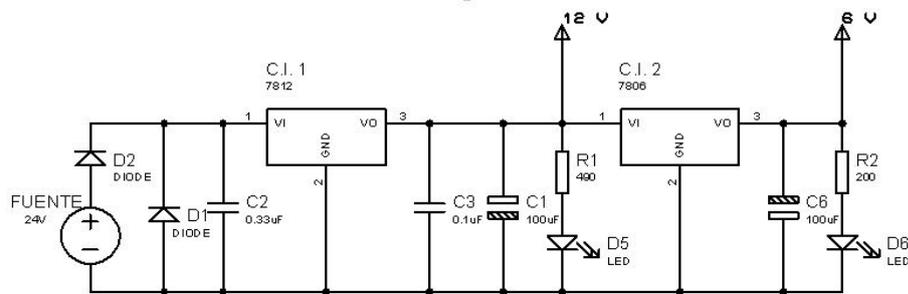


Figura 39: Circuito del módulo de alimentación

Conexión del módulo MAX31865 PT-100 RTD to Digital Breakout

El módulo MÁX 31865PT-100 posee una interfaz de comunicación SPI para interconectarse con microcontroladores, Arduinos y otros dispositivos. Este módulo es el encargado de convertir la señal analógica a digital con una proveniente de la variación de la resistencia de platino del sensor RTD instalados en los intercambiadores de calor en la planta. En la figura 40 se muestra las conexiones entre el módulo y el Arduino y además la conexión de los sensores RTD PT100 de 3 hilos.

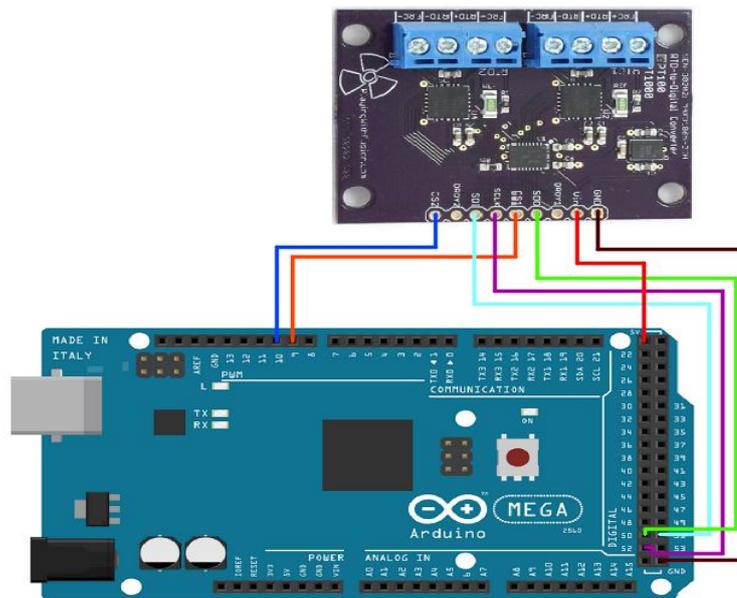


Figura 40: Conexión del Max31865 PT 100.

Conexión del RTC DS3231

El módulo RTC DS3231 posee una interfaz de comunicación I2C para la interconexión con microcontroladores y Arduinos. El bus I2C es una comunicación serial en el cual se pueden conectar varios dispositivos que contengan este bus. El DS3231 se conecta al Arduino mega 2560 por medio del bus I2C empleando solamente cuatro cables lo cual ofrece una conexión más compacta y flexible. En la figura 41 se observa la conexión entre el RTC y el Arduino.

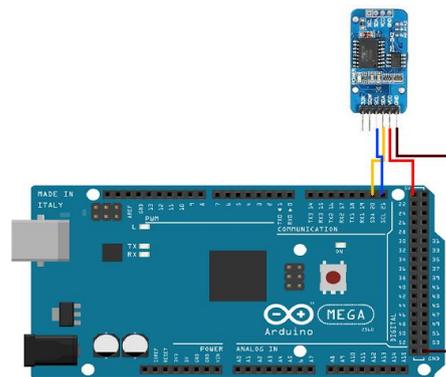


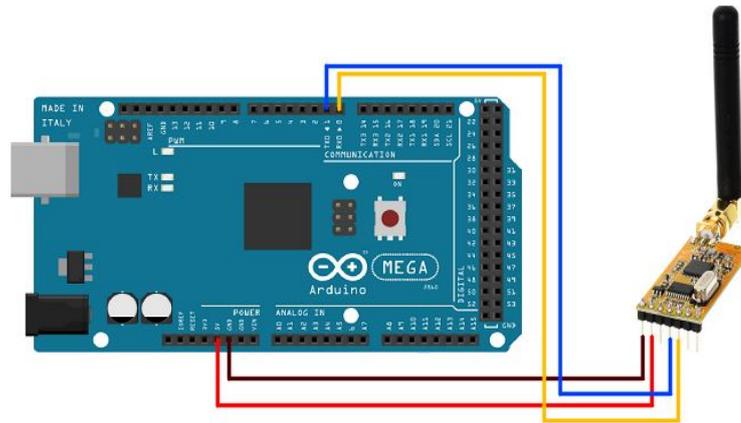
Figura 41: Conexión del RTC DS 3231.

Conexión del APC 220

Para la comunicación inalámbrica entre el sistema de control y el computador se emplean los módulos de RF APC220. Para la utilización de estos módulos primero

deben ser configurados ya que es posible establecer la potencia de salida y la velocidad de comunicación entre los dispositivos, para la configuración se requiere el programa Rfmagc con el que se puede leer y escribir datos en los módulos.

El APC220 para conectar en la PC requiere de un módulo USB convertidor de USB/TTL el cual permite la configuración de los mismos y el envío de datos por el puerto serial, el esquema de conexión de muestra en la figura 42.



(a) Conexión en el sistema de control.



(b) Conexión en el computador

Figura 42: Conexión de los módulos de RF APC 220.

Conexión de la LCD 20x4

Para la conexión de la pantalla de cristal líquido que se empleó el módulo I2C para lcd, el cual posee un PCF8574 que es un expansor de entradas y salidas compatible con la mayoría de microcontroladores el cual permite una comunicación bidireccional, necesitando para ello solo dos líneas a través del bus I2C. Las características de este módulo son las siguientes:

- Tensión de alimentación de 2.5 a 6 Vdc.

- Bajo consumo en standby (máximo 10 microamperios)
- Conversión de datos de I2C a paralelo y viceversa.
- Un Pin de interrupción de salida a drenador abierto (necesita resistencia pull-up).
- Un puerto cuasi-bidireccional de ocho bits (necesitan resistencias pull-up).
- Tres pines disponible para configurar por hardware la dirección del dispositivo.
- Disponible en encapsulados DIP y SMD.

En la figura 43 se observa el esquema de conexión de la LCD al Arduino.

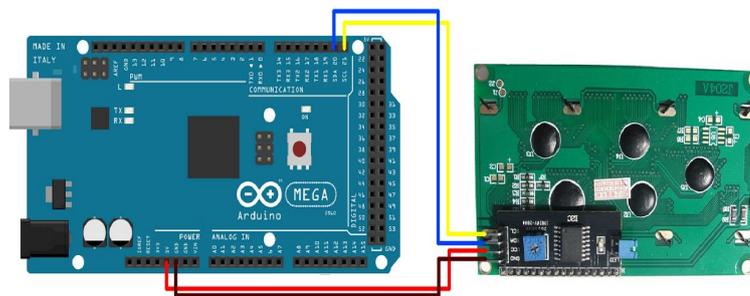


Figura 43: Conexión de la LCD

4.4.3. Diseño y construcción de las PCB

Una vez realizado los esquemáticos se procede a fabricar las placas de circuito impreso de los módulos secundarios de sistema de control. El diseño de la PCB se realizó en PROTEUS ARES que es un software específicamente empleado para diseñar circuitos impresos. La construcción se realizó en baquelita de una sola cara de fibra de vidrio. A continuación se puede apreciar el diseño y construcción de estos módulos.

Módulo de entradas digitales

Diseño de la PCB

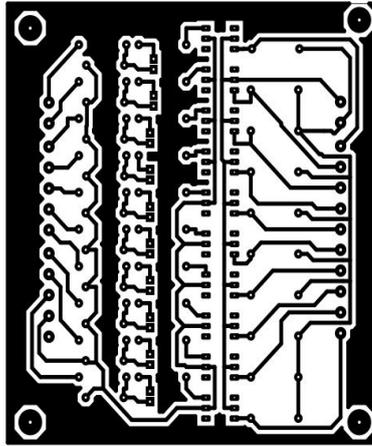


Figura 44: Diseño en PCB módulo de entradas digitales

Diseño final



Figura 45: Módulo de entradas digitales

Módulo de Entradas analógicas

Diseño de la PCB

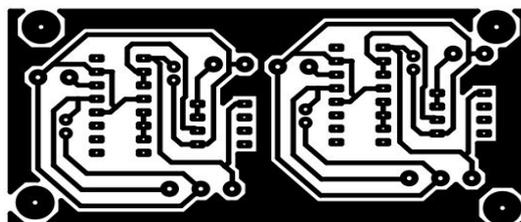


Tabla 23: Diseño en PCB módulo de entradas analógicas.

Diseño final



Figura 46: Módulo de entradas analógicas
Fuente: El autor

Módulo de salida a triac

Diseño de la PCB

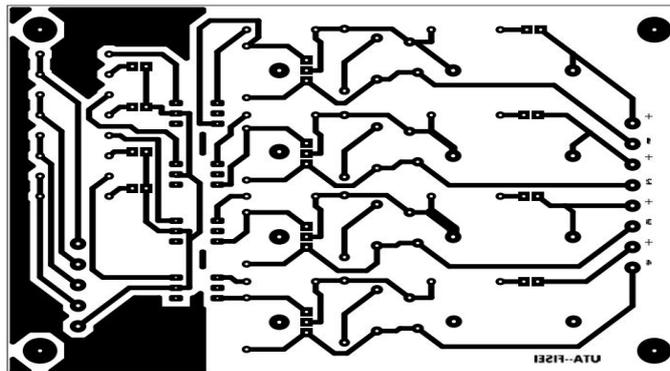


Tabla 24: Diseño en PCB módulo de salida a triac

Diseño final



Figura 47: Módulo de salida a triac

Módulo de salida a mosfet

Diseño de la PCB

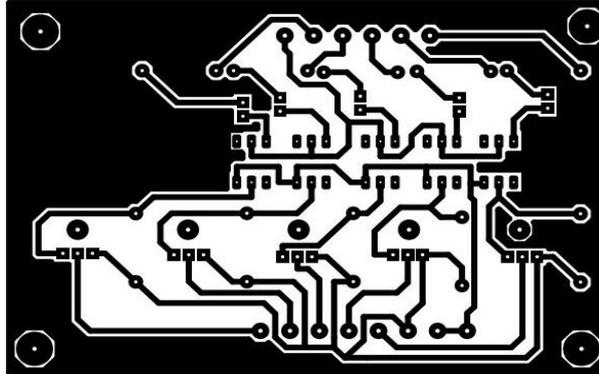


Figura 48: Diseño en PCB modulo de salidas a mosfet.

Diseño final



Figura 49: Módulo de salida a mosfet

Módulo de alimentación

Diseño de la PCB

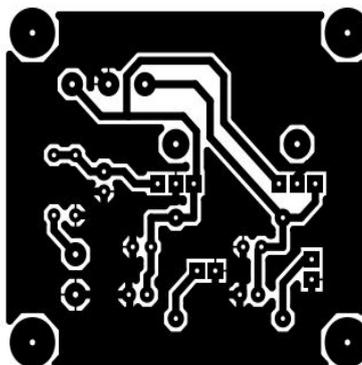


Figura 50: Diseño en PCB módulo de alimentación

Diseño final



Figura 51: Módulo de alimentación

4.5. Diseño de los planos eléctricos

4.5.1. Planos eléctricos

El diseño de los planos eléctricos se realizó exclusivamente para el proyecto de automatización del sistema de recirculación de agua caliente debido a que carece de planos y todo es accionado mecánicamente. Los planos realizados conforman cinco partes los cuales se describen a continuación.

1. Circuitos eléctricos de potencia, en esta parte se muestra las conexiones eléctricas de los elementos de potencia los cuales son:

- El motor trifásico de la bomba de recirculación
- Protecciones eléctricas del motor y de las valvulas solenoides.

2. Circuito eléctrico de control, esta es la parte principal de los planos donde se representan las conexiones eléctricas realizadas en el sistema de control como son:

- Conexión eléctrica de entradas al sistema de control: es muestra las conexiones de los sensores de presión, temperatura y botoneras.
- Conexión eléctrica de las salidas del sistema de control: es muestra las conexiones de los elementos de control final que son las bobinas de contactor, bobinas de relés y luces pilotos.

3. Alimentación del sistema de control.

4. Tablero eléctrico de potencia, se muestra el esquema de la disposición física de todos los dispositivos de potencia.

5. Tablero eléctrico de control, se presenta el esquema de la disposición física de los elementos control.

Los planos eléctricos se realizaron en AutoCAD, los mismos se muestran detalladamente en el Anexo A. Planos eléctricos.

4.5.2. Listado de componentes

El listado de todos los componentes eléctricos y electrónicos utilizados para la automatización del sistema de recirculación de agua caliente se detallan a continuación.

Tablero eléctrico N°1 (De potencia.)

En la tabla 25 se indica los componentes que conforman el tablero de potencia.

Tabla 25: Lista de componentes del tablero de potencia

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad
Interruptor Automático de 35A, 3 polos	Schneider Electric	C120H 3P	1	....
Interruptor Automático de 10A, 2 polos	Schneider Electric	C60HC 210	2	....
Relé de 220VAC	HH53P	MY3NJ	2	....
Contactador 18A, 3 polos	LS Industrial Systems	MC-18b	1	....
Relé Térmico 12 – 18A, 3 polos	LS Industrial Systems	MT-32/3K	1	....
Riel DIN 35mm x 15mm	....	26-10 AWG	1	m
Canaleta ranura 25mm x 25mm	....	....	1	m
Luz piloto 220VAC, amarilla	Xilder	....	1	....
Bornera para riel DIN	....	....	22	....
Cable AWG 12, tipo TW	....	....	20	m
Cable AWG 16, tipo TW	....	....	3	m
Gabinete eléctrico (400x400x200)	....	IP55	1	....
Conector para manguera conduit 3/4"	....	....	1	....
Tubo Conduit 3/4"	....	....	15	....
Tirafondos de 1/4" x 2"	....	....	4	....
Taco fisher S10	....	....	4	....

Tablero eléctrico N°2 (De control)

En la tabla 26 se muestra los componentes que conforman el tablero de control.

Tabla 26: Lista de componentes del tablero de control

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Unidad
Tarjeta de desarrollo	Arduino	Mega2560	1	....
Módulos de radio frecuencia	APPCON	APC220-43	2	....
Módulo de reloj de tiempo real	Maxim integrated	DS3231	1	....
Módulo de conversión análogo a digital RTD	PlayinWithFusion	Max31865-2CH	1	....
Módulo lector de memoria SD micro	CATALEX	Micro SD	1	....
Pantalla de cristal liquido (LCD)	VISHAY	20x4	1	....
Interrupor Automático de 10A, 2 polos	Schneider Electric	C60HC 210	1	....
Canaleta ranura 25mm x 25mm	....	....	1	m
Luz piloto 220V AC, amarilla	Xilder	AD22-22DS	1	....
Luz piloto 24V DC, verde	Xilder	AD16-22D/S	3	....
Luz piloto 24V DC, roja	Xilder	AD16-22D/S	1	....
Cable AWG 20, tipo TW	....	....	20	m
Gabinete eléctrico (400x400x250)	....	IP55	1	....
Conector para manguera conduit 3/4"	....	....	3	....
Tubo Conduit 3/4"	....	....	20	m
Tirafondos de 1/4" x 2"	....	....	4	....
Taco fisher S10	....	....	4	....

Lista de los componentes electrónicos de los módulos secundarios

Los componentes electrónicos que se utilizaron para la construcción de los módulos secundarios del sistema de control se detallan en las siguientes tablas.

Módulo de entradas digitales

Tabla 27: Lista de componentes electrónicos del módulo de entradas digitales.

Componente	Descripción	Cantidad
4N25	Optoacoplador	10
RS	Resistencia de $330\Omega/2W$	10
R1	Resistencia de $180\Omega - 1/2W$	10
R2	Resistencia de $10K - 1/2W$	10
D1	Diodo zener de $5.1V$	10
D2	Diodo led verde	10
Borneras	Bornera de 2 entradas	12

Módulo de entradas analógicas

Tabla 28: Lista de componentes del módulo de entradas analógicas

Componente	Descripción	Cantidad
RCV420JP	Convertidor de corriente (4-20mA) a tensión (0-5V)	2
LM358	Amplificador operacional	2
C1	Capacitor de $0.1\mu F$	4
Bornera1	Borneras de 2 entradas	2
Bornera2	Borneras de 3 entradas	2

Módulo de salida a triac

Tabla 29: Lista de componentes del módulo de salida a triac.

Componente	Descripción	Cantidad
BT 136 600E	Triac de 4 amperios	4
MOC 3041	Optotriac detector cruce por cero	4
R1	Resistencia de $220\Omega - 1/2W$	4
R2	Resistencia de $220\Omega - 1/2W$	4
R3	Resistencia de $470\Omega - 1/2W$	4
R4	Resistencia de $1K - 1/2W$	4
R5	Resistencia de $100\Omega - 1W$	4
R6	Resistencia de $47K - 1/2W$	4
C1	Capacitor de $10nF$ a $400V$	4
Varistor	Varistor de $220V AC$	4
Fusible	Fusibles para placa de $4A$	4
D1	Diodo led verde	4
D2	Diodo led rojo	4
Bornera	Borneras de 2 entradas	8

Módulo de salida a mosfet

Tabla 30: Lista de componentes del módulo salida mosfet

Componente	Descripción	Cantidad
IRF 9640	Mosfet de canal P	5
4N25	Optoacoplador	5
R1	Resistencia de $180\Omega - 1/2W$	5
R2	Resistencia de $10K - 1/2W$	5
D1	Diodo led rojo	5
Bornera	Borneras de 2 entradas	10

Módulo de alimentación

Tabla 31: Lista de componentes electrónicos del módulo de alimentación

Componente	Descripción	Cantidad
LM 7812	Regulador de tensión de $12V$	1
LM 7806	Regulador de tensión de $6V$	1
C1, C4	Capacitor de $100\mu F$ a $50V$	1
C2	Capacitor de $0.33\mu F$ a $50V$	1
C3	Capacitor de $0.1\mu F$ a $50V$	2
R1	Resistencia de $470\Omega - 1/2W$	1
R2	Resistencia de $250\Omega - 1/2W$	1
D1, D2	Diodo rectificador	2
D5	Diodo led rojo	1
D6	Diodo led verde	1
Bornera1	Bornera de 2 entradas	1
Bornera2	Bornera de 3 entradas	1

4.6. Instalación de los componentes

Esta etapa trata de la instalación de los sensores actuadores y cableado de los mismos que interviene en el proceso de automatización del sistema de recirculación de agua caliente del hospital IEISS Latacunga.

4.6.1. Montaje de los sensores y actuadores

Montaje de los RTD PT 100

Para medir el nivel de temperatura de los intercambiadores de calor se instaló los RTD PT 100 empleando neplones de hierro negro de $3/4''$, soldados en la parte superior de los intercambiadores de calor. En la figura 52 se muestra el montaje de los sensores de temperatura.



(a) Neplo soldado



(b) RTD PT 100

Figura 52: Instalación de los RTD PT100 en los intercambiadores de calor.

Montaje de los SITRANS P220(7MF1567)

Los transmisores de presión fueron montados mediante un acople tipo T de hierro negro de 1/2", perpendicular al indicador local en la salida de vapor de la válvula reguladora 25PT. En la figura 53 se muestra la estructura empleada para el montaje.



(a) Acople tipo T



(b) Instalación

Figura 53: Montaje de los transmisores de presión.

Montaje de las valvulas solenoides

Para la instalación de las valvulas solenoides se construyó un bypass en la tubería de agua fria, empleando accesorios de instalacion de agua (uniones, conectores tipo T, codos y cruz). En la figura se muestra la instalación de las válvulas solenoides en el ingreso de agua fria.



Figura 54: Instalación de las válvulas solenoides.

4.6.2. Montaje de los dispositivos eléctricos

Montaje del tablero de potencia

Para el montaje del tablero de potencia se inicio con la ubicación y colocación de las canaletas, riel din y borneras para posteriormente montar dispositivos de protección (Break), contactor, relé térmico y relés industriales, después se procedió a realizar el cableado interno del circuito de potencia. Seguidamente procedemos a instalar el tablero sobre la pared que esta cerca del sistema para la activación de los elementos finales de control. La apariencia física del tablero de potencia instalado se muestra en la figura 32.



Tabla 32: Montaje del tablero de potencia.

Montaje del tablero de control

Para el montaje del tablero de control primero se realizó los orificios para la colocación de los pulsadores, selector, luces indicadoras y pantalla de cristal liquido. Luego se colocó en la placa interior canaletas y riel DIN para posteriormente sobre poner los módulos electrónicos del sistema de control, a continuación se procedió a ubicar el tablero en la pared de la oficina de control de máquinas. En la figura 55 se muestra la apariencia física del montaje del tablero de control.



Figura 55: Montaje del tablero de control.

4.6.3. Cableado del sistema

El cableado del sistema se realizó en dos partes, la parte de control en la que se manejan dos voltajes uno de $24Vdc$ para alimentar las luces pilotos y de $5Vdc$ para alimentación del Arduino y de los módulos secundarios, y la segunda parte de fuerza la cual es un voltaje trifásico que sirve para alimentar los dispositivos eléctricos de potencia.

Circuito de control

Para el cableado de circuito de control se utilizo un conductor flexible número 20 AWG, el cual fue el mas apropiado debido a que no se necesita de un conductor que soporte altas corrientes. El cableado se realizó de acuerdo a los planos eléctricos de control diseñados anteriormente, conduciéndolos por las canaletas, hacia las borneras y de estas a los elementos del sistema. En la figura 56. se observa el cableado respectivo.



Figura 56: Cableado del circuito de control.

Circuito de fuerza

En este circuito se cablea los dispositivos de potencia como son los interruptores automáticos, contactor y relés industriales, por lo cual la corriente que circula es alta por ello se utilizó un conductor número 12 AWG que tiene una capacidad de soporte hasta 30A. El cableado se realizó de acuerdo a los planos del circuito de potencia diseñados anteriormente. En la figura 57 se muestra el cableado de los elementos del circuito de fuerza.



Figura 57: Cableado del circuito de potencia.

En la figura 58 se observa un esquema general del sistema automático implementado.

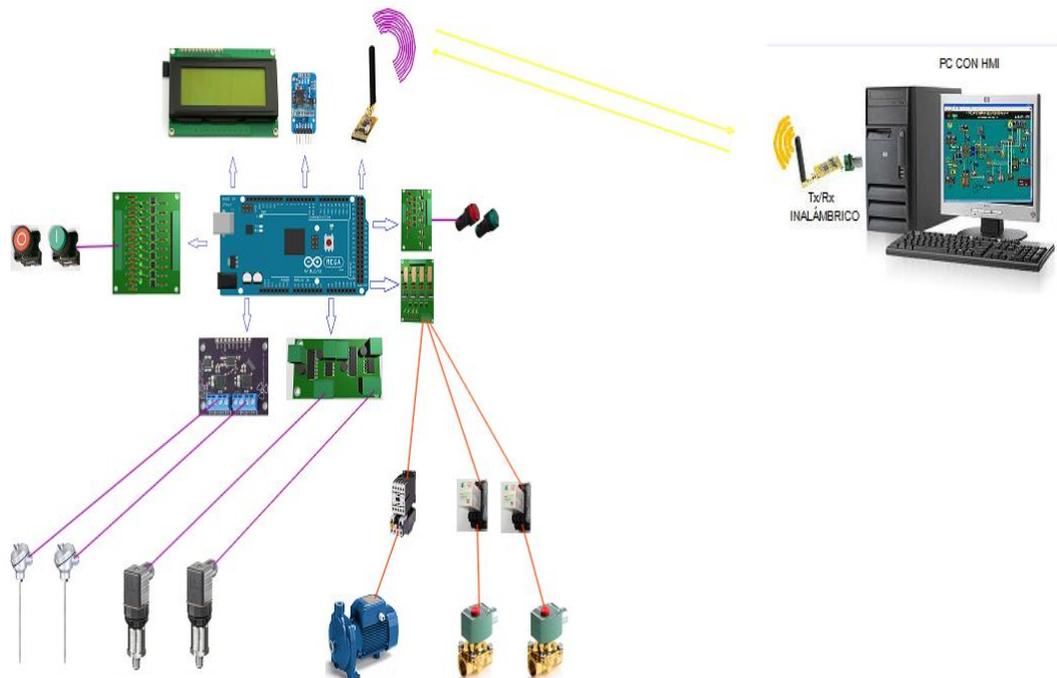


Figura 58: Esquema general del sistema automático.

4.7. Desarrollo del programa de control

En esta etapa se diseñó y programó una rutina de control la misma que nos sirve para el funcionamiento autónomo del sistema de recirculación de agua caliente.

4.7.1. Descripción de software

Un programa es un conjunto de instrucciones ordenadas y agrupadas que pretenden obtener un resultado determinado estos pueden ser ejecutados en microcontroladores, PLC y cualquier otro tipo de dispositivos electrónicos programables. El IDE o Entorno de Desarrollo Integrado es un conjunto de herramientas software que permite a los programadores desarrollar, escribir y probar sus propios programas con comodidad.

Para programar Arduino se requiere de un IDE que permite escribir y editar nuestro programa (sketch en el mundo Arduino) lo cual permite comprobar que no hayamos cometido errores y que además nos permita grabar en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino para que se convierta en ejecutor autónomo de dicho programa.

Instalación del IDE de Arduino en Ubuntu

Para poder desarrollar nuestros propios sketch es necesario instalar el IDE de Arduino en nuestro computador el cual puede ser descargado libremente de la página oficial de Arduino. En las distribuciones Linux se puede instalar el IDE de Arduino ejecutando desde la consola el comando `sudo apt-get - install arduino`. Debe notarse que Ubuntu divide el entorno de programación Arduino en dos paquetes diferentes que incluyen los ficheros que conforman la interfaz gráfica del IDE y el llamado `arduino-core` que incluye las herramientas fundamentales de compilación, programación y grabación de sketches[32].

Configuración de IDE Arduino con la placa

Conectamos la placa al PC y abrimos el programa, en Herramientas Tarjeta, seleccionamos la tarjeta y en puerto Serial debemos tener marcado algo como `/dev/ttyACM#` o `/ttyUSB#` (puede variar el numero en #), por ultimo en Herramientas Programador seleccionamos AVRISP mkll.

4.7.2. Programa principal

Para la interpretación de las variables por el sistema automatizado de recirculación de agua caliente se utilizó un sistema de control basado en la placa Arduino mega2560. Se desarrollo el programa en Arduino empleado el IDE versión 1.6 el mismo que permitio una programación sencilla de cada estado del proceso a través de la lógica programada se monitorea las variables del proceso que para este caso son de temperatura y presión, se controla la bomba de recirculación a través de un bloque temporizado y el control ON/OFF de las dos válvulas solenoide que permiten el paso del agua hacia los intercambiadores de calor. En la figura 59 se divisa el diagrama de flujo del general

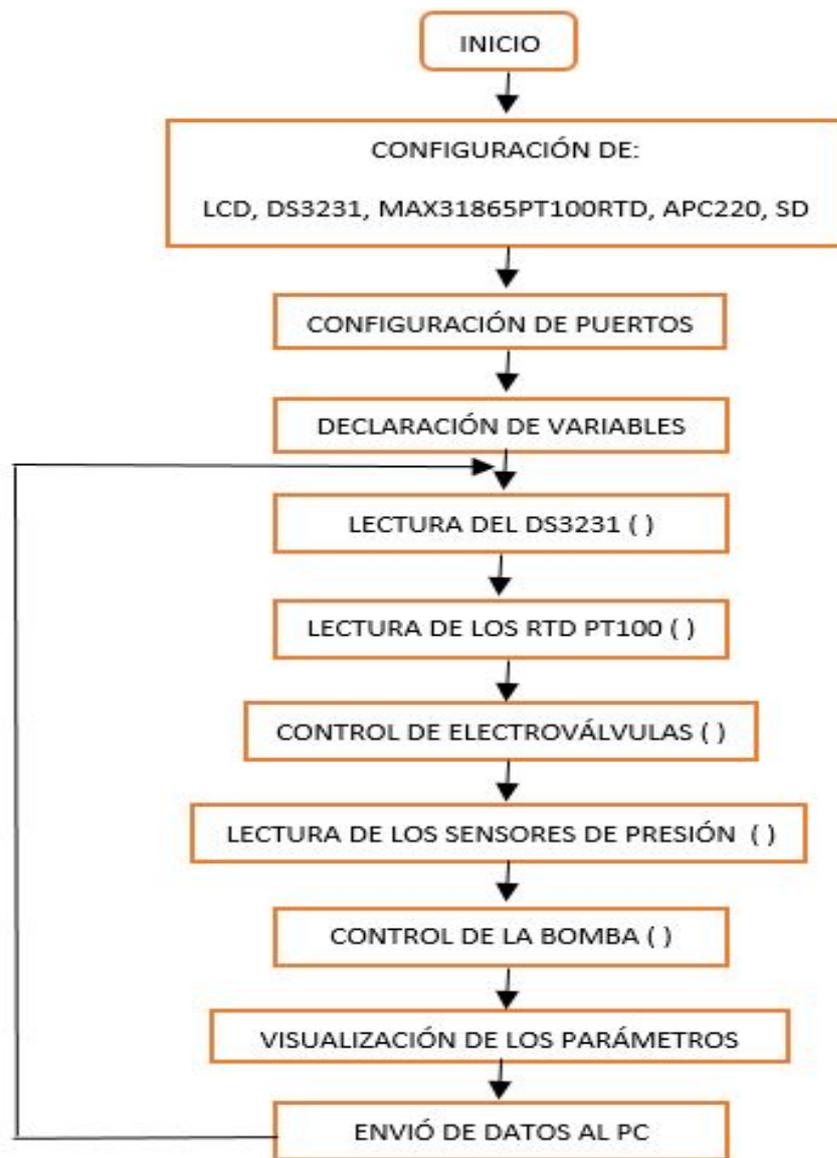


Figura 59: Diagrama de flujo general.

Lectura de la temperatura de los intercambiadores de calor

En la figura 60 se muestra el diagrama de flujo para la obtención de la temperatura de los intercambiadores de calor.

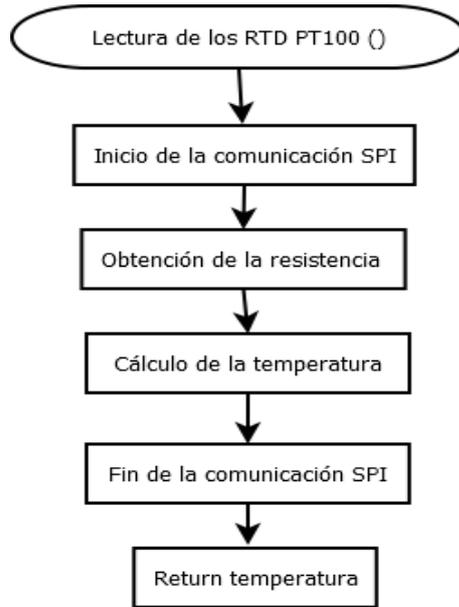


Figura 60: Diagrama de flujo de lectura de temperatura.

Lectura de presión en la salida de las válvulas 25PT

En la figura 61 se observa el diagrama de flujo para obtener la medición de presión en la salida de la válvula reguladora de presión y temperatura 25PT.

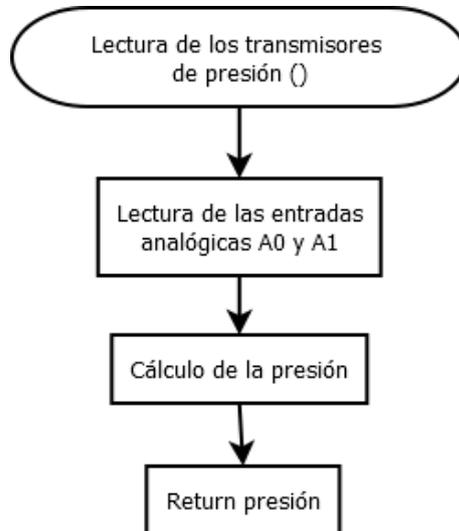


Figura 61: Diagrama de flujos de lectura de los sensores de presión.

Control de las válvulas solenoides

En la Figura 62se presenta el diagrama de flujo para la activación de las válvulas solenoides instaladas en el sistema.

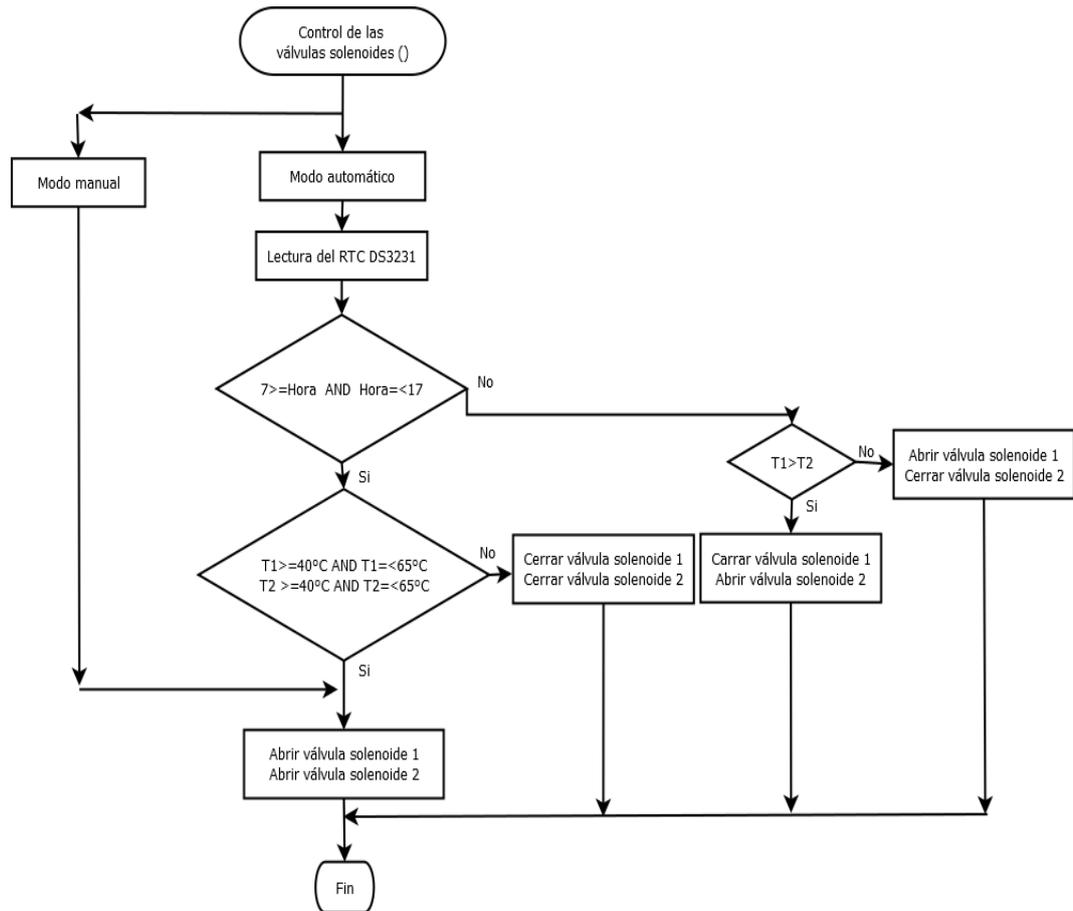


Figura 62: Diagrama de flujos de control de válvulas solenoides.

Encendido de la bomba de recirculación.

En la Figura 63 se muestra el diagrama de flujos del control on/off de la bomba de recirculación.

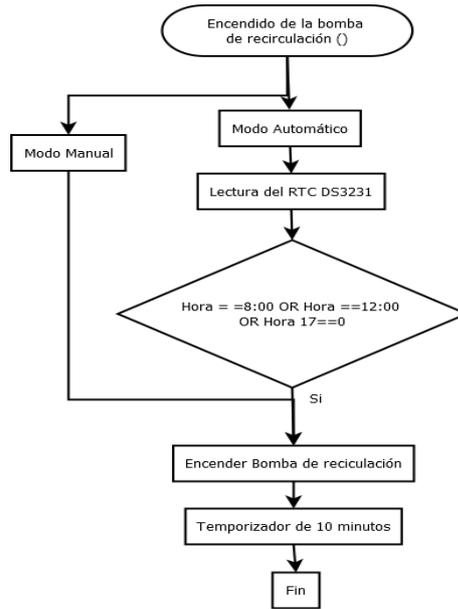


Figura 63: Diagrama de flujo de control de la bomba de recirculación.

Diagrama de bloques de la lectura del RTC DS3231

La escritura y la lectura de datos del reloj se realiza mediante el bus I2C, utilizando un contador de 8 ciclos el cual lee un byte a la vez, los cuales contienen la información de los segundos, minutos, hora, día de la semana, día del mes, mes y año. En la figura 64 se presenta el diagrama de bloques de la lectura del DS3231.

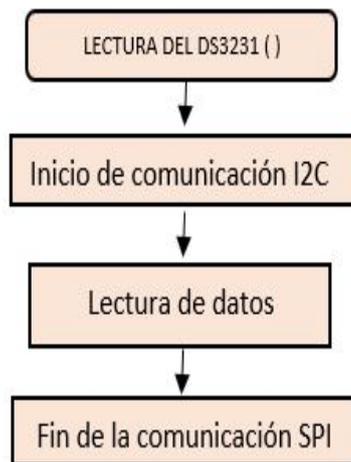


Figura 64: Diagrama de bloques de la lectura del DS3231.

4.8. Desarrollo de la Interfaz Hombre Máquina (HMI)

El software instalado en el computador sirve como interfaz entre el sistema de control y el usuario, el cual permite monitorear las variables de temperatura y presión del sistema, además permite el controlar el accionamiento de las válvulas solenoides y la bomba de recirculación mediante botones programados en la interfaz gráfica.

4.8.1. Descripción de software

La interfaz de desarrollo en Python versión 2.7 que es un software de distribución libre, el lenguaje de programación es interpretado y orientado a objetos creado por Guido Van Rossum en 1991. Python es un lenguaje de programación poderoso, pero a su vez muy fácil de aprender y entender, las características que presenta son las siguientes:

- La implementación de Python se desarrolla bajo la licencia de código abierto, lo que hace que Python pueda ser libremente usado y distribuido, inclusive para propósito comercial.
- La Licencia de Python es administrada por la Fundación de Software de Python (Python Software Foundation).
- Python es un lenguaje de programación modular.
- El usuario puede generar módulos reutilizables por otros programas.
- Es un lenguaje de programación multiparadigma (varios estilos): como programación orientada a objetos, programación estructurada, programación funcional.
- Puede usar un intérprete (Modo interactivo, como Matlab) Python soporta herencia múltiple y polimorfismo.
- Python puede ser ejecutado en Windows, Linux/Unix, Mac OS X, inclusive existe versiones de Python que corren sobre máquinas virtuales .NET y Java.
- Python posee un extenso número de librerías estándar y módulos especiales desarrollados para diversas tareas.

Instalación de Python

En el sistema operativo Ubuntu de distribución GNU/Linux Python viene instalado por defecto, para comprobarlo hay que abrir una terminal y digitar python como se muestra a continuación:

- usuario@utafisei:~\$ Python

Lo que muestra en pantalla es un Shell interactivo de Python donde se observa la versión y el tipo de licencia que posee, para salir de Shell interactivo de Python se digitaliza `exit ()`.

Si en lugar del Shell interactivo de Python se muestra en la pantalla un mensaje de error que dice “Python: orden no encontrada” lo cual significa que Python no se encuentra instalado en el sistema operativo. Para realizar la instalación seguir los siguientes pasos:

- usuario@utafisei:~\$ sudo apt-get update
- usuario@utafisei:~\$ sudo apt-get upgrade
- usuario@utafisei:~\$ sudo apt-get install python 2.7

Una vez instalado Python se desarrolla un programa para la recepción y transmisión de datos por el puerto serial, para lo cual se requiere la instalación de la librería PySerial para trabajar con el puerto serial del computador.

Pyserial

Es un módulo que encapsula el acceso para el puerto serie, proporciona backends para Python se ejecuta tanto en Windows como Linux y es liberado bajo una licencia de software libre.

Las características que posee este módulo son: el acceso a la configuración del puerto a través de propiedades de Python, soporte para diferentes tamaños de bytes, bits de parada, la paridad y el control de flujos con RTS/CTS y /o Xon/Xoff, trabaja con o sin recibir tiempo de espera, el puerto está configurado para la transmisión binaria y los archivos de este paquete son 100 % Python.

Para que PySerial funcione correctamente se debe contar con Python 2.3 en adelante incluyendo Python 3.x, ctypes extensión en Windows y Java Communications (JavaComm) o una extensión compatible para Java/Jython. PySerial se puede instalar desde PyPI abriendo el terminal y digitalizando el siguiente comando:

- PIP instalar PySerial o `easy_install -U PySerial`

Para la instalación manualmente hay que descargar el archivo de la página web <http://pypi.python.org/pypi/pyserial>. Descomprimir el archivo, acceder al directorio PySerial-xy y ejecutar:

- Python `setup.py install`

wxPython

wxPython es una herramienta multiplataforma para crear aplicaciones GUI de escritorio. wxPython es utilizado por programadores para el desarrollo de aplicaciones en Windows, Mac OS, y en sistemas Unix. wxPython es una envoltura alrededor de wxWidgets que es una plataforma madura C++ cruz biblioteca y consta de cinco módulos básicos que son: Windows , GDI, Core, Misc y controls.

API wxPython es un conjunto de métodos y objetos. Los Widgets son componentes esenciales de una aplicación GUI de construcción, wxPython es un envoltorio sobre una API C++ GUI denominada wxWidgets, los Widget pueden dividirse en grupos lógicos como reproductores base, reproductores de nivel superior, reproductores dinámicos, contenedores, reproductores estáticas y otros reproductores.

wxPython puede ser instalado en Debian/Ubuntu desde los repositorios (servidores que contienen paquetes de módulos instalables) de Ubuntu ejecutando el siguiente comando desde el terminal:

- `$ sudo apt-get install Python-wxgtk2.X`

4.8.2. Pantalla de presentación de la Interfaz Hombre Máquina.

En la figura 65 se muestra el HMI que sirve de interfaz gráfica para el operador, la misma que fue diseñado y programado en Python. En la HMI se encarga de presentar los datos de temperatura y presión del sistema, además se puede controlar en encendido de la motobomba y la activación de las valvulas solenoides en modo manual. Para la caratula de presentación de la HMI se programaron elementos como button, static text, list numeric, label, etc. Los cuales pueden ser modificados según requerimientos del usuario.

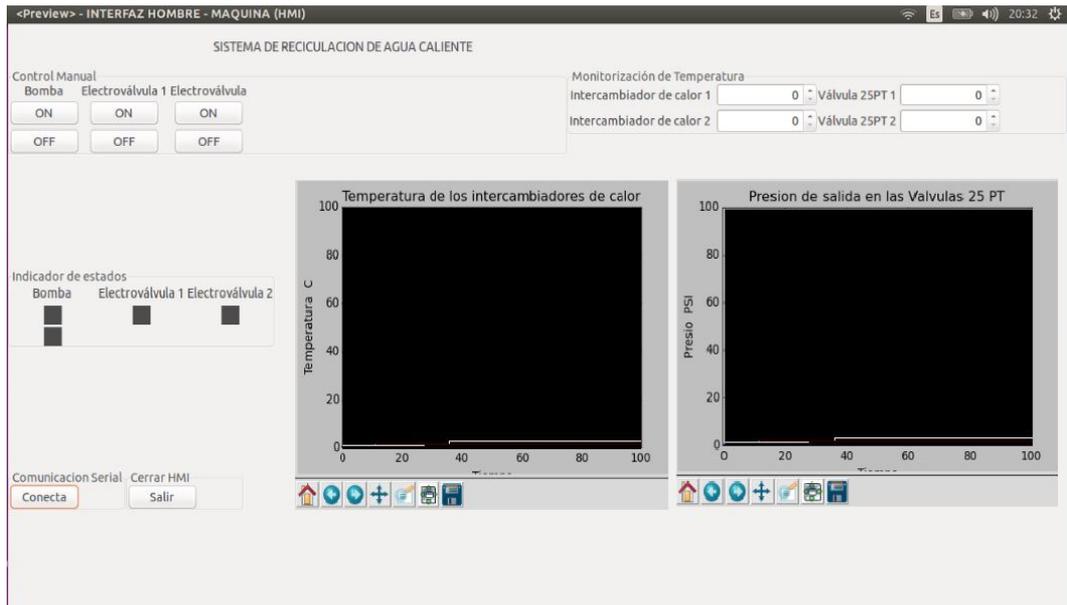


Figura 65: Interfaz gráfica del sistema.

4.9. Pruebas de funcionamiento

Realizando pruebas experimentales del desenvolvimiento de los sensores y actuadores se determinó el funcionamiento adecuado de la automatización del sistema de recirculación de agua caliente implementado. Para comprobar la veracidad de las medidas y la funcionalidad del sistema de control se ejecutó varias mediciones en diversas situaciones. Los resultados que se obtuvieron se presentan y analizan a continuación.

4.9.1. Pruebas de los sensores

Sensores RTD PT100

Para analizar qué tan correctas son las medidas entregadas por los sensores RTD PT-100 conectados al módulo MAX31865 PT-100 RTD, se las ha comparado con las que entrega el termómetro de bulbo durante el día. Los valores se indican en la tabla 33 y la tabla 34.

Tabla 33: Lectura del RTD PT100 # 1 vs Termómetro de bulbo.

N° de mediciones	Lectura RTD PT100 # 1 °C	Lectura Termómetro de bulbo °C
1	58	57
2	59	58
3	60	60
4	59	60
5	60	60
6	58	59
7	59	59
8	60	59
9	60	60
10	61	60

Tabla 34: Lectura del RTD PT100 # 2 vs Termómetro de bulbo.

N° de mediciones	Lectura RTD PT100 # 1 °C	Lectura Termómetro de bulbo °C
1	59	60
2	59	58
3	60	58
4	59	59
5	60	60
6	59	60
7	59	59
8	60	58
9	59	60
10	61	60

Analizando las tablas anteriores se concluye que la diferencia de lecturas entre los RTD PT100 y el termómetro de bulbo es mínima. De los valores de medición obtenidos se saca el porcentaje de error ε (%) con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon (\%) = \frac{|V_m - V_r|}{V_m} \times 100\%$$

Donde:

V_m : Valor medido

V_r : Valor de referencia

Ejemplo: para los valores de V_m de 58 y V_r de 57 se obtiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon (\%) &= \frac{|58 - 57|}{58} \times 100\% \\ \varepsilon (\%) &= 1.72\%\end{aligned}$$

En la tabla 35 se muestran los valores obtenidos del cálculo de porcentaje de error.

Tabla 35: Porcentaje de error $\varepsilon (\%)$ de las temperaturas.

N° de mediciones	Error $\varepsilon (\%)$ RTD PT100 # 1	Error $\varepsilon (\%)$ RTD PT100 # 2
	1	1.72	1.69
2	1.69	1.69
3	0	3.33
4	1.69	0
5	0	0
6	1.72	1.69
7	0	0
8	1.66	3.33
9	0	1.69
10	1.63	1.63

El porcentaje de error total se obtiene sacando la media aritmética de todos los valores calculados con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon (\%) = \frac{\sum \varepsilon (\%)}{n}$$

Donde n es el número de mediciones realizadas.

Para la sumatoria del porcentaje de error $\varepsilon (\%)$ RTD PT100 # 1 igual a 10.11 se tiene:

$$\begin{aligned}\varepsilon (\%) &= \frac{10.11}{10} \\ \varepsilon (\%) &= 1.011\end{aligned}$$

Para la sumatoria del porcentaje de error ε (%) RTD PT100 # 2 igual a 15.05 se tiene:

$$\varepsilon (\%) = \frac{15.05}{10}$$

$$\varepsilon (\%) = 1.505$$

Este análisis se realizó en la mañana y tarde obteniendo resultados idénticos , los valores medidos se indican en las Tablas 36, 37.

Donde

T1: es el valor de RTD PT100 # 1

T2: es el valor del termómetro de bulbo # 1

T3: es el valor de RTD PT100 # 2

T4: es el valor del termómetro de bulbo # 2

Tabla 36: Datos de temperatura en la mañana.

Fecha	Hora	T1	T2	T3	T4
14/08/2015	07:00	70	71	45	43
14/08/2015	07:30	70	71	45	43
14/08/2015	08:00	69	69	44	44

Tabla 37: Datos de temperatura en la tarde.

Fecha	Hora	T1	T2	T3	T4
14/08/2015	12:00	56	57	55	56
14/08/2015	12:30	57	57	55	56
14/08/2015	13:00	56	56	56	56

Transmisores de presión

Para el análisis de la exactitud de las medidas de presión de vapor se realizó una comparación de los valores medidos que entregan los transmisores de presión con los manómetros de tipo Bourdon durante el día. Los valores maestreados se indican en la tabla 38 y 39.

Tabla 38: Lectura del transmisor de presión # 1 vs Manómetro # 1

N° de mediciones	Lectura S/T de presión # 1 PSI	Lectura Manómetro PSI
1	34	36
2	34	36
3	35	36
4	35	36
5	34	35
6	34	35
7	33	35
8	33	34
9	34	34
10	34	34

Tabla 39: Lectura del transmisor de presión # 2 vs Manómetro # 2

N° de mediciones	Lectura S/T de presión #2 PSI	Lectura Manómetro PSI
1	35	36
2	35	36
3	35	36
4	36	36
5	34	35
6	34	35
7	33	35
8	33	34
9	35	34
10	35	34

Realizando un análisis de los valores obtenidos en las tablas anteriores se puede observar que existe una mínima diferencia entre las dos medidas con el transmisor de presión y el manómetro, de estos valores se calcula el porcentaje de error con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon (\%) = \frac{|V_m - V_r|}{V_m} \times 100\%$$

En la tabla 40 se muestran los valores obtenidos del cálculo de porcentaje de error.

Tabla 40: Porcentajes de error en la lecturas de presión.

N° de mediciones	Error ε (%) Presión # 1	Error ε (%) Presión # 2
1	1.02	1.09
2	1.09	1.09
3	0	3.03
4	1.09	0
5	0	0
6	1.72	1.09
7	0	0
8	1.06	3.03
9	0	1.05
10	1.03	1.06

De igual forma se calcula el porcentaje de error total de las mediciones de presión de vapor que presentan los transmisores STRANS P220 los resultados se presentan en la tabla 41. Este análisis se realizó dos veces en un día con el fin de comprobar los resultados obtenidos se muestran en la tablas 42, 43.

Donde:

P1: es el valor de transmisor 1

P2: es el valor del manómetro 1

P3: es el valor de transmisor 2

P4: es el valor del manómetro 2

Tabla 41: Porcentaje de error ε (%) total en los transmisores de presión.

Transmisor de presión	ε (%) Total
1	1.1
2	1.2

Tabla 42: Datos de presión en la mañana.

Fecha	Hora	P1	P2	P3	P4
14/08/2015	08:00	34	34	35	34
14/08/2015	08:30	34	34	35	35
14/08/2015	09:00	35	34	34	35

Tabla 43: Datos de presión en la tarde.

Fecha	Hora	P1	P2	P3	P4
14/08/2015	13:00	34	35	34	35
14/08/2015	13:30	35	35	34	35
14/08/2015	14:00	35	35	35	36

4.9.2. Pruebas en los actuadores

Valvulas solenoides

En la Tabla 44 se indican los resultados de las pruebas que se realizaron en las valvulas solenoides que permiten el paso de agua hacia los intercambiadores de calor.

Tabla 44: Prueba de las válvulas solenoides.

Actuador	Condiciones	ON	OFF
Válvula solenoide # 1	Temperatura 65° C	χ	
	Temperatura 40°C		χ
Válvula solenoide # 2	Temperatura 65° C	χ	
	Temperatura 40°C		χ

Bomba de recirculación

En la Tabla 45 se muestra los resultados de las pruebas ejecutadas de la activación de la bomba de recirculación de agua caliente en sus tiempos programados.

Tabla 45: Pruebas de funcionamiento de la bomba de recirculación.

Actuador	Condiciones	ON	OFF
Bomba de recirculación	6:00 AM	χ	
	6:15 AM		χ
	12:00PM	χ	
	12:15PM		χ
	18:00PM	χ	
	18:15PM		χ

4.9.3. Pruebas de la interfaz hombre-máquina (HMI)

En la figura 66 se muestra el funcionamiento del sistema supervisado desde la HMI programada en el computador de la oficina de mantenimiento.

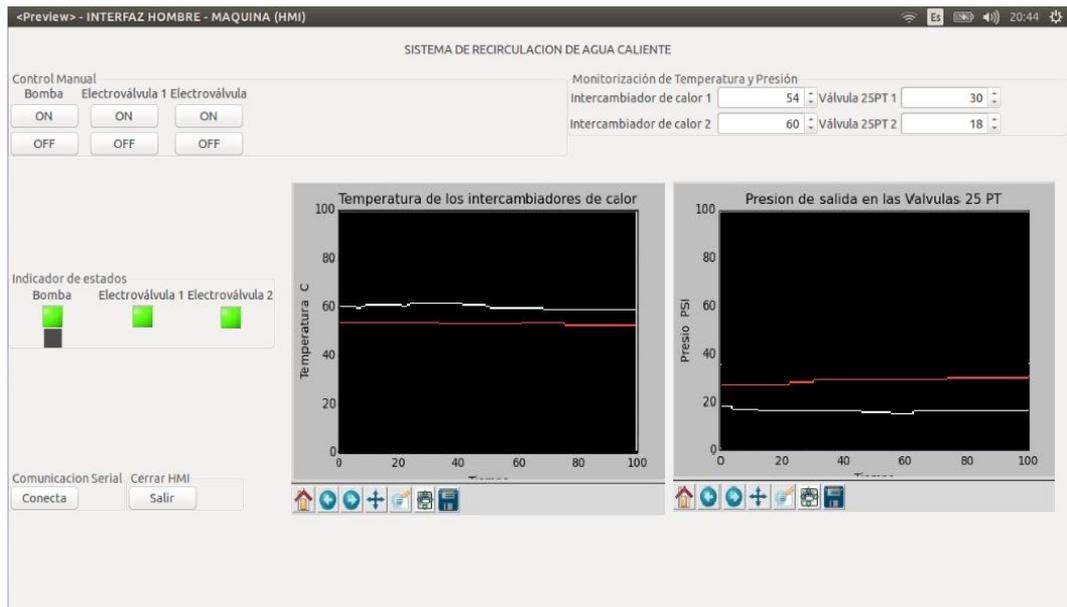


Figura 66: Supervisión del sistema desde la HMI.

En la figura 67 se puede apreciar la prueba de falla de la bomba de recirculación del sistema de recirculación de agua caliente.

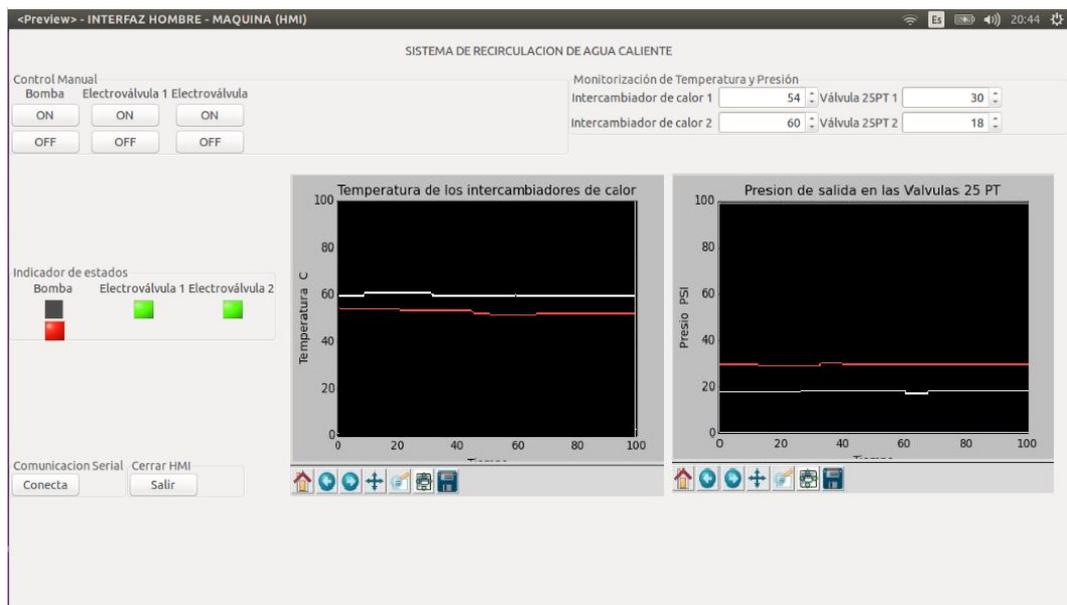


Figura 67: Monitorización del sistema.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se automatizó el sistema de recirculación de agua caliente, cambiando el modo de operación manual por un modo automático, implementando un tablero de control con un visor local y un transmisor de radio frecuencia para la supervisión a distancia.
- El sistema de comunicación inalámbrica empleado con los módulos de radio frecuencia APC 220 sirvió como un método eficiente para la transmisión de datos entre el sistema de control y el computador, lo cual proporcionó mayor flexibilidad del sistema.
- El IDE de arduino es un software de código abierto que posee una tecnología de interfaz sencilla y eficiente, que permitió programar la lógica de control del sistema manejando datos de entradas y salidas ya sean estas analógicas y/o digitales.
- Python es un lenguaje de programación modular que posee librerías para realizar interfaces gráficas, que permitió programar y configurar el HMI gracias a sus herramientas y funciones fáciles de utilizar.
- La automatización de la bomba de recirculación de agua caliente se activa en horas preestablecidas (6:00, 12:00 y 18:00) durante un intervalo de tiempo de 10 minutos. Esto evitara que los operarios deban invertir aproximadamente 20 minutos cada vez, lo que se convierte en un estimado de 28 horas/hombre mensuales, que pueden ser invertidos en otras actividades.
- El funcionamiento autónomo del sistema permitió reducir el tiempo de toma de datos de 12 minutos a 1 minuto (se realizan turnos de inspección cada

hora). Esto genera una acumulación de horas estimado de 62 horas/hombre mensuales, que se pueden invertir en otras actividades.

- La automatización del sistema permite disminuir la interacción del operador encargado de procesos potencialmente peligrosos, protegiéndolo de riesgos físicos y de enfermedades laborales.

5.2. Recomendaciones

- Para realizar la automatización de un sistema o proceso se debe obtener correctamente toda la información necesaria en el área de ingeniería y estar en contacto permanente con el operador.
- Antes de la adquisición los elementos para la automatización se deben analizar y determinar las adecuaciones previas para la instalación de los equipos.
- Realizar varias pruebas de funcionamiento del sistema automatizado, para comprobar que el sistema funciones de acuerdo a las necesidades requeridas, así poder verificar su estabilidad.
- Para la automatización empleando microcontroladores es conveniente separar la parte de control de la de potencia, para evitar el ingreso de interferencias al sistema construido.
- El mantenimiento y supervisión de los equipos instalados permitirá prolongar la vida útil del sistema.

Bibliografía

- [1] L. Camilla, “Automatización industrial,” *Electro Industria*, vol. 3, pp. 58–60, Julio 2014. [Online]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc>
- [2] M. Carvajal, “Automatización industrial: del vapor a la luz,” *Reportero Industrial*, vol. 1, pp. 1–2, Junio 2014. [Online]. Available: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Automatizacion-industrial,-del-vapor-a-la-luz+98162>
- [3] C. Durán, “Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la tecnología zigbee,” Ing. tesis, Universidad de Pamplona, Colombia, Abril 2012. [Online]. Available: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIIG/home_15/recursos/01_general/18052010/directorio_biblioteca.jsp
- [4] D. Linda, “Plataforma hardware/software abierta para aplicaciones en procesos de automatización industrial,” *INGENIUM Revista de la facultad de ingeniería*, vol. 14, no. 28, pp. 76–85, Julio 2013. [Online]. Available: <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/ingenium/article/view/572/403>
- [5] J. Gutiérrez, J. Muros, S. Rodríguez, M. Damas, and A. Holgado, “Desarrollo de sistemas industriales mediante dispositivos empuotrados basados en java,” *Actas de las IV Jornadas de Computación Empotrada (JCE)*, vol. 17, p. 20, Septiembre 2013. [Online]. Available: <http://www.ugr.es/~sandra/doc/Gutierrez-Guerrero2013.pdf>
- [6] M. Gavilanez, “Monitoreo del nivel de agua en los tanques de la subestación azaya de la empresa emapa-i a través de una red inalámbrica basada en ieee802.11a.” Ing. Tesis, Universidad Técnica del Norte, Ecuador, Julio 2013. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1950>

- [7] A. Martínez, “Controlador modular programable, basado en procesador de 32 bits y can bus,” Ing. Tesis, Universidad de la Rioja, España, Agosto 2013. [Online]. Available: http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/R000001645.pdf
- [8] C. Moya, “Software orientado a sistemas de control hmi/scada usando recursos libres y de código abierto, desarrollado sobre plataforma linux,” Ing. Tesis, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, Diciembre 2009. [Online]. Available: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1103>
- [9] F. J. Mola, *Instalación y puesta en marcha de aparatos de calefacción y climatización de uso doméstico*, 1st ed. Madrid: Ic editorial, Febrero 2012, vol. 1, no. 32, ch. Producción de agua caliente, pp. 30–50.
- [10] R. P. Carmona, *Diseño de instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*, 2nd ed. Bogotá: R. Barrero, Septiembre 2002, vol. 2, ch. Agua caliente, pp. 270–271.
- [11] —, *Diseño de instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*, 2nd ed. Bogotá: R. Barrero, Septiembre 2002, vol. 2, ch. Agua caliente, p. 272.
- [12] —, *Diseño de instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*, 2nd ed. Bogotá: R. Barrero, Septiembre 2002, vol. 2, ch. Agua caliente, pp. 276–277.
- [13] G. G., *Centrales de Vapor*, 2nd ed. Barcelona: reverté, Enero 1981, ch. Centrales de vapor, pp. 290–291.
- [14] —, *Centrales de Vapor*, 2nd ed. Barcelona: reverté, Enero 1981, ch. Centrales de vapor, p. 292.
- [15] G. Severte and E. Degler, *Energía mediante vapor, aire o gas*, 2nd ed. España: reverté, Julio 207, ch. Generadores y calderas de vapor, p. 127.
- [16] —, *Energía mediante vapor, aire o gas*, 2nd ed. España: reverté, Julio 207, ch. Generadores y calderas de vapor, p. 131.
- [17] J. L. Duran, H. Martínez, J. Gámiz, J. Domingo, and G. Antonio, *Automatismos eléctricos e industriales*, original ed. España: M. Genovart, 2012, vol. 1, no. 9430, ch. Automatización básica, pp. 7–9.

- [18] E. G. Moreno, *Automatización de Procesos Industriales*, 1st ed. México: Alfaomega Grupo Editor, Mayo 2001, vol. 1, no. 2317, ch. Fundamentos Modernos de la Automática, pp. 7–12.
- [19] W. Bolton, *MECATRÓNICA, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*, 4th ed. México: Edamsa, Enero 2010, vol. 1, no. 7481, ch. Controladores en lazo cerrado, pp. 311–319.
- [20] R. P. Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, 3rd ed. México: Marcombo, Julio 2002, vol. 1, no. 2537, ch. Introducción a los sistemas de medida, pp. 2–3.
- [21] S. Cetinkunt, *Mecatrónica*, 1st ed. México: L. Cardenas, Mayo 2007, vol. 1, no. 145, ch. Sensores, pp. 259–260.
- [22] A. Creus, *Istrumentación Industrial*, 8th ed. España: Marcombo, Mayo 2011, vol. 87, no. 2317, ch. Transmisores, pp. 7–12.
- [23] W. Bolton., *MECATRÓNICA, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*, 4th ed. México: Edamsa, Enero 2010, vol. 1, no. 7481, ch. lenguaje ensamblador, pp. 391–393.
- [24] I. Gonzáles, “Hardware libre: clasificación y desarrollo de hardware reconfigurable en entornos gnu/linux,” Universidad Autónoma de Madrid, España, Tecnológico, Septiembre 2003. [Online]. Available: <http://ftp1.nluug.nl/ftp/pub/ftp/os/Linux/doc/LuCaS/Presentaciones/200309hispalinux/8/8.pdf>
- [25] R. Stallman, *Software libre para una sociedad libre*, 1st ed. Madrid: M. Vidal, Noviembre 2004, vol. 1, no. 19, ch. El proyecto GNU, pp. 22–28. [Online]. Available: http://www.gnu.org/philosophy/fsfs/free_software2.es.pdf
- [26] V. Spirax Sarco, “Válvula reguladora de presión y temperatura 25pt,” hoja Técnica. [Online]. Available: <http://www2.spiraxsarco.com/ar/products-services/products/control-systems>
- [27] M. WEG, “Bomba de recirculación,” datos Técnicos. [Online]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22>
- [28] S. RTD PT 100, “Sensor de temperatura rtd pt 100,” hoja de Especificaciones.
- [29] s. Siemens, “Sensor de presión sitrans p220,” especificaciones Técnicas. [Online]. Available: <http://www.industry.usa.siemens.com/automation/>

us/en/process-instrumentation-and-analytics/process-instrumentation/
pressure-measurement/pressure-transmitter-overview/Documents/
P200-P210-P220-Pressure-FI01-us-2013.pdf

- [30] S. Arduino, “Pagina oficial de arduino,” open Source. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>
- [31] M. Dual MAX31865 PT-100 RTD, “Dual max31865 pt-100 rtd to digital breakout,” especificaciones Técnicas. [Online]. Available: <http://www.playingwithfusion.com/productview.php?pdid=29>
- [32] s. Torrente, *ARDUINO Curso práctico de formación*, 1st ed. México: Alfaomega Grupo Editor, Febreo 2013, vol. 1, ch. Software Arduino, pp. 129–130.

Anexos

Anexo A
Planos Eléctricos

Información disponible en el CD

Anexo B

Programación

Anexo B	PROGRAMACIÓN	Nº 1
<pre> #include <SPI.h> #include <Wire.h> #include <LiquidCrystal_I2C.h> #include <EEPROM.h> #include <PlayingWithFusion_MAX31865.h> #include <PlayingWithFusion_MAX31865_STRUCT.h> const byte CONFIG_REG_W = 0x80; const byte CONFIG_VALUE = 0xC3; const byte ADC_WORD_MSB = 0x01; const byte ADC_FAULT_REG = 0x07; LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20,4); #define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68 #define AND && #define OR || #define NOT ! #define tiempoParpadeo 700 #define tiempoMonitor 300 #define tiempoLcdInicio 5000 #define tiempoVisorLocal 500 #define mparaecu 0.12 #define bparaecu 15 const int numElementos1 = 10; const int numElementos2 = 10; int lecturas1[numElementos1]; int lecturas2[numElementos2]; struct MotorDatos { boolean cArranque; boolean cParada; boolean cConfirmacion; boolean cSalida; boolean cFalloConfirmacion; boolean cPulso; boolean cTm1; boolean cTm2; unsigned long nT1; unsigned long nT2; }; struct EVIDatos { boolean cON; boolean cOFF; boolean cSali; boolean cPulso; boolean cTm1; boolean cTm2; }; </pre>		

Anexo B	PROGRAMACIÓN	Nº 2
<pre> const int CS0_PIN = 9; const int CS1_PIN = 10; PWFFusion_MAX31865_RTD rtd_ch0(CS0_PIN); PWFFusion_MAX31865_RTD rtd_ch1(CS1_PIN); int R1; int R2; int T1; int T2; int TempIDC1; int TempIDC2; boolean m1_cortoRT; boolean m1_estadoRT; boolean m1_estadoKM1; boolean m1_marcha; boolean m1_parada; struct MotorDatos m1= {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}; boolean memOrdenArranqueMotor; boolean ordenArranqueMotor; boolean ordenParadaMotor; boolean parpadeoFalloConfirmacion; int FhME1 = 6; int FmME1=5; int FsME1=0; int FhME2 = 12; int FmME2=0; int FsME2=0; int FhME3 = 17; int FmME3=0; int FsME3=0; boolean EncenderAutoMotor; boolean ApagarAutoMotor; int FmMA1 = 15; int FmMA2= 10; int FmMA3= 10; boolean PE_Motor; int bomb1; int bombC; boolean v1_marcha; boolean v1_parada; boolean v2_marcha2; boolean v2_parada2; struct EV1Datos v1={0,0,0,0,0,0}; struct EV2Datos v2={0,0,0,0,0,0}; boolean memOrdenActivarEv1; boolean ordenActivarEv1; boolean ordenDesactivarEv1; boolean memOrdenActivarEv2; </pre>		

Anexo B	PROGRAMACIÓN	N° 3
<pre> boolean ordenActivarEv2; boolean ordenDesactivarEv2; boolean Ev1Ctemp= 0; boolean Ev2Ctemp= 0; int Eva1; int Eva2; int hora1 = 6; int hora2 = 17; int hora3 = 14; boolean CvalvulasDia = 0; unsigned long temp1; unsigned long temp2; unsigned long temp3; unsigned long temp4; boolean Boton_Automatico; boolean Inicio; boolean PE; boolean I_Memoria = 1; boolean PE_Memoria = 0; boolean Marca_Inicio; int Celda = 0; boolean Marca_A; int celda2 = 1; byte Encendido_Simp; byte Marca_Inicio1; boolean flanco1; boolean fla1; boolean flanco2; boolean fla2; boolean flag1 = 1; boolean fa1=1; boolean flag2 = 1; boolean fa2=1; boolean P_I_A; boolean P_A; int d1; int d2; int dato; boolean bombSeri=0; boolean bombSeri2=0; boolean valvuSeri1=0; boolean valvuSeri12=0; boolean valvuSeri2=0; boolean valvuSeri22=0; boolean SeriManual=0; boolean Apa1; boolean Apa2; </pre>		

Anexo B	PROGRAMACIÓN	N° 4
<pre> void setup() { lcd.backlight(); lcd.init(); Wire.begin(); Serial.begin(9600); for (int i = 0; i < numElementos1; i++) { lecturas1[i] = 0; } for (int j = 0; j < numElementos2; j++) { lecturas2[j] = 0; } SPI.begin(); SPI.setDataMode(SPI_MODE3); pinMode(CS0_PIN, OUTPUT); pinMode(CS1_PIN, OUTPUT); rtd_ch0.MAX31865_config(); rtd_ch1.MAX31865_config(); EEPROM.write(Celda,1); pinMode(2, INPUT); pinMode(3, INPUT); pinMode(4, INPUT); pinMode(5, INPUT); pinMode(6, INPUT); pinMode(7, INPUT); pinMode(8, INPUT); pinMode(11, INPUT); pinMode(12, INPUT); pinMode(14, INPUT); pinMode(48, INPUT); pinMode(46, INPUT); pinMode(26, OUTPUT); pinMode(32, OUTPUT); pinMode(28, OUTPUT); pinMode(34, OUTPUT); pinMode(30, OUTPUT); pinMode(36, OUTPUT); pinMode(38, OUTPUT); pinMode(40, OUTPUT); } void loop() { Inicio= digitalRead(48); </pre>		

```
PE= digitalRead(14);
Marca_A = EEPROM.read(Celda);
if(Inicio)
{
  if(!Memoria)
  {
    Marca_Inicio = 1;
    !Memoria = 0;
    PE_Memoria = 1;
    PE_Motor = 0;
    PE_EV1 = 0;
    PE_EV2 = 0;

  }
}
if(NOT PE)
{
  if(PE_Memoria)
  {
    lcd.clear();
    Marca_Inicio = 0;
    !Memoria = 1;
    PE_Memoria = 0;
    Paro_Emergencia();
    EEPROM.write(Celda,0);
  }
}
//Control por el puerto serial
while (Serial.available() > 0)
{
  dato = Serial.read();
  if (dato == 'A')
  {
    bombSeri= 1;
    bombSeri2=0;
  }
  if (dato == 'B')
  {
    bombSeri=0;
    bombSeri2=1;
  }
  if (dato == 'C')
  {
    valvuSeri1=1;
    valvuSeri12=0;
  }
  if (dato == 'D')
```

Anexo B	PROGRAMACIÓN	N° 6
<pre> { valvuSeri1=0; valvuSeri12=1; } if (dato == 'E') { valvuSeri2=1; valvuSeri22=0; } if (dato == 'F') { valvuSeri2=0; valvuSeri22=1; } if (dato == 'G') { bombSeri=0; bombSeri2=0; valvuSeri1=0; valvuSeri12=0; valvuSeri2=0; valvuSeri22=0; Apa1=1; Apa2=1; Apa3=1; } if (dato == 'H') { SeriManual=1; Apa1=0; Apa2=0; Apa3=0; } if (dato == 'I') { SeriManual=0; Apa1=1; Apa2=1; Apa3=1; } } if (Marca_Inicio OR Marca_A) { m1_estadoRT= digitalRead(2); </pre>		

Anexo B	PROGRAMACIÓN	Nº 7
<pre> m1_cortoRT= digitalRead(3); m1_estadoKM1= digitalRead(4); m1_marcha = digitalRead(5); m1_parada= digitalRead(6); v1_marcha = digitalRead(7); v1_parada = digitalRead(8); v2_marcha2 = digitalRead(11); v2_parada2 = digitalRead(12); Boton_Automatico = digitalRead(46); //lectura de los sensores de presión PSITP1 = SensorPresion1() - bparaecu; PSITP2 = SensorPresion2() - bparaecu; // Lectura de los RTD PT100 TempIDC1 = RTDpt100_1(); TempIDC2 = RTDpt100_2(); // control AUTOMÁTICO switch(Boton_Automatico) { case 1: flanco1 = 1; flanco2 = 0; if(flanco1 AND flag1) { P_I_A=1; flag1=0; flag2=1; } else { P_I_A=0; } EncenderAutoMotor=CtrlAutomaticoMotor(&FsME1, &FmME1, &FhME1, &FsME2, &FmME2, &FhME2, &FsME3, &FmME3, &FhME3); ApagarAutoMotor=CtrlAutomaticoMotor(&FsME1, &FmMA1, &FhME1, &FsME2, &FmMA2, &FhME2, &FsME3, &FmMA3, &FhME3); if(CvalvulasDia) { if(TempIDC1 >=30 AND TempIDC1 <=75) { Ev1Ctemp = 1; } } </pre>		

Anexo B	PROGRAMACIÓN	Nº 8
<pre> if(TemplDC2 >=30 AND TemplDC2 <=75) { Ev2Ctemp = 1; } else { Ev2Ctemp = 0; } } else { if(TemplDC1 >=TemplDC2) { Ev1Ctemp = 0; Ev2Ctemp = 1; } else { Ev1Ctemp = 1; Ev2Ctemp = 0; } } //control del motor ordenArranqueMotor = bombSeri; ordenParadaMotor = NOT m1_estadoRT OR m1_cortoRT OR PE_Motor OR P_I_A OR bombSeri2 OR P_A OR Apa1; bascula(ordenArranqueMotor, m1.cSalida OR m1.cParada, &memOrdenArranqueMotor); parpadeo(m1.cFalloConfirmacion, tiempoParpadeo, &temp2, &parpadeoFalloConfirmacion); m1.cConfirmacion = m1_estadoKM1; m1.cParada = ordenParadaMotor; m1.cArranque = memOrdenArranqueMotor; ctrlMotor(&m1); //control de Valvulas Solenoides Automatico // Valvula 1 ordenActivarEv1 = valvuSeri1; ordenDesactivarEv1 = valvuSeri12 OR PE_EV1 OR P_I_A OR P_A OR Apa2; bascula(ordenActivarEv1, v1.cSali OR v1.cOFF, &memOrdenActivarEv1); v1.cOFF = ordenDesactivarEv1; v1.cON = memOrdenActivarEv1; ctrlElectroValvula(&v1); // Valvula 2 ordenActivarEv2 = valvuSeri2; ordenDesactivarEv2 = valvuSeri22 OR PE_EV2 OR P_I_A OR P_A OR Apa3; bascula(ordenActivarEv2, v2.cSali2 OR v2.cOFF2, &memOrdenActivarEv2); </pre>		

```
break;
case 0:
    // Control Manual

    flanco2 = 1;
    flanco1 = 0;
    if(flanco2 AND flag2)
    {
        P_I_A=1;
        flag2=0;
        flag1=1;
    }
    else
    {
        P_I_A=0;
    }

    ordenArranqueMotor = m1_marcha;
    ordenParadaMotor = NOT m1_parada OR NOT m1_estadoRT OR m1_cortoRT OR
PE_Motor OR P_I_A;
    bascula(ordenArranqueMotor, m1.cSalida OR m1.cParada,
&memOrdenArranqueMotor);
    parpadeo(m1.cFalloConfirmacion, tiempoParpadeo, &temp2,
&parpadeoFalloConfirmacion);
    m1.cConfirmacion = m1_estadoKM1;
    m1.cParada = ordenParadaMotor;
    m1.cArranque = memOrdenArranqueMotor;
    ctrlMotor(&m1);

    ordenActivarEv1 = v1_marcha;
    ordenDesactivarEv1 = NOT v1_parada OR PE_EV1 OR P_I_A;
    bascula(ordenActivarEv1, v1.cSali OR v1.cOFF, &memOrdenActivarEv1);
    v1.cOFF = ordenDesactivarEv1;
    v1.cON = memOrdenActivarEv1;
    ctrlElectroValvula(&v1);

    ordenActivarEv2 = v2_marcha2;
    ordenDesactivarEv2 = NOT v2_parada2 OR PE_EV2 OR P_I_A;
    bascula(ordenActivarEv2, v2.cSali2 OR v2.cOFF2, &memOrdenActivarEv2);
    v2.cOFF2 = ordenDesactivarEv2;
    v2.cON2 = memOrdenActivarEv2;
    ctrlElectroValvula2(&v2);
break;
}
```

Anexo B	PROGRAMACIÓN	N° 1
<pre> #include <SPI.h> #include <Wire.h> #include <LiquidCrystal_I2C.h> #include <EEPROM.h> #include <PlayingWithFusion_MAX31865.h> #include <PlayingWithFusion_MAX31865_STRUCT.h> const byte CONFIG_REG_W = 0x80; const byte CONFIG_VALUE = 0xC3; const byte ADC_WORD_MSB = 0x01; const byte ADC_FAULT_REG = 0x07; LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20,4); #define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68 #define AND && #define OR || #define NOT ! #define tiempoParpadeo 700 #define tiempoMonitor 300 #define tiempoLcdInicio 5000 #define tiempoVisorLocal 500 #define mparaecu 0.12 #define bparaecu 15 const int numElementos1 = 10; const int numElementos2 = 10; int lecturas1[numElementos1]; int lecturas2[numElementos2]; struct MotorDatos { boolean cArranque; boolean cParada; boolean cConfirmacion; boolean cSalida; boolean cFalloConfirmacion; boolean cPulso; boolean cTm1; boolean cTm2; unsigned long nT1; unsigned long nT2; }; struct EV1Datos { boolean cON; boolean cOFF; boolean cSali; boolean cPulso; boolean cTm1; boolean cTm2; }; </pre>		

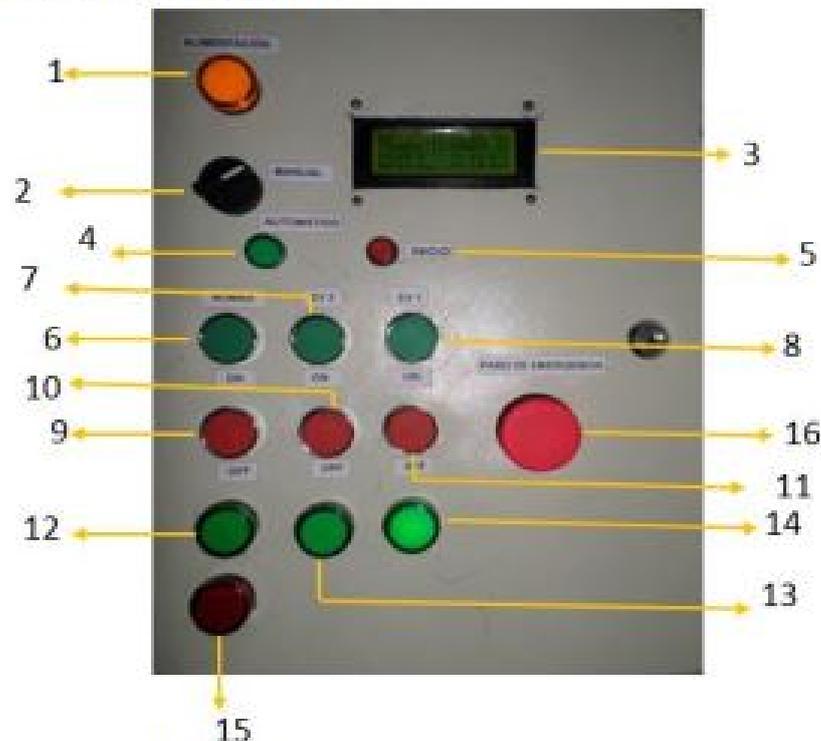
Anexo C

Manual del Usuario

Anexo C	MANUAL DEL USUARIO	N° 1
MANUAL DEL USUARIO		
Introducción		
<p>El Sistema de Recirculación de Agua Caliente posee un sofisticado sistema de automatización el mismo que permite dos modos de funcionamiento, tanto un modo manual en el cual se requiere de la intervención del operador durante todo el proceso como también un modo automático en el cual el sistema tiene un funcionamiento autónomo. Para iniciar con la operación del sistema se debe tener en cuenta las instrucciones y precauciones que constituyen en el presente manual de usuario. De no proceder conforme a lo aquí mencionado podría causar un deterioro de los equipos y un mal funcionamiento del sistema.</p>		
Información para el usuario		
<ul style="list-style-type: none">• Leer las Instrucciones: leer todas las indicaciones de operación del sistema antes de manipular el sistema.• Conservar las instrucciones: guardar las referencias de uso y operación de sistema.• Atender las advertencias: Deben tener en cuenta todas las advertencias de funcionamiento que figuran en el manual de operación• Seguir las instrucciones: debe seguir todas las instrucciones de este manual.• Limpieza: la pantalla de cristal líquido (LCD20x4) y el tablero de control deben limpiarse con un paño seco, no utilice nunca líquidos volátiles ya que estos podrían dañar los equipos.• Humedad y agua: no se debe exponer al agua y/o humedad a los equipos electrónicos que operan el sistema ya que pueden causar daños en su funcionamiento.• Calor: los equipos electrónicos se deben alojar lo más apartado posible de la fuentes de calor como estufas y otros elementos que irradian calor.• Sobrecarga: no sobrecargue los enchufes de la pared podría ocasionar sobretensión peligrosas para el operador.		
Precauciones		
<ul style="list-style-type: none">• Las instrucciones deben leer se antes de operar el sistema automático de recirculación de agua caliente.• Para disminuir el riesgo de una descarga eléctricas no abrir ninguno de los equipos eléctricos y electrónicos del sistema.• El panel de control debe limpiarse con un trapo seco, evitar el uso de detergente o cualquier otro producto de detergentes.		

Funcionamiento del Sistema

El sistema de recirculación de agua caliente puede trabajar de modo manual o automática según lo que requiera el operador, con ayuda de un selector de dos posiciones que se encuentra instalado en el tablero de control ubicado en la casa de máquinas.

Identificación del tablero de control

1. Indicador de Alimentación.
2. Selector
3. Visor local
4. Indicador de Modo Automático
5. Pulsador de Inicio
6. Pulsador de Encendido de la Bomba de Recirculación
7. Pulsador de Activar la Electroválvula 2
8. Pulsador de Activar la Electroválvula 1
9. Pulsador de Apagado de la Bomba de recirculación
10. Pulsador de Desactivar la Electroválvula 2
11. Pulsador de Desactivar la Electroválvula 1
12. Indicador del Estado de la Bomba de Recirculación
13. Indicador del Estado de la Electroválvula 2
14. Indicador del Estado de la Electroválvula 1
15. Indicador de Cortocircuito de la Bomba de Recirculación
16. Pulsador de paro de emergencia

Funcionamiento en Modo Manual

Este se lo realiza por medio de botoneras las cuales se encuentran ubicadas en el tablero de control y ejecutan determinadas acciones de proceso.

Operación

Posicionar el selector 2 en Modo Manual, el usuario puede encender y apagar la bomba de recirculación y las electroválvulas según sus requerimientos. Los indicadores muestran el estado del actuadores.

Indicador 12

Encendido: Bomba Encendida

Apagado: Bomba Apagada

Indicador 13

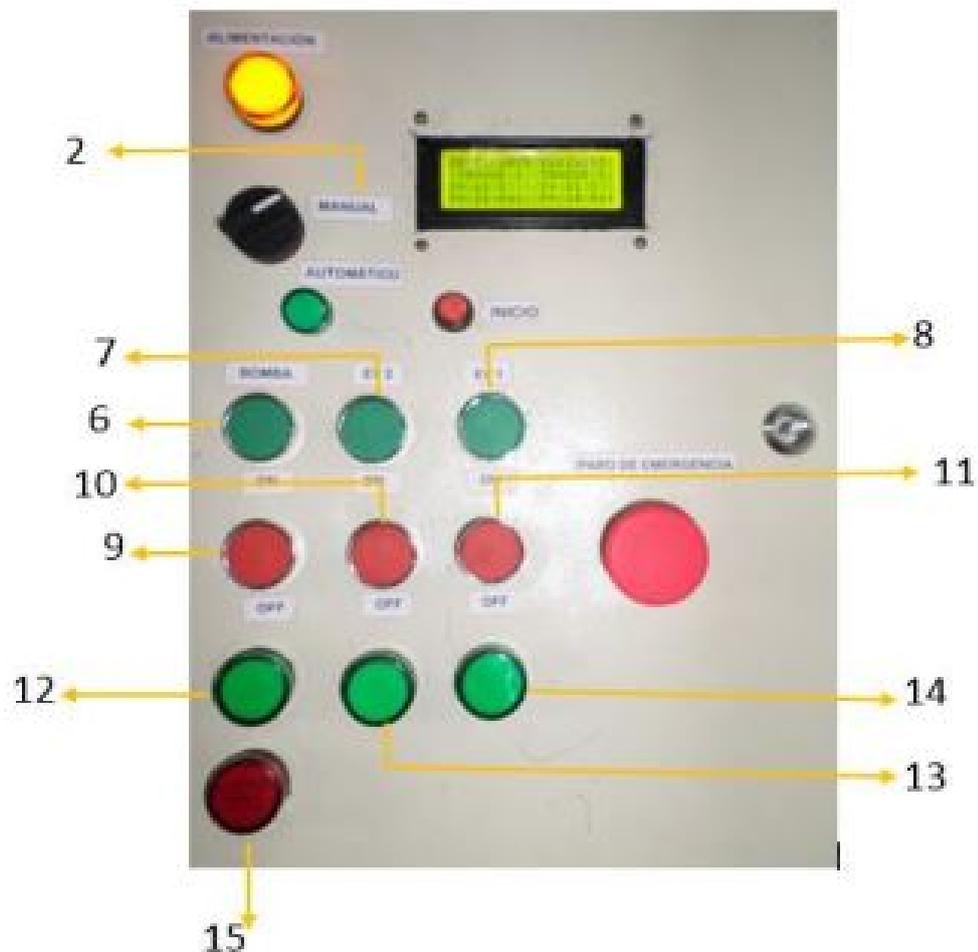
Encendido: Electroválvula 2 Abierta

Apagado: Electroválvula 2 Cerrada

Indicador 14

Encendido: Electroválvula 1 Abierta

Apagado: Electroválvula 2 Cerrada



Funcionamiento en modo Automático

En este modo de operación el sistema funcionamiento de forma automática según la lógica de control programada. El operador debe monitorear su correcto funcionamiento.

Operación

Posicionar el selector 2 en el indicador de modo automático, inmediatamente el sistema comienza su funcionamiento autónomo.

Indicador 4

Encendido: Activado funcionamiento Automático

Apagado: Desactivado funcionamiento Automático

**Visor Local**

El visor local muestra de manera digital los valores de temperatura de los intercambiadores de calor y la presión de salida de las válvulas reguladoras de presión y temperatura (25PT).



F: Fecha actual

H: Hora actual

T1: Temperatura del intercambiador de calor 1

T2: Temperatura del intercambiador de calor 2

P1: presión de salida de la válvula 25PT 1

P2: presión de salida de la válvula 25PT 2

Funcionamiento de la Interfaz Hombre Maquina (HMI)

La interfaz hombre máquina posee tres pantalla una de presentación, una de monitoreo automático y una de supervisión y control manual.

Operación

Para ejecutar el programa del sistema el usuario debe presionar el icono siguiente



Que se encuentra en escritorio del computador.

Pantalla de Inicio

En esta ventana debe ingresar el Usuario y la Contraseña para acceder al sistema, Si se hace tres intentos erróneos de ingreso el sistema de cerrará.

**Pantalla de Supervisión y Control Manual**

En esta pantalla se monitorea y controla de forma manual el sistema según requerimientos de usuario.

Desde esta pantalla podemos monitorear el sistema y además podemos encender la bomba de recirculación y las electroválvulas seleccionando el control manual y presionando los botones de encendido y apagado.



Anexo D

Hoja de Especificaciones Técnicas

Anexo D	HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Nº 1
----------------	--	-------------

SIEMENS

Transmetteur de pression

SITRANS P220 (7MF1567)

Instructions de service



7MF1567 avec connecteur selon EN 17531-803-A
 • Type 7MF1567-*****-2**
 • Type 7MF1567-*****-3**



7MF1567 avec fiche M12
 • Type 7MF1567-*****-2**



7MF1567 avec câble (2 m)
 • Type 7MF1567-*****-3**

Domaine d'application SITRANS P220, type 7MF1567
 Le transmetteur de pression sert à la mesure des pressions relatives et absolues des gaz et des liquides dans les domaines industriels suivants :

- Construction mécanique
- Énergie
- Distribution de l'eau
- Construction navale
- Chimie
- Industrie pharmaceutique

Configuration matérielle sans protection contre l'explosion
 Le transmetteur de pression se compose d'une cellule de mesure piézorésistive aux membranes intégrée dans un boîtier en acier inoxydable. Le raccordement électrique peut s'effectuer au moyen d'un connecteur selon EN 17531-803-A (P22), d'une fiche femelle circulaire M12 (P22), d'un câble (P22) ou d'un presse-étoupe de câble (P22). Le signal de sortie est compris entre 4 et 20 mA ou 0 et 10 V.

Configuration matérielle avec protection contre l'explosion
 Le transmetteur de pression se compose d'une cellule de mesure piézorésistive aux membranes intégrée dans un boîtier en acier inoxydable. Le raccordement électrique peut s'effectuer au moyen d'un connecteur selon EN 17531-803-A (P22) ou d'une fiche femelle circulaire M12 (P22). Le signal de sortie est compris entre 4 et 20 mA.

Fixation

ATTENTION
 Régime de pression admissible
 Endommagement de l'appareil
 Les matériaux peuvent devenir poreux sous l'effet des rayons ultra-violet.
 → Protéger l'appareil du rayonnement ultra-violet.

- La pression de l'appareil s'influence par la pression de la mesure.
- Avant le montage, comparer les données du proces et les données indiquées sur la plaque signalétique.
- Le fluide mesuré doit être adapté aux matériaux des pièces du transmetteur avec lesquelles il est en contact.
- Ne pas dépasser la limite de surcharge.
- Raccorder les appareils à un système de câblage fixe.

Mise à la terre pour appareils 
 Le transmetteur de pression doit être connecté au système de liaison équipotentielle de l'installation via le boîtier métallique (raccord avec process) et le conducteur de terre de la fiche.

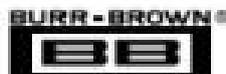
 Câblage correct

Consignes de sécurité

	<p>Système : Exécution de l'ordre d'arrêtement sur l'appareil</p> <p>Respecter le manuel d'utilisation</p>
---	--

Cet appareil a quitté l'usine en parfait état technique. Pour le garder dans cet état et pour en assurer un fonctionnement sans danger, observez les indications suivantes :

- L'appareil ne doit être utilisé que pour les applications prévues dans cette notice.
- Lors du raccordement, du montage et du fonctionnement, les réglementations et les lois en vigueur dans votre pays doivent être respectées.
- Les appareils ayant le mode de protection du matériel pour atmosphère explosive "à sécurité intrinsèque", perdent leur agrément des qu'ils ont été expédiés avec une attestation reçue qui ne correspond pas aux certificats émis en vigueur dans votre pays.
- Raccorder l'appareil à une très basse tension au moyen d'une isolation de sécurité (Safety Extra-Low Voltage, SELV).
- L'appareil ne doit être alimenté que par une source d'énergie limitée selon la norme IEC/EN 60950-1 seconde édition, chapitre 3.2.3 ou IEC en concordance avec IEC/EN 60950-1 ou classe 2 conformément à UL1950 ou UL1950A.
- L'appareil peut être exposé aux très hautes pressions et/ou aux fluides agressifs et dangereux. En cas d'utilisation non conforme de cet appareil, des blessures corporelles et/ou des dommages matériels importants peuvent survenir. Tenir particulièrement compte de cet aspect lorsque l'appareil est en service et qu'il doit être remplacé.
- L'installation, le montage et la mise en service de l'appareil  ne doivent être effectués que par du personnel qualifié, dans le respect des normes EN 60076-14 et EN 61241-14.
- La limite de surcharge doit toujours être respectée.
- L'appareil ne nécessite pas de maintenance.



RCV420

Precision 4mA to 20mA CURRENT LOOP RECEIVER

FEATURES

- COMPLETE 4-20mA TO 0-5V CONVERSION
- INTERNAL SENSE RESISTORS
- PRECISION 10V REFERENCE
- BUILT-IN LEVEL-SHIFTING
- $\pm 40V$ COMMON-MODE INPUT RANGE
- 0.1% OVERALL CONVERSION ACCURACY
- HIGH NOISE IMMUNITY: 86dB CMR

APPLICATIONS

- PROCESS CONTROL
- INDUSTRIAL CONTROL
- FACTORY AUTOMATION
- DATA ACQUISITION
- SCADA
- RTUs
- ESD
- MACHINE MONITORING

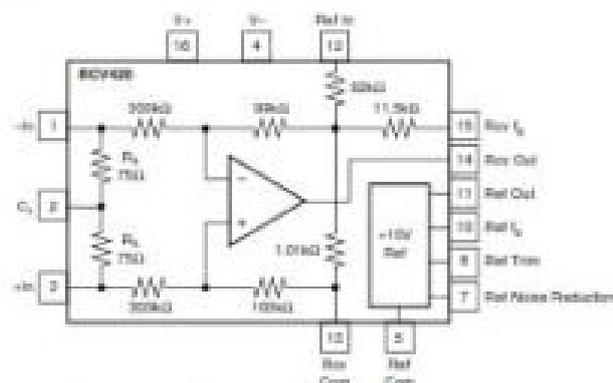
DESCRIPTION

The RCV420 is a precision current-loop receiver designed to convert a 4-20mA input signal into a 0-5V output signal. As a monolithic circuit, it offers high reliability at low cost. The circuit consists of a premium grade operational amplifier, an on-chip precision resistor network, and a precision 10V reference. The RCV420 features 0.1% overall conversion accuracy, 86dB CMR, and $\pm 40V$ common-mode input range.

The circuit introduces only a 1.5V drop at full scale, which is useful in loops containing extra instrument burdens or in intrinsically safe applications where

transmitter compliance voltage is at a premium. The 10V reference provides a precise 10V output with a typical drift of $3\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$.

The RCV420 is completely self-contained and offers a highly versatile function. No adjustments are needed for gain, offset, or CMR. This provides three important advantages over discrete, board-level designs: 1) lower initial design cost, 2) lower manufacturing cost, and 3) easy, cost-effective field repair of a precision circuit.



APC Series Transparent Transceiver Module

APC220-43

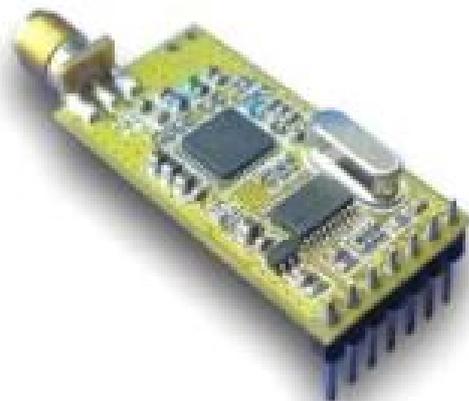
Product Overview:

APC220-43 is highly integrated semi-duplex low power transceiver module with high speed MCU and high capability RF IC. Using high efficiency forward error correction with interleaving encoding technology, it can make anti-interference and sensitivity improved highly. It can have a good performance in strong interference circumstance as well, for example the industry field. The technique is advanced in data transfers area.

APC220-43 is a cost-effective and easy applied module that not only can transmit transparent data with large data buffer zone, but also can provide more than 100 channels. It's parameters easily setting and small size make the module an ideal for wireless data transfer application.

Application:

- Automated Meter Reading (AMR)
- Wireless sensor
- Industrial Automation
- The control of traffic signal
- Wireless handheld terminal
- Remote control and monitoring
- The management of cars
- Wire Replacement
- Oil and Gas Detection.
- The control of robot



MEGA 2560 R3 Datasheet



■ INTRODUCTION

MEGA 2560 R3 is an Arduino compatible board, it's based on Arduino MEGA 2560 design. So you can use BUONO MEGA 2560 as Arduino MEGA 2560. All Code, shield and IDE for Arduino MEGA 2560 R3 are also valid on BUONO MEGA 2560. Some visible improvement on hardware make BUONO more flexible and easier use. For example: 3.3V or 5V IO selectable allow you connect some 3.3V modules (such as XBee) to BUONO directly.



■ THE DIFFERENCE BETWEEN Arduino MEGA 2560 AND BUONO MEGA 2560

	Arduino MEGA 2560	BUONO MEGA 2560
USB Connector	Type B Female	Micro USB connector
Operating Voltage	5V	3.3V or 5V selectable
3.3V Current	50mA	500mA
5V Current	500mA	1.8A
Input Range	7V to 12V	6V to 23V
MCU	ATMEGA2560	ATMEGA2560
Others		Ground terminal LPF for AVCC

■ FEATURES

- Inherits all of Arduino MEGA 2560's features
- Compatible to Arduino MEGA 2560's pin layout, screw hole and dimensions
- 3.3V or 5V operating voltage selectable
- More visible location of indication LEDs
- Evolved with SMD components
- Digital I/O pins 54(of which 15 provided PWM output)
- Analog Input pins 16
- Flash memory 256 KB of which 8KB used by bootloader
- SRAM 8 KB
- EEPROM 4KB
- Clock speed 16MHz
- Micro USB connection make the cable can be mixed use with most digital products such as cell phone
- 5V DC/DC provide 95% efficiency
- 6V to 23V wide rang input
- Provide max 1.8A for peripheral circuits
- Ground terminal make measurement easier

■ PACKAGE LIST

- 1xBUONO MEGA 2560
- 1xMicro USB cable
- 4xScrew and nut

■ CONTACT US

540 Mill River LN San Jose,
CA95134

E-mail:support@inhaos.com

Web:www.inhaos.com

MAX31865**RTD-to-Digital Converter****ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Voltage Range on V_{DD} Relative to GND1.....-0.3V to +4.0V
 Voltage Range on BIAS, REFIN+,
 REFIN-, ISENSOR.....-0.3V to ($V_{DD} + 0.3V$)
 Voltage Range on FORCE+, FORCE2,
 FORCE-, RTDIN+, RTDIN- Relative to GND1-50V to +50V
 Voltage Range on DVDD Relative to DGND.....-0.3V to +4.0V
 Voltage Range on All Digital Pins
 Relative to DGND.....-0.3V to ($V_{DVDD} + 0.3V$)

Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)
 TQFN (derate 34.5mW/°C above +70°C).....2758.6mW
 ESD Protection (all pins, Human Body Model).....±2kV
 Operating Temperature Range.....-40°C to +125°C
 Junction Temperature.....+150°C
 Storage Temperature Range.....-65°C to +150°C
 Soldering Temperature (reflow).....+260°C
 Lead Temperature (soldering, 10s).....+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PACKAGE THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

TQFN

Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}).....29°C/W
 Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}).....2°C/W

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

($T_A = -40^\circ\text{C}$ to +125°C, unless otherwise noted.) (Notes 2 and 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{DD}	V_{DD}		3.0	3.3	3.6	V
DVDD	V_{DVDD}		3.0	3.3	3.6	V
Input Logic 0	V_{IL}	CS, SCL, SCLK	-0.3		$0.3 \times V_{DVDD}$	V
Input Logic 1	V_{IH}	CS, SCL, SCLK	$0.7 \times V_{DVDD}$		$V_{DVDD} + 0.3$	V
Analog Voltages (FORCE+, FORCE2, FORCE-, RTDIN+, RTDIN-)		Normal conversion results	0		V_{BIAS}	V
Reference Resistor	R_{REF}		350		10k	Ω
Cable Resistance	R_{CABLE}	Per lead	0		50	Ω

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($0.0V \leq V_{DD} \leq 3.6V$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to +125°C, unless otherwise noted. Typical values are $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = V_{DVDD} = 3.3V$.) (Notes 2 and 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ADC Resolution		No missing codes		15		Bits
ADC Full-Scale Input Voltage (RTDIN+ - RTDIN-)				REFIN+ - REFIN-		V