

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO AIRE – AGUA MARCA TECQUIPMENT DEL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DEL DECEM

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**MIGUEL ANGEL ALVAREZ RON
JOSÉ XAVIER REVELO NARVÁEZ**

DIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ

CODIRECTOR: ING. RICHARD BERNIS

Sangolquí, 2009 – 08 – 08

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO AIRE – AGUA MARCA TECQUIPMENT DEL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DEL DECEM”, fue realizado en su totalidad por Miguel Angel Alvarez Ron y José Xavier Revelo Narváez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Roberto Gutiérrez

DIRECTOR

Ing. Richard Bernis

CODIRECTOR

Sangolquí, 2009 – 08 – 08

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL INTERCAMBIADOR
DE CALOR DE FLUJO AIRE – AGUA MARCA TECQUIPMENT DEL
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DEL DECEM”**

ELABORADO POR:

Miguel Angel Alvarez Ron

José Xavier Revelo Narváez

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ING. EMILIO TUMIPAMBA

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECANICA

Sangolquí, 2009 – 08 – 08

DEDICATORIA

Dedicado a mis abuelos y padres, ya que sin ellos yo no sería el SER HUMANO que soy hoy en día.

MIGUEL ANGEL ALVAREZ RON

Dedicado a mis padres, José y Ximena, que siempre estuvieron a mi lado y me enseñaron el camino de la luz.

JOSÉ XAVIER REVELO NARVÁEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia que siempre estuvieron conmigo así sea a la distancia, a mis amigos junto a quienes aprendí a valorar una verdadera amistad, disfrutar un buen momento y apoyarnos en los malos, a los profesores de mi carrera que sin sus enseñanzas no hubiese logrado llegar a culminar una de mis metas, gracias a todas las personas que influyeron en mi para poder culminar una etapa de mi vida, y un agradecimiento especial para una persona que me dio fuerzas cuando me hacía falta, guía cuando me sentía perdido y alegría en mis malos momentos.....gracias!!

MIGUEL ANGEL ALVAREZ RON

A Dios, por brindarme esta bendición tan grande. Mi más sincero agradecimiento a mis amados padres, Ximena y José, que fueron siempre el pilar de mis fuerzas y me inculcaron los valores que me han ayudado a salir adelante. A mis tíos, por brindarme el apoyo que necesite en los momentos difíciles de mi vida. A mí querida hermana Elizabeth, que estuvo a mi lado para ser mi amiga y confidente. A mis queridos compañeros David, José, Alex, Andrés, por convivir conmigo este período especial de mi vida. A mis queridos hermanos Marco, Juan Carlos, Belén, por brindarme su amistad y hermandad. A Ester, que me ha hecho volver a sonreír y devolverme las ganas de amar. Un agradecimiento especial para un gran compañero y amigo Miguel Angel que me brindó su apoyo, consejos y algo más... A mis queridos profesores que me han dado el conocimiento necesario para aplicarlo en la vida profesional. Gracias a todos quienes hicieron posible que este hermoso sueño se cumpla.

JOSÉ XAVIER REVELO NARVÁEZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
SIMBOLOGÍA	xvii
RESUMEN	xviii
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 ALCANCE	3
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
CAPÍTULO 2 DEFINICIONES	4
2.1 TRANSFERENCIA DE CALOR	4
2.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR	5
2.3 FUNCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	7
CAPÍTULO 3 MANTENIMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	15

3.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	15
3.2 ANÁLISIS PRIMARIO Y DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL BANCO DE PRUEBAS	16
3.3 DETECCIÓN DE DEFECTOS SUPERFICIALES	19
3.4 DETECCIÓN MINUCIOSA DE DEFECTOS	21
3.5 CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO	26
3.6 MANTENIMIENTO DE LAS PARTES Y CORRECCIÓN DE FALLAS	27
CAPÍTULO 4 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	31
4.1 ETAPA DE AGUA	31
4.2 ETAPA DE AIRE	40
4.3 ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	45
CAPÍTULO 5 AUTOMATIZACIÓN Y DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO AIRE – AGUA	52
5.1 LABVIEW 8.5	52
5.2 PROGRAMACION DE ELEMENTOS	58
CAPÍTULO 6 ENSAMBLE DEL EQUIPO E IMPLEMENTACIÓN	80
6.1 ENSAMBLE DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	80
6.2 CONEXIÓN DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS	90
6.3 INSTALACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	91

6.4 CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	92
CAPÍTULO 7 PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO	93
7.1 PRUEBA EN FLUJO CONTRACORRIENTE	93
7.2 PRUEBA EN FLUJO PARALELO	96
7.3 COMPARACIÓN ESTADO ACTUAL Vs. ESTADO INICIAL DEL EQUIPO	98
7.4 EJEMPLO DE CÁLCULO DE VALORES	104
CAPÍTULO 8 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	108
8.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	108
8.2 ANÁLISIS FINANCIERO	110
CAPÍTULO 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
9.1 CONCLUSIONES	112
9.2 RECOMENDACIONES	112

TABLAS

TABLA 3.1 FLUJO PARALELO	18
TABLA 3.2 FLUJO CRUZADO	19
TABLA 3.3 DIAGRAMA GANTT DE MANTENIMIENTO	26
TABLA 4.1 CUADRO COMPARATIVO DE TUBERÍAS	33

TABLA 4.3 CUADRO COMPARATIVO DE SENSORES DE TEMPERATURA	39
TABLA 7.1 DATOS DE PRUEBA FINAL DEL EQUIPO EN CONTRAFLUJO	93
TABLA 7.2 RESULTADOS CONTRAFLUJO	95
TABLA 7.3 DATOS DE PRUEBA FINAL DEL EQUIPO EN PARALELO	96
TABLA 7.4 RESULTADOS FLUJO PARALELO	97
TABLA 8.1 REMUNERACIÓN A PROFESIONALES	108
TABLA 8.2 REMUNERACION ESTUDIANTES	108
TABLA 8.3 MATERIALES	108
TABLA 8.4 TOTAL COSTOS DIRECTOS	110
TABLA 8.5 COSTOS INDIRECTOS	110
TABLA 8.6 TOTAL COSTOS	110
TABLA 8.7 TABLA DE COSTOS Y FINANCIAMIENTO	110

FIGURAS

FIGURA 2.1 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	4
FIGURA 2.2 FLUJO PARALELO	5
FIGURA 2.3 FLUJO CONTRACORRIENTE	5
FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA FLUJO PARALELO	6
FIGURA 2.5 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA PARA FLUJO	7

CONTRACORRIENTE

FIGURA 2.6 INTERCAMBIADOR DE CALOR TECQUIPMENT	8
FIGURA 2.7 INTERRUPTOR DE ENCENDIDO DEL PANEL DE CONTROL	8
FIGURA 2.8 TUBOS CONCENTRICOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	9
FIGURA 2.9 TURBINA DE AIRE	9
FIGURA 2.10 TERMOSTATO ELÉCTRICO	10
FIGURA 2.11 PANEL DE CONTROL POTENCIÓMETRO	10
FIGURA 2.12 RESISTENCIA ELÉCTRICA	11
FIGURA 2.13 TERMOCUPLAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	13
FIGURA 2.14 TERMÓMETRO DE MERCURIO	13
FIGURA 2.15 MANÓMETROS DIFERENCIALES	14
FIGURA 3.1 ESQUEMA DE FALLAS EXTERNAS DEL INTERCAMBIADOR	20
FIGURA 3.2 EXTERIOR DE CARCASAS	22
FIGURA 3.3 INTERIOR DE CARCASAS	23
FIGURA 3.4 CAÑUELA DEL INTERCAMBIADOR	23
FIGURA 3.5 TUBO EXTERIOR DEL INTERCAMBIADOR	23
FIGURA 3.6 TUBO INTERIOR DEL INTERCAMBIADOR	24
FIGURA 3.7 TUBO CONEXIONES DE LAS TERMOCUPLAS EN EL	24

INTERCAMBIADOR

FIGURA 3.8 ESTADO POSTMANTENIMIENTO DE CARCASAS	28
FIGURA 3.9 CAÑUELAS NUEVAS PARA SUSTITUCIÓN	29
FIGURA 3.10 EXTREMOS DE TUBERÍA INTERNA Y EXTERNA LUEGO DE LA LIMPIEZA	29
FIGURA 3.11 SENSOR LM35 DE TEMPERATURA	30
FIGURA 3.12 SELLO DE TUBERÍA	30
FIGURA 4.1 MANGUERA DE VINIL	33
FIGURA 4.2 VALVULA PROPORCIONAL	34
FIGURA 4.3 VALVULA SOLENOIDE	35
FIGURA 4.4 ENTRADA AL INTERCAMBIADOR	36
FIGURA 4.5 SALIDA DEL INTERCAMBIADOR	36
FIGURA 4.6 CAUDALÍMETRO	37
FIGURA 4.7 TOMA DE BRONCE PARA INGRESO DE LOS TERMÓMETROS	38
FIGURA 4.8 SENSOR DE TEMPERATURA LM 35	40
FIGURA 4.9 SENSOR DE PRESION	41
FIGURA 4.10 RESISTENCIA ELECTRICA	43
FIGURA 4.11 MOTOR ELECTRICO	44
FIGURA 4.12 PROCESO DE ADQUISICION DE DATOS	46

FIGURA 4.13 TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS	46
FIGURA 4.14 CONEXIONES EN EL PROTOBOARD	48
FIGURA 4.15 CABLEADO EN EL SOFTWARE PROTEL99	49
FIGURA 4.16 CARA FRONTAL DE LA TARJETA	50
FIGURA 4.17 CARA POSTERIOR DE LA TARJETA	51
FIGURA 5.1 SOFTWARE LABVIEW	53
FIGURA 5.2 PANEL FRONTAL	55
FIGURA 5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES	56
FIGURA 5.4 PALETA DE HERRAMIENTAS	57
FIGURA 5.5 PALETA DE CONTROLES	57
FIGURA 5.6 PALETA DE FUNCIONES	58
FIGURA 5.7 CONEXIONES PARA LM35 Y SV3106	59
FIGURA 5.8 DIAGRAMA DE CONEXIONES CIRCUITO LM35	59
FIGURA 5.9 PANEL FRONTAL DEL VI DEL SENSOR DE TEMPERATURA	61
FIGURA 5.10 PANEL FRONTAL VI DEL SENSOR DE TEMPERATURA LUEGO DE LA TOMA DE DATOS	62
FIGURA 5.11 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SENSOR LM35	63
FIGURA 5.12 NOMBRE DE TAREA DAQmx	63
FIGURA 5.13 INICIO DE TAREA DAQmx	64

FIGURA 5.14 LAZO WHILE	64
FIGURA 5.15 LEER DAQmx	65
FIGURA 5.16 MATRIZ DE INDICE	65
FIGURA 5.17 MULTIPLICADOR	66
FIGURA 5.18 TEMPORIZADOR	66
FIGURA 5.19 DETENER TAREA DAQmx	67
FIGURA 5.20 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA VALVULA SOLENOIDE	67
FIGURA 5.21 PANEL FRONTAL VI VALVULAS SOLENOIDES	68
FIGURA 5.22 PANEL FRONTAL DE VALVULAS SOLENOIDES EN FUNCIONAMIENTO	69
FIGURA 5.23 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS VALVULAS SOLENOIDES	69
FIGURA 5.24 TAREA CANALES DE ENTRADA DAQmx	70
FIGURA 5.25 ESCRITOR DAQmx	70
FIGURA 5.26 CONTROLADOR LOGICO “NO Y”	71
FIGURA 5.27 INDICADOR DE CAUDAL	72
FIGURA 5.28 SIMULACION DE TANQUE PARA EL CONTROL DE CAUDAL	72
FIGURA 5.29 NUMERO ALEATORIO	73
FIGURA 5.30 MULTIPLICADOR	74

FIGURA 5.31 NEGACION	74
FIGURA 5.32 SUMA	74
FIGURA 5.33 COCIENTE Y RESIDUO	74
FIGURA 5.34 TIEMPO TRANSCURRIDO	75
FIGURA 5.35 TIEMPO/CICLO DE SIMULACION	75
FIGURA 5.36 VI DE TEMPERATURA	75
FIGURA 5.37 VI DE NIVEL	76
FIGURA 5.38 VI DE PROMEDIO	76
FIGURA 5.39 SELECTOR	76
FIGURA 5.40 VI DE CAMBIO DE ESTADO BOOLEANO	77
FIGURA 5.41 VI ACTUALIZADOR DE VOLTAJE	77
FIGURA 5.42 DATOS DEL SENSOR DE PRESION	78
FIGURA 5.43 NODO DE FORMULAS	79
FIGURA 6.1 BASE DE MADERA	81
FIGURA 6.2 ENSAMBLE DEL TRAMO CENTRAL	81
FIGURA 6.3 ENSAMBLE COMPLETO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	82
FIGURA 6.4 MOTOR ELECTRICO Y PERNOS DE EXPANSIÓN	82
FIGURA 6.5 TORNILLO DE EXPANSION	83
FIGURA 6.6 ELEMENTOS ELECTRICOS	83

FIGURA 6.7 UBICACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA DE ENTRADA Y SALIDA DE LA TUBERÍA	84
FIGURA 6.8 SENSORES DE TEMPERATURA A LA ENTRADA	85
FIGURA 6.9 SENSORES DE TEMPERATURA AL INTERIOR DEL CAPUCHON DE COBRE	86
FIGURA 6.10 SENSOR DE CAUDAL	86
FIGURA 6.11 UBICACIÓN DEL SENSOR DE PRESION	87
FIGURA 6.12 DISTRIBUCION DE VALVULAS SOLENOIDES	88
FIGURA 6.13 SOPORTE FIJO DE VALVULAS SOLENOIDES	89
FIGURA 6.14 VALVULA PROPORCIONAL EN POSICION VERTICAL	89
FIGURA 6.15 CAJA CON ELEMENTOS ELECTRONICOS	90
FIGURA 6.16 PANTALLA DEL CONTROL DEL PROGRAMA	91
FIGURA 6.17 POSICION DE VALVULA DE BOLA	92
FIGURA 7.1 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO EN FLUJO PARALELO	95
FIGURA 7.2 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO EN FLUJO CONTRACORRIENTE	95
FIGURA 7.3 ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO EN FLUJO PARALELO	96
FIGURA 7.4 ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO EN FLUJO CONTRACORRIENTE	96
FIGURA 7.5 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO EN FLUJO PARALELO	97
FIGURA 7.6 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO EN FLUJO	97

CONTRACORRIENTE

FIGURA 7.7 ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO EN FLUJO PARALELO	98
FIGURA 7.8 ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO EN FLUJO CONTRACORRIENTE	98
FIGURA 7.9 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO EN FLUJO PARALELO	99
FIGURA 7.10 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO EN FLUJO CONTRACORRIENTE	100
FIGURA 7.11 ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO EN FLUJO PARALELO	100
FIGURA 7.12 ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO EN FLUJO CONTRACORRIENTE	100

SIMBOLOGÍA

W_w	Flujo Másico de Agua	ΔT_a	Diferencia de Temperaturas del Aire
ρ	Densidad	Re	Número de Reynolds
T_m	Temperatura Media Calórica	d	Diámetro de Tubería
T_i	Temperatura del fluido a la entrada	μ	Viscosidad dinámica
T_o	Temperatura del Fluido a la Salida	De	Diámetro equivalente
C_p	Calor Específico	D_1	Diámetro interno
ΔT_w	Diferencia de Temperaturas del Agua	D_2	Diámetro externo
W_a	Flujo Másico del Aire	Pr	Número de Prandtl
h_a	Coeficiente de transferencia de calor superficial aire tubo	k	Conductividad Térmica
A_i	Área superficial interna del tubo	MLDT _a	Diferencia media logarítmica de temperaturas del aire
h_w	Coeficiente de transferencia de calor superficial agua al tubo	A_0	Área superficial exterior al tubo de prueba
MLDT _w	Diferencia media logarítmica de temperaturas agua	x	Espesor del tubo

RESUMEN

El Intercambiador de Calor de Flujo Aire – Agua marca Tecquipment, pertenece al laboratorio de Termodinámica del DECEM. Es un equipo que realiza prácticas de laboratorio, analizando la eficiencia y la transferencia de calor con dos fluidos de diferentes características.

El tiempo que ha venido operando es de alrededor de 30 años, y no se ha realizado un mantenimiento ni correctivo, ni preventivo. La consecuencia de este descuido, repercute en las condiciones que se le encontró al equipo. La transferencia de calor era casi nula entre el aire y el agua. Se encontraron incrustaciones en los tubos de bronce y cobre del intercambiador. Existían filtraciones de aire en las tomas de entrada del agua hacia el intercambiador, provocando que no se realice un calentamiento del agua.

Para mejorar estos inconvenientes, se planteo la solución de dar un mantenimiento exhaustivo al equipo para mejorar las condiciones de transferencia y además se plantea el automatizar el equipo para brindar un mejor servicio hacia la comunidad politécnica, especialmente a los alumnos de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El Ing. Roberto Gutiérrez responsable del laboratorio de termodinámica, solicita mediante memorando número 2008-004-ESPE-L-T-CE al Ing. Mayo. Byron Sierra T. director del DECEM, se tome en cuenta el apoyo económico para desarrollar proyectos de grado para la automatización, calibración, simulación y mantenimiento de los distintos equipos de los laboratorios del DECEM, ya que es política del vicerrectorado de investigaciones apoyar estos proyectos para mejorar la calidad de educación en la ESPE, sin invertir ingentes cantidades en la compra de nuevos equipos, ya que los equipos pueden ser renovados y actualizados con tecnología de última generación.

En el área industrial es de suma necesidad, el enfriamiento de las maquinas de procesos, es por esto que los intercambiadores de calor son herramientas indispensables el momento de pensar en una industria.

Dada la necesidad y avance de la tecnología es necesario tener contacto con las ventajas que la automatización de una máquina nos puede brindar.

En la Carrera de Ingeniería Mecánica se encuentran algunos equipos mejorados con la instrumentación y automatización como es el caso del Banco de Pruebas de Estudio Ambiental. Existen algunos estudios hechos en la Carrera para poder construir equipos que sirvan como medios didácticos de aprendizaje para el bien de los futuros estudiantes.

Dados estos antecedentes se considera necesario realizar la automatización del intercambiador de calor aire-agua.

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Intercambiador de Calor de flujo Aire – Agua, se encuentra en estado obsoleto, por lo cual no está funcionando adecuadamente. Esto impide que se realice prácticas de laboratorio adecuadas para el estudio de las asignaturas de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

En una manera general de describir el problema, es que la maquina no está funcionando como debería, sus partes y funcionamiento son completamente deficientes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- Escoger un sistema de automatización que permita el uso de un programa capaz de obtener datos y curvas de resultados reales para las prácticas de Laboratorio del Banco de Pruebas del Intercambiador de Calor de flujo Aire – Agua del Laboratorio de Termodinámica

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos necesarios para el proceso de automatización del banco de pruebas
- Realizar un mantenimiento exhaustivo el cual permita poner a punto el banco de pruebas
- Diseñar el programa de obtención de datos con la ayuda del programa LabVIEW.
- Analizar el trabajo del banco de pruebas posterior a la automatización del mismo.

1.4 ALCANCE

La intención de automatizar el banco de pruebas, es el de actualizar los equipos existentes en el Laboratorio de Termodinámica, logrando de esta manera trabajar con equipos que nos den las mismas facilidades de uso y aprendizaje con si fuesen nuevos.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La necesidad de aplicar la tecnología conforme avanza el tiempo es de importancia mundial. Es por esto que en nuestro país es necesario la aplicación de los temas de automatización industrial para mantener un nivel de educación de alta excelencia en nuestra Escuela Politécnica del Ejército.

Actualmente la Carrera de Ingeniería Mecánica cuenta con muy pocas máquinas que han sido automatizadas y modernizadas.

Al finalizar el proceso de automatización del Intercambiador de Flujo Aire – Agua, las futuras generaciones de estudiantes que ingresen a nuestra carrera podrán tener una idea más real de los resultados que obtengan al momento de realizar las diferentes prácticas que se realizan en el Banco de Pruebas mencionado.

La automatización de este equipo permitirá además a los estudiantes realizar los análisis correspondientes en cuanto se refiere a curvas de datos, simulaciones, resultados; entre otras ventajas que se obtienen al momento de tener la facilidad de automatizar el banco de pruebas

CAPITULO 2

DEFINICIONES

2.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura.

Siempre que exista una diferencia de calor en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor. Como se muestra en la figura a continuación (fig 2.1), tenemos varios tipos de transferencia de calor. Cuando existe una variación de calor en un medio estacionario, ya sea un sólido o un fluido, nos referimos a *conducción*. Cuando existe una variación de calor entre una superficie y un fluido, cuando estas están a diferentes temperaturas la denominamos *convección*. Cuando no existe un medio y dos superficies tienen temperaturas finitas, estas emiten energía en forma de ondas electromagnéticas, este caso es conocido como radiación térmica.

En conclusión cuando exista un equilibrio térmico entre el ambiente o cuerpos que estén interactuando entre sí, no existirá una transferencia de calor ya que es necesario que exista una diferencia de temperatura.

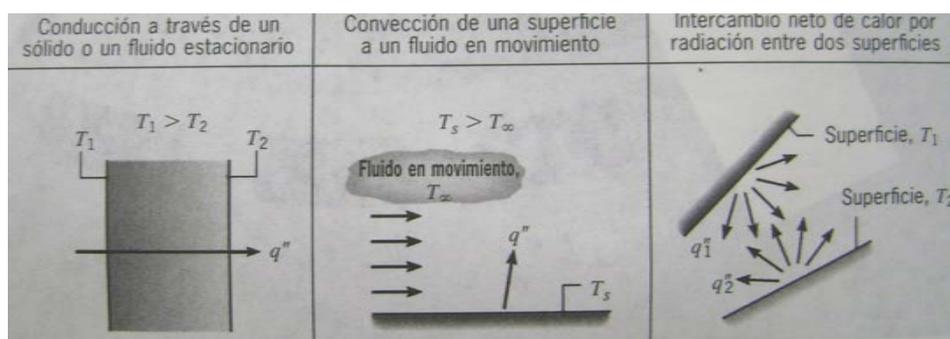


Figura 2.1 Tipos de transferencia de calor conducción, convección y radiación

2.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

El proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferentes temperaturas y separados por una pared sólida, existen muchas aplicaciones en la Ingeniería. El dispositivo que se utiliza para llevar a cabo este intercambio se denomina intercambiador de calor, las aplicaciones de estos se pueden encontrar en la vida cotidiana como a nivel industrial.

Los intercambiadores de calor trabajan y se clasifican según el arreglo de flujo que estos tengan y el tipo de construcción. El intercambiador de calor más simple en el cual los fluidos tienen la misma dirección o en direcciones opuestas en una construcción de tubos concéntricos. En el arreglo de flujo contracorriente (*figura 2.2*), los fluidos entran por extremos opuestos, fluye en direcciones opuestas y salen por extremos opuestos. El otro arreglo que se aplica es el de flujo paralelo (*figura 2.3*), en donde los dos fluidos ingresan por los extremos del mismo lado, circulan en la misma dirección y salen por los extremos del mismo lado.

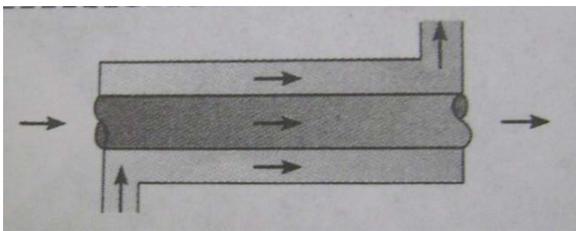


Figura 2.2 Flujo Paralelo

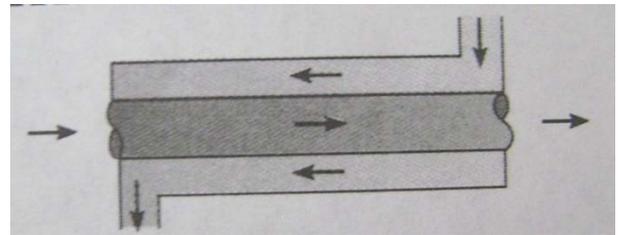


Figura 2.3 Flujo Contracorriente

2.2.1 INTERCAMBIADORES DE CALOR FLUJO PARALELO

Las distribuciones de temperatura caliente y fría con un intercambiador de calor de flujo paralelo, se muestra en la *figura 2.4*, como se observa la diferencia de temperatura ΔT en la parte inicial del tubo es mayor, pero mientras el fluido recorre por el tubo, la diferencia va disminuyendo hasta cierta temperatura tender a una temperatura que tenga la trayectoria de líneas paralelas. Cabe destacar que la temperatura fría de salida nunca será mayor a la temperatura caliente. En la *figura 2.4* los subíndices 1 y 2 designan los extremos opuestos del intercambiador de calor.

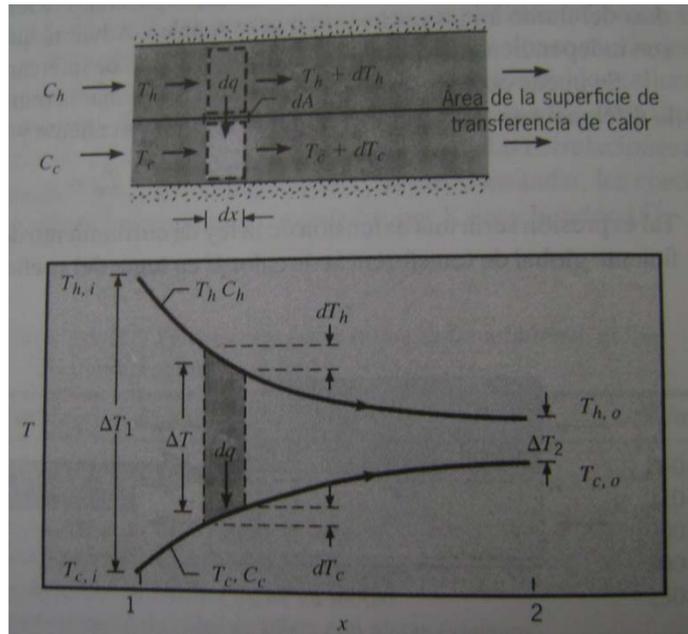


Figura 2.4 Distribuciones de temperatura para flujo paralelo.

2.2.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR FLUJO CONTRACORRIENTE

Las distribuciones de temperaturas de los fluidos calientes y fríos asociadas con un intercambiador de calor en contracorriente en la *figura 2.5*. Al contrario del flujo paralelo esta configuración mantiene la transferencia de calor entre las partes más calientes de los dos fluidos en un extremo, así como entre las partes más frías en el otro. En este caso dadas las condiciones de trabajo al invertir el sentido de los flujos, la temperatura de salida del flujo frío puede superar la temperatura de salida del fluido caliente.

Cabe señalar que con las mismas temperaturas de entrada y salida la diferencia de temperaturas medias logarítmica para contracorriente excede al flujo paralelo. Esto permite que el área superficial de contacto sea menor para disminuir la temperatura en relación al flujo paralelo.

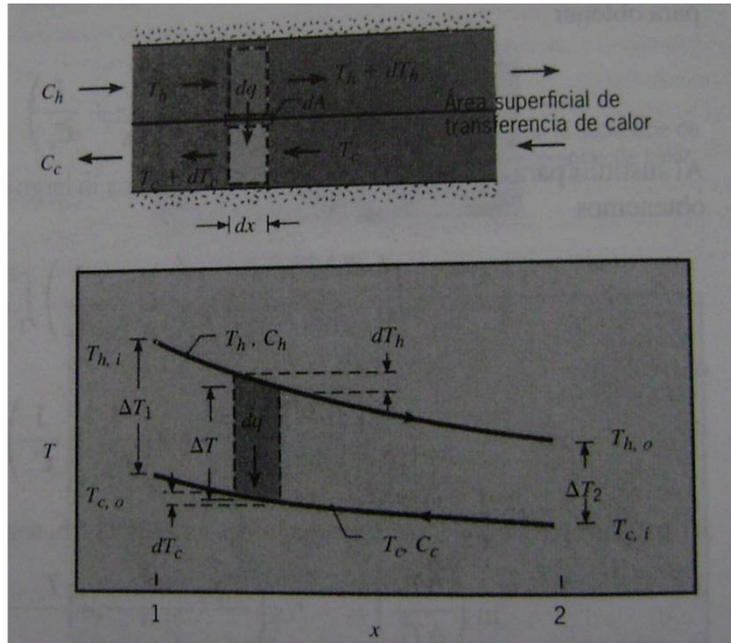


Figura 2.5 Distribuciones de temperatura para flujo contracorriente

2.3 FUNCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor que se muestran en la figura 2.6, fue fabricada por Tecquipment una firma inglesa, el uso de este banco de pruebas es netamente didáctico.

Para poder trabajar con el intercambiador se debe encender la máquina por medio del interruptor que tiene en el lado izquierdo del panel de control de voltaje fig 2.7.

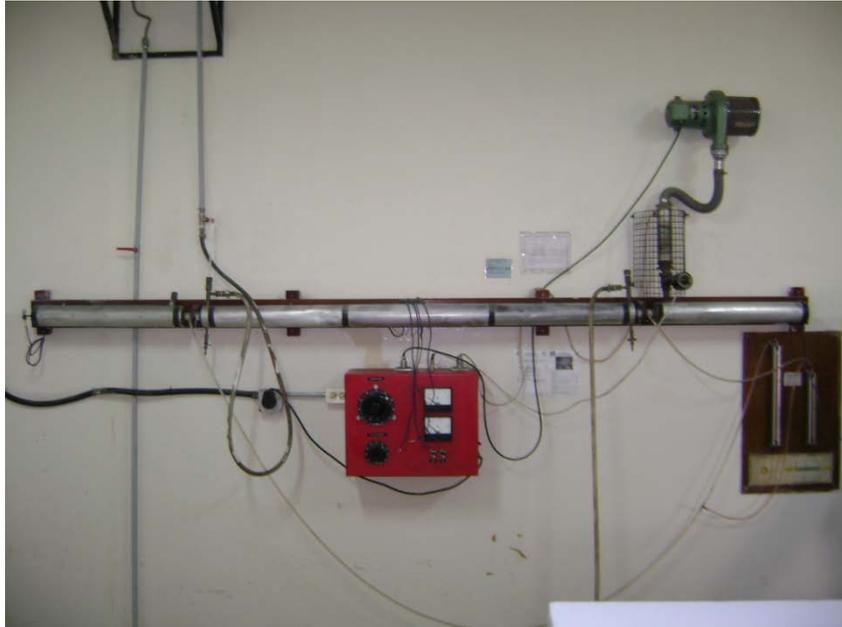


Figura 2.6 Intercambiador de calor TECQUIPMENT



Figura 2.7 Interruptor de encendido del panel de control

2.3.1 PARTES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

2.3.1.1 Tubos concéntricos

Estos tubos es el lugar en donde se realiza la transferencia de calor, el agua de temperatura fría empieza a circular por la coraza, mientras que la corriente de aire caliente circula por el tubo intermedio, de esta manera el aire caliente entrega el calor al medio de baja temperatura, aquí se presentan dos casos de transferencia de calor convección y conducción por las características de trabajo del equipo (figura 2.8).



Figura 2.8 Tubos concéntricos del intercambiador de calor

2.3.1.2 Turbina de aire

La turbina de aire simula la fuente de fluido que circulará por medio de los tubos concéntricos, esta corriente de aire pasará por una resistencia eléctrica que rápidamente elevará la temperatura, el objetivo de calentar el aire es para que más adelante en lo tubos concéntricos se efectúe el fenómeno de transferencia de calor entre el fluido frío, en este caso agua (figura 2.9).



Figura 2.9 Turbina de aire

2.3.1.3 Termostato

El termostato mantendrá en los límites de trabajo a la resistencia eléctrica, ya que para el calentamiento de la corriente de aire, se necesita controlar que la temperatura de aire no exceda a la permitida especificada por el constructor fig 2.10.



Figura 2.10 Termostato eléctrico

2.3.1.4 Potenciómetro

El potenciómetro sirve para controlar la temperatura de la resistencia eléctrica y el flujo másico de aire para el proceso de transferencia de calor fig 2.11.

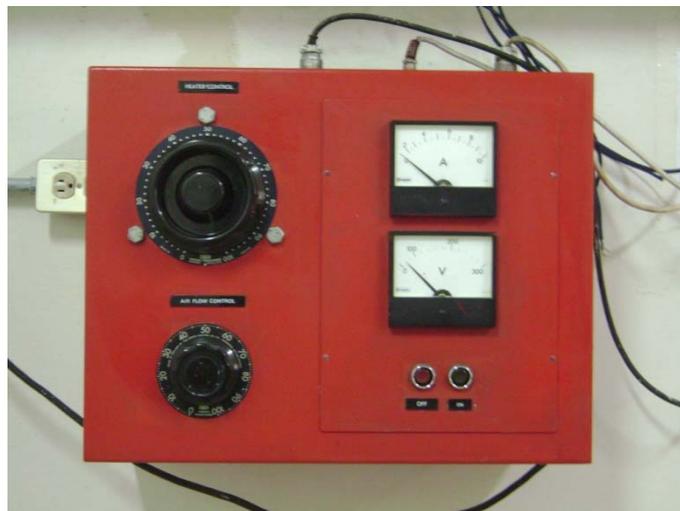


Figura 2.11 Panel de control, potenciómetro

2.3.1.5 Resistencia eléctrica

Es el dispositivo por medio del cual se calienta el aire mientras este circula hacia los tubos concéntricos. Cabe destacar que el trayecto que el aire recorre desde la turbina de aire hasta los tubos concéntricos debe ser corto y aislado

para evitar una transferencia de calor al ambiente que afecte la transferencia de calor total entre el aire y el agua figura 2.12.



Figura 2.12 Resistencia eléctrica

2.3.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

En el intercambiador de calor los datos que se necesita para hacer el análisis de la transferencia de calor son principalmente temperaturas y presiones para lo cual usaremos los siguientes instrumentos que son los que vienen inicialmente con la máquina para trabajar.

- Termocuplas
- Termómetros de mercurio
- Manómetros diferenciales

2.3.2.1 Termocuplas

Las Termocuplas están colocadas de tal manera que medimos la temperatura de aire y sus cambios mientras el aire recorre por los tubos concéntricos, se obtiene cuatro datos de temperatura que son:

2.3.2.1.1 Entrada de aire al sistema

Aquí se mide la temperatura con la que el aire llega luego de pasar por la resistencia eléctrica, y entra al sistema del intercambiador de calor.

2.3.2.1.2 Entrada de agua a los tubos concéntricos

La temperatura que se toma aquí es con la que el agua inicia el recorrido, a la vez que el aire caliente también está circulando, en este punto es en donde la transferencia de calor inicia

2.3.2.1.2.1 Salida de agua de los tubos concéntricos

Esta temperatura es la que el agua obtiene luego de absorber el calor del aire en el trayecto del tubo, en este punto es en donde termina la transferencia de calor entre el aire y el agua.

2.3.2.1.2.2 Salida de aire del sistema

En este punto se toma la medida de la temperatura con la que el aire sale una vez de entregar calor al agua, y salir del sistema hacia el ambiente.

En la figura 2.13 se muestran las Termocuplas instaladas en el intercambiador de calor.

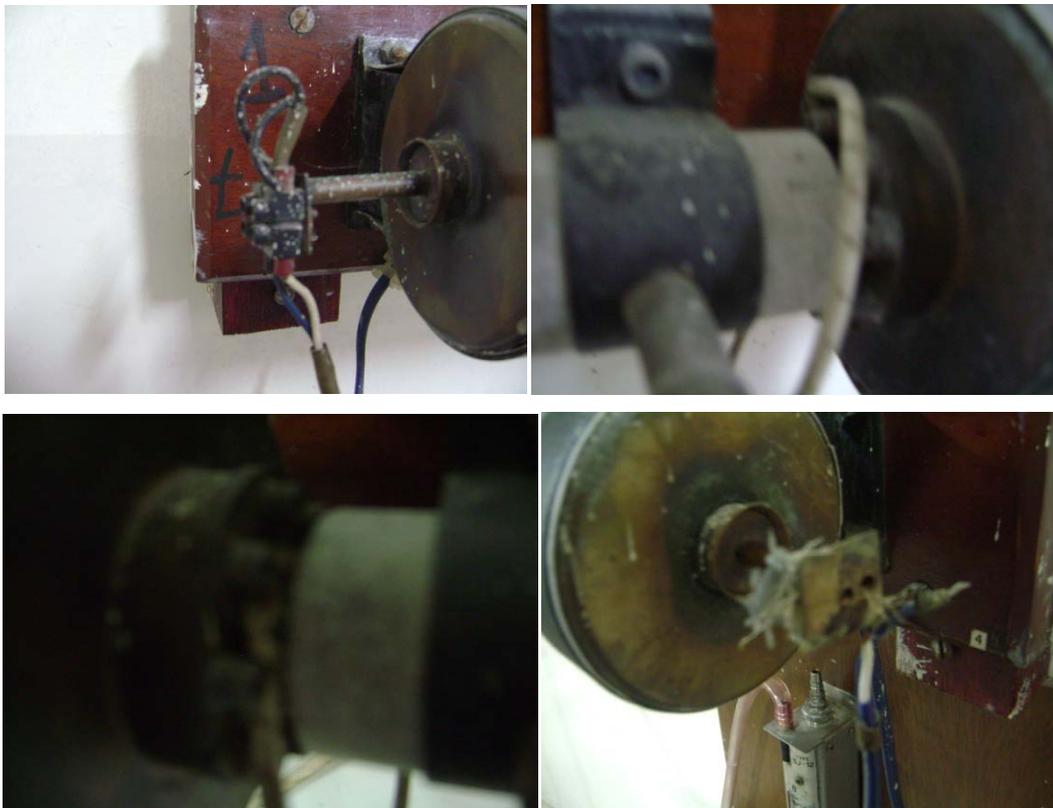




Figura 2.13 Termocuplas del intercambiador de calor

2.3.2.2 Termómetros

Los termómetros están ubicados en distintas posiciones en donde podemos medir la temperatura de entrada y salida del agua de la coraza (figura 2.14)



Figura 2.14 Termómetros de mercurio

2.3.2.3 Manómetros diferenciales

Los manómetros diferenciales se usan para medir la diferencia de presión que existe en la tubería debido a los efectos de cambio de temperatura y velocidad del fluido (figura 2.15).



Figura 2.15 Manómetros diferenciales

CAPITULO 3

MANTENIMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

3.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Para realizar un mantenimiento de cualquier equipo se debe primero tener claro en qué estado físico y operacional este se encuentra. Es importante también conocer el proceso de funcionamiento del equipo para poder determinar el mantenimiento adecuado. Para lo cual se debe empezar con una serie de pruebas para conocer el estado operacional, luego hacer una inspección superficial para identificar las fallas que se presenten a simple vista, una vez realizada esta verificación se procederá con un trabajo minucioso en busca de fallas internas en el equipo.

Una vez desarmado el equipo para su inspección total, se determinará que partes son las que ya no sirven y se las reemplazará por nuevas, así también se identificará partes que se puedan recuperar de tal manera que el tiempo y costo de mantenimiento no sean altos.

3.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

Para dar un mantenimiento efectivo al equipo es necesario conocer completamente el funcionamiento del mismo, rangos de parámetros, a continuación se detallan parámetros y funcionamiento del equipo:

3.1.1.1 Funcionamiento del intercambiador

El funcionamiento del intercambiador inicia con la regulación del flujo de agua con un caudal intermedio en el rango de 70 a 100 l/h esto se lo realiza manualmente abriendo una válvula de bola, una vez regulado el caudal de agua se enciende la resistencia térmica y el soplador con los parámetros iniciales de trabajo que se haya determinado para realizar la práctica. El sistema debe mantenerse así por 15 minutos para que se estabilice, luego de esto se puede empezar a tomar las primeras medidas, una vez que se han

determinado los parámetros de trabajo y las variaciones en el sistema, se realiza cada variación con un lapso de 10 minutos, tiempo necesario para que el sistema se estabilice y poder tomar todas las mediciones necesarias como son temperaturas de, entrada de agua, salida de agua, entrada de aire, salida de aire, superficie del tubo en la entrada y salida de agua. Diferencia de presión en la entrada y salida de aire en el tubo intercambiador de calor.

El fenómeno que se simula con el intercambiador de calor es la transferencia de calor de un fluido caliente a uno frío, en este caso los fluidos a usar son agua en estado líquido a temperatura ambiente y aire caliente, la hipótesis del fenómeno indica que las temperaturas de salida variarán en relación a las de entrada, la temperatura de salida de agua será mayor a la de entrada mientras que la temperatura de aire en la salida será menor a la temperatura de entrada.

3.1.1.2 Parámetros de funcionamiento

3.1.1.2.1 Agua

1. Caudal de agua debe ser regulado entre 70 a 100 l/h
2. Temperatura mínima 19°C, temperatura máxima 30°C

3.1.1.2.2 Aire

3. Velocidad variable, velocidad mínima 7,5 m/s, velocidad máxima 26.7 m/s
4. Temperatura del Aire, variable con respecto a la temperatura de la resistencia térmica

3.1.1.2.3 Dirección de los flujos

El sentido del flujo es tomado en relación a la dirección del aire.

5. Paralela
6. Contra-flujo

3.2 ANÁLISIS PRIMARIO Y DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL BANCO DE PRUEBAS

Para empezar con el procedimiento de mantenimiento adecuado para la máquina, empezamos por hacer un análisis de la transferencia de calor actual

que se presenta en el equipo, para esto debemos realizar una serie de pruebas con las cuales determinaremos el estado funcional de la máquina.

3.2.1 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Para el procedimiento de pruebas del intercambiador de calor se hará en base a la guía actual con la que se trabaja en el laboratorio de termodinámica.

1. Determinar con que configuración de flujo se va a trabajar, flujo paralelo o flujo contracorriente
2. Regular un caudal de agua entre 70 a 100 l/h
3. Encender el panel del potenciómetro por medio del interruptor localizado en el lado izquierdo del panel
4. Colocar el indicador del reóstato en 3 y no moverlo mientras se estén realizando las pruebas
5. Mediante el indicador del potenciómetro regular la intensidad en la resistencia eléctrica con la que se va realizar la prueba
6. Regular el flujo de aire con el que se va a trabajar
7. Esperar 15 minutos para que el sistema se estabilice antes de tomar las primeras medidas
8. Variar el flujo de aire y esperar 15 minutos cada vez que se realice una variación para asegurar el buen funcionamiento del proceso
9. Cuando se haya terminado de hacer las pruebas bajar la intensidad en el potenciómetro hasta el mínimo y esperar 20 minutos antes de apagar el equipo
10. Apagar el equipo por medio del interruptor del panel

3.2.2 PARÁMETROS DE TRABAJO INICIALES

La prueba para determinar el estado de la máquina se va a realizar bajo los siguientes parámetros:

- Se tomarán 9 datos de las siguiente manera, el amperaje con el que se trabajará será entre 4 y 6 amperios, aquí se tomaran datos con flujos de 40, 50 y 60, esto se repetirá cada vez que variemos el amperaje así

obtendremos 9 datos con los que podremos realizar el análisis necesario para determinar el estado de funcionamiento de la máquina.

- El caudal de agua con el que se va a trabajar es de 83 l/h, este valor esta en el rango de trabajo de la máquina que es entre 70 y 100 l/h, como se lo regula manualmente es difícil tener con exactitud un flujo constante y preciso.
- Una vez estabilizado el sistema procedemos a tomar las medidas de la manera en que describimos anteriormente
- Se realizara pruebas en flujo paralelo y flujo contracorriente para determinar el estado en ambos casos

3.2.3 DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA INICIAL

A continuación están tabulados los datos adquiridos en la prueba, bajo estos datos se realizaran los cálculos y se determinará el estado de funcionamiento.

Tabla 3.1 Flujo Paralelo

A (amperaje)	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	6,0	6,0	6,0
flujo de aire	40,0	50,0	60,0	40,0	50,0	60,0	40,0	50,0	60,0
t4	61,4	46,7	50,4	80,1	67,4	57,3	115,4	97,8	83,7
t3	21,6	21,6	21,7	22,7	23,2	23,2	25,4	26,1	26,0
t2	20,6	20,0	19,9	21,1	21,3	21,2	22,4	21,5	21,2
t1	40,4	38,7	37,9	43,6	44,5	42,9	56,0	60,1	58,4
tih2o	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
tsh2o	20,0	20,0	20,0	20,0	20,5	20,5	20,5	21,0	21,0
Δp(mmH2O)	17,0	20,0	38,0	17,0	27,0	37,0	16,0	25,0	34,0
P	22,0	41,0	66,0	24,0	43,0	62,0	24,0	40,0	59,0
V	125,0	125,0	125,0	140,0	140,0	140,0	180,0	180,0	180,0
Vel del aire m/s	1,1	2,8	3,6	1,2	2,4	3,6	1,0	2,1	3,2

Tabla 3.2 Flujo Cruzado

FLUJO CRUZADO

A (amperaje)	4	4	4	4,5	4,5	4,5	6	6	6
flujo de aire	40	50	60	40	50	60	40	50	60
t4	53	44,1	40,9	78,1	68,1	51,9	95,6	92,2	70,4
t3	19,1	19,5	19,7	20,6	20,5	20,3	23,1	23,6	22,7
t2	19,7	20,3	20,3	21,3	21,3	21,2	23,9	24,8	24,5
t1	35,4	36,3	35,2	40,8	40,9	39	52,5	55,6	53,7
tih2o	18	18	18	18	18	18	18	18	18
tsh2o	20	20,5	20,5	20,5	21	21	21	22	22
Δp(mmH2O)	18	28	38	18	27	37	17	24	34
P	25	45	66	26	44	63	24	40	60
V	125	125	125	140	140	140	180	180	180
Vel. del aire m/s	1,1	2,8	3,6	1,2	2,4	3,6	1	2,1	3,2

3.2.4 RESULTADOS DE LA PRUEBA INICIAL

Con los datos tabulados de las pruebas realizamos los cálculos para determinar el estado de funcionamiento de la máquina, pero por el mal estado de la máquina no fue posible determinar mediante cálculos, la transferencia de calor que se efectúa en el equipo no es adecuada, no existe una diferencia de temperaturas considerable por lo cual no se puede realizar ningún tipo de cálculos, bajo este criterio se ha determinado que la máquina es completamente deficiente y no está en la capacidad de funcionar ni cumplir el objetivo para el que fue adquirida.

3.3 DETECCIÓN DE DEFECTOS SUPERFICIALES

Siguiendo con el mantenimiento, se revisará la maquina y se detectarán los defectos que el equipo tiene superficialmente, por lo tanto a continuación se detallan los defectos y los posibles problemas que esto puede estar causando en el equipo.

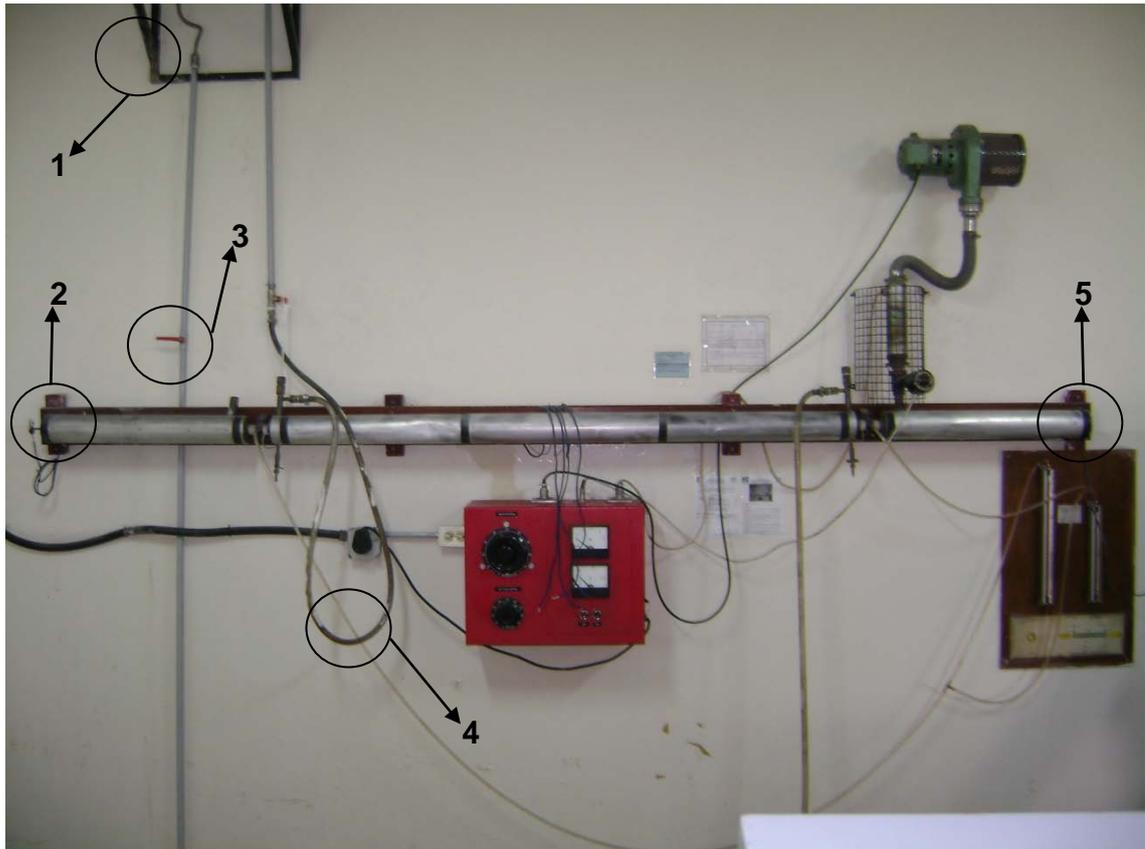


Figura 3.1 Esquema de fallas externas del intercambiador

1. Fugas en el tanque de almacenamiento de agua
2. Válvula de bola en la tubería de entrada del agua al tanque
3. Termocuplas en la salida del aire del sistema
4. Mangueras de agua
5. Termocuplas en la entrada de aire al sistema

3.3.1 FUGAS EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Se encontró que por las esquinas del tanque metálico existen fugas, y por medio de estas el agua esta goteando sobre la coraza del intercambiador, lo cual puede estar efectuando un problema el momento de la transferencia de calor, el otro problema que se presenta es que hay un desorden en las conexiones eléctricas de las Termocuplas, y el agua también moja estas conexiones lo que puede ocasionar un corto circuito.

3.3.2 VÁLVULA DE BOLA EN LA TUBERÍA DE ENTRADA DE AGUA AL TANQUE

La válvula que controla la entrada de agua al tanque por ende al sistema del intercambiador se encuentra en mal estado, esto dificulta que se regule de manera adecuada el caudal de agua que se necesita para trabajar, lo que no solo afecta a los cálculos finales sino también que es una pérdida de tiempo el tener que estar moviendo manualmente la palanca hasta tener el caudal deseado.

3.3.3 TERMOCUPLA EN LA SALIDA DEL AIRE DEL SISTEMA

En la salida del aire del sistema la Termocuplas se encuentra en mal estado, oxidada lo que afecta directamente a las medidas de la temperatura

3.3.4 MANGUERAS

Las mangueras que llevan el agua hacia el intercambiador no se encuentran en buen estado, especialmente en las conexiones existen fugas en donde el flujo de agua se ve afectado, lo cual varían el comportamiento de la transferencia de calor.

3.3.5 TERMOCUPLAS EN LA ENTRADA DE AIRE

Las Termocuplas en la entrada de aire al sistema ya no está soldada, por lo cual no toma medidas y se registra alguna medida lo hace incorrectamente.

3.4 DETECCIÓN MINUCIOSA DE DEFECTOS

Una vez realizada la detección a simple vista de defectos, el siguiente paso es el de inspeccionar el equipo completamente, es decir desmontándolo y desarmándolo para determinar que partes y como hacer el mantenimiento correctivo.

3.4.1 DESMONTAJE DEL EQUIPO

El desmontaje se lo realiza como se detalla a continuación:

1. Desconectar la fuente de corriente eléctrica

2. Cerrar el paso de la fuente de agua
3. Desconectar la turbina de aire
4. Retirar las conexiones de las Termocuplas y las Termocuplas
5. Retirar las mangueras de las tomas de los tubos concéntricos
6. Retirar la manguera de alimentación de aire al intercambiador
7. Desconectar y retirar las mangueras de las tomas de presión del intercambiador
8. Desatornillar las abrazaderas del soporte de madera
9. Retirar el intercambiador del soporte de madera y colocarlos sobre una mesa de trabajo
10. Retirar las abrazaderas de la coraza del intercambiador
11. Retirar la carcasa del intercambiador
12. Retirar la cañuela del intercambiador
13. Sacar el tubo interior del intercambiador de calor

Una vez realizado el desmontaje procedemos a identificar las fallas y partes que necesitan mantenimiento del intercambiador.

3.4.2 IDENTIFICACIÓN DE FALLAS

3.4.2.1 Filtraciones en la carcasa



Figura 3.2 Exterior de carcasas



Figura 3.3 Interior de carcasas

En el interior de la carcasa existen incrustaciones y restos de cañuela del intercambiador. Esto es debido a que existen filtraciones de agua hacia el equipo.

3.4.2.2 Cañuela del intercambiador



Figura 3.4 Cañuela del intercambiador

La cañuela del intercambiador se encuentra podrida, y en ciertas partes ya no hay cañuela que cubra el tubo del intercambiador.

3.4.2.3 Tubería externa



Figura 3.5 Tubo exterior del intercambiador

En la tubería externa se encontró incrustaciones debido a la solidificación de las sales del agua con la que se trabaja en el intercambiador, este tipo de incrustaciones producen aislamiento por lo que la transferencia de calor en el sistema se ve afectada directamente.

3.4.2.4 Tubería interna



Figura 3.6 Tubo interior del intercambiador

El tubo interior está completamente cubierto de incrustaciones creadas por la solidificación de las sales que se encuentran en el agua con la que se trabaja.

3.4.2.5 Conexiones de Termocuplas



Figura 3.7 Tubo Conexiones e las Termocuplas en el intercambiador

Las conexiones de las Termocuplas en el intercambiador estaba en mal estado, algunas desoldadas, otras conexiones que solo estaban ubicadas superficialmente es decir ya no existía un contacto adecuado para que se pueda tener una medición adecuada de la temperatura en estos puntos.

3.4.2.6 Sellos de las tuberías

Los sellos y los topes de las tuberías del intercambiador ya no tienen un cierre hermético y ocasiona problemas con el aislamiento con el medio ambiente.

3.6 MANTENIMIENTO DE LAS PARTES Y CORRECCIÓN DE FALLAS

En esta parte se describirá el proceso que se realizará para cada parte del intercambiador así como también partes que serán retiradas y reemplazadas, para luego poder trabajar en la automatización del equipo.

Se detalla a continuación cada una de las acciones a tomar con los respectivos defectos encontrados y descritos con anterioridad:

3.6.1 FUGAS EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

El tanque de almacenamiento es eliminado del sistema, la distribución de agua al sistema se hará directamente de la toma de agua, esta variación en el proceso se la explicará posteriormente en la implementación del sistema de automatización del equipo.

3.6.2 VÁLVULA DE BOLA EN LA TUBERÍA DE ENTRADA DE AGUA AL TANQUE

La válvula de bola de la tubería es suprimida para el proceso ya que en el sistema de automatización se trabajará con un regulador de caudal electrónico y una válvula proporcional de caudal electrónica.

3.6.3 TERMOCUPLAS EN EL EQUIPO

Las Termocuplas del equipo será retiradas y en su lugar se instalarán sensores de temperatura que sean útiles para los rangos de medias en los que se requiera trabajar.

3.6.4 MANGUERAS

Las mangueras con las que se trabajaba para cambiar de flujo paralelo a flujo contracorriente, serán sustituidas por mangueras de ¼", la medida de las mangueras es determinada por los dispositivos de control y medida que se instalarán el momento de la implementación del sistema automatización, con el reemplazo de esto se evita el manipular las mangueras lo que puede causar

fugas que afecten los resultados de las prácticas del laboratorio, y con esto se logra manejar de mejor manera el equipo de laboratorio.

3.6.5 FILTRACIONES EN LA CARCASA

Las carcasas del intercambiador serán limpiadas de tal manera que no quede rastros de pintura en el exterior y retirar del interior las incrustaciones y residuos de cañuela que existen en estas. Por otra parte el momento de ensamblar nuevamente el intercambiador se sellará de tal manera que se eviten posibles filtraciones que puedan dañar el material de aislamiento del equipo asegurando así que no existan variaciones por agentes externos en el momento de realizar la práctica de laboratorio

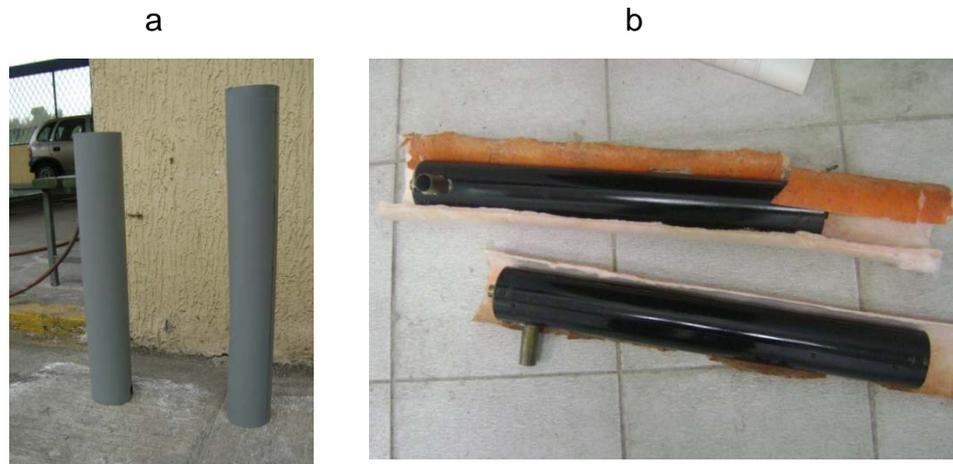


Figura 3.8 a) Carcasas post-mantenimiento limpias y con color base para dar acabado final b) Pintadas listas para ensamblar

3.6.6 CAÑUELA DEL INTERCAMBIADOR

El material aislante del intercambiador entre la carcasa y el tubo exterior del intercambiador será sustituido por uno nuevo, ya que el existente estaba en mal estado y ya no cumplía con su objetivo, esto debido a las filtraciones que hay en las carcasas.



Figura 3.9 Cañuelas nuevas para sustitución

3.6.7 TUBERÍA EXTERNA E INTERNA

En las tuberías lo principal es hacer un limpieza de las incrustaciones de las sales que se acumulan, esto debido al agua con la que se trabaja, ya que no es agua filtrada, las incrustaciones lo que provocan es un asilamiento parcial en la tubería, lo que ocasiona problemas en la transferencia de calor y los resultados son afectados directamente por esta causa.

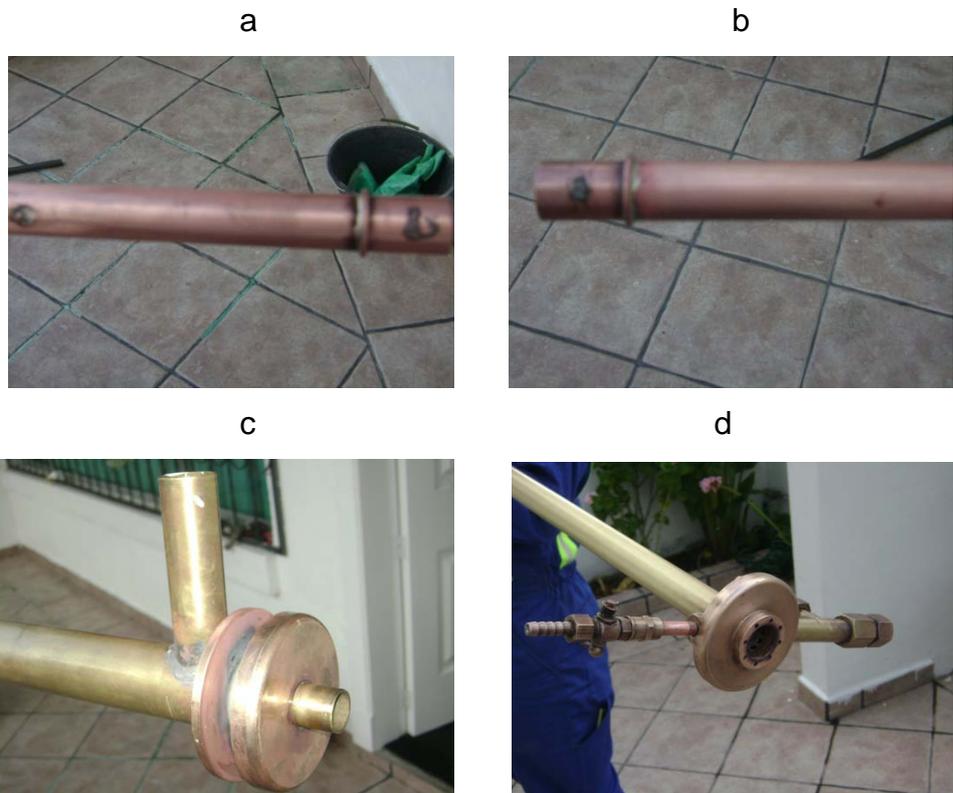


Figura 3.10 a y b) Extremos de tubería interna luego de la limpieza, c y d) Extremos de la tubería externa luego de la limpieza

3.6.8 CONEXIONES DE TERMOCUPLAS

Las conexiones de las Termocuplas serán reemplazadas como se había explicado con anterioridad con sensores LM35 y en estos se realizarán las conexiones recomendadas para que no existan problemas en las medidas. Las indicaciones y características de los sensores se harán más adelante en el capítulo de automatización.



Figura 3.11 Sensores de temperatura LM35

3.6.9 SELLOS DE TUBERÍAS

Las tuberías se sellarán especialmente con sellantes para cobre o bronce lo que evitará posibles fugas de agua lo que dañe el equipo y afecte en las medidas.



Figura 3.12 Sello de tubería

Una vez terminado el mantenimiento del intercambiador de calor, se procede a la siguiente parte que abarca la selección de la instrumentación y la automatización del equipo.

CAPÍTULO 4

SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

Este capítulo brinda una explicación total de los elementos utilizados en el proceso de automatización del equipo. Se presentarán además las características principales para tener una idea más profunda del uso de los distintos componentes utilizados.

Se podrá conocer además la compatibilidad entre ellos luego de identificar y conocer cada elemento individualmente y sobre todo en cual etapa fueron utilizados y las razones de su elección.

Cada elemento se seleccionó teniendo en cuenta los parámetros necesarios para el uso de los mismos con respecto a los datos que se tenían para conexiones, presión de los fluidos, rangos de medida.

Las etapas en las que se divide el proceso de automatización industrial son tres: etapa de agua, etapa de aire y etapa de adquisición de datos. A continuación se detallan cada una de las etapas con sus elementos principales.

4.1 ETAPA DE AGUA

Para la selección de los sensores en la etapa de agua se analiza el proceso al momento que fluye el agua por el intercambiador de calor. Anteriormente el agua debía pasar por elementos de medición manuales que se reemplazaron por actuadores y sensores que completan la automatización del Intercambiador de Calor. Como se detalla en el capítulo anterior, los elementos que se reemplazaron para la automatización fueron:

- Un tanque de reserva
- Llave de bola
- Termómetros

- Manguera Plástica de Jardín
- Probeta (Medición de Caudal)

Para la selección de los elementos en esta etapa se tuvo en cuenta los parámetros de medición, rangos y otros aspectos que se detallan a continuación:

- Temperatura máxima del agua 35° C
- Tipo de fluido: Agua
- Fluido de baja viscosidad
- Temperatura mínima del agua 18° C (ambiente)

4.1.1 TUBERÍA

El cambio de tubería era esencial, en vista del mal estado en el que se encontraba la manguera de jardín utilizada anteriormente a la realización de este proyecto. Además la falta de hermetismo en las uniones de la manguera con el intercambiador, evidenciaba el ingreso de aire en la tubería.

Para el cambio de tubería se tuvo en cuenta las siguientes opciones:

- Tubería de Cobre
- Tubería Galvanizada
- Tubería PVC
- Manguera Industrial de Vinyl
- Manguera de Presión de Aire

Para la toma de decisión del tipo de tubería que se utilizaría se realizó un cuadro comparativo para desechar opciones y obtener la más conveniente para el proyecto.

Tabla 4.1 Cuadro Comparativo de Tuberías

Ítem	Descripción	Costo	Facilidad de Ensamble	Necesidad de Elementos Extra	Uso de Herramientas	Stock en el Mercado	SUMA
1	Tubería de Cobre	3	2	1	3	3	12
2	Tubería Galvanizada	5	5	5	4	5	24
3	Tubería PVC	4	4	3	5	4	20
4	Manguera Industrial de Vinyl	2	1	2	1	2	8
5	Manguera de Presión de Aire	1	3	4	2	1	11

El tipo de manguera a utilizarse es la que menor valor obtuvo, es decir la manguera industrial de Vinyl.

De esta manera se logró utilizar un elemento conductor del agua que satisface las necesidades del equipo.



Figura 4.1 Manguera de Vinil 3/8" x 1/4"

4.1.1.1 Características

La manguera de vinil posee las siguientes características:

- Presión de trabajo 5 kgf/cm²
- Excelente conducción de líquidos a baja presión
- Temperatura de trabajo mínima 5°C, máxima 60°C
- Fabricada en PVC (polivinilo cloruro)

- Posee una capa transparente de gran resistencia

4.1.2 VÁLVULA PROPORCIONAL

El Intercambiador de calor utilizaba una válvula de bola que era la encargada de regular el flujo de manera manual. Esta válvula de bola fue reemplazada por una válvula proporcional de marca OMEGA, modelo FSV – 15 (figura 4.2). La válvula proporcional utiliza el principio de una válvula solenoide, con la diferencia que con la manipulación de la señal análoga se puede abrir o cerrar dependiendo de la cantidad de flujo de agua que se necesite.

Además esta válvula proporcional incluye un módulo de control que permite realizar conexión más sencilla hacia la tarjeta de adquisición de datos que se utilice.



Figura 4.2 Válvula Proporcional FSV – 15

4.1.2.1 Características

Las características de la válvula proporcional son:

- Válvula proporcional solenoide
- Bajo Costo
- Control de líquidos y gases
- Voltaje de entrada 12 – 30 VDC
- Tiempo de respuesta 500 mseg
- Rango de Temperaturas para fluidos: -10°C a 54°C

4.1.3 VÁLVULAS SOLENOIDES

El intercambiador de calor operaba con la manguera de jardín. Cuando se utilizaba un determinado modo de operación (flujo paralelo ó flujo contra corriente), se debía reconectar la manguera de manera que se direcciona el flujo de acuerdo al tipo de práctica. Esto significaba una pérdida de tiempo e ineficiencia en el equipo. Para evitar esto se implementaron 4 válvulas solenoides normalmente cerradas (figura 4.3). Estas válvulas se encuentran ubicadas de manera que, por medio del programa de manejo del Intercambiador se pueda configurar los modos de flujo paralelo y flujo contra corriente.



Figura 4.3 Válvula Solenoide

En este punto se debe tomar en cuenta que existen dos válvulas solenoides, que se encuentran ubicadas en la entrada al intercambiador (figura 4.4) y las dos restantes se encuentran en la salida del intercambiador (figura 4.5), esto para facilitar el control de los modos de operación del intercambiador de calor.

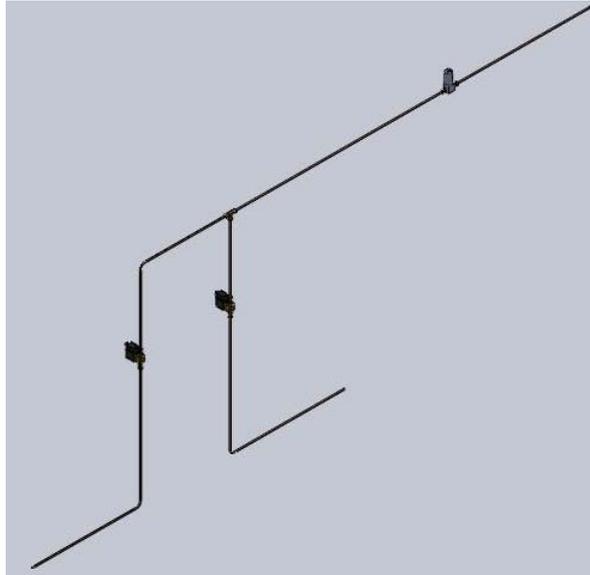


Figura 4.4 Entrada al Intercambiador

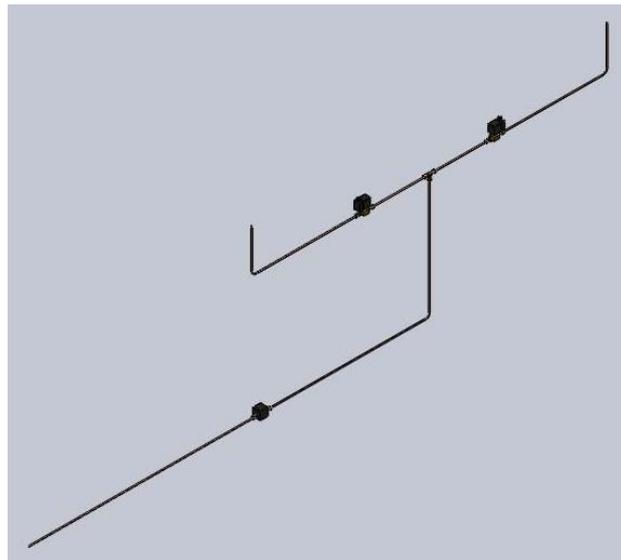


Figura 4.5 Salida del Intercambiador

4.1.3.1 Características

Las principales características de las válvulas solenoides son:

- Válvulas Solenoides de acción directa
- Bajo Costo
- Válvulas de 2 vías
- Normalmente Cerrada

- Construcción de bronce y acero inoxidable
- Rango de temperatura de -10 °C a 137°C
- Voltaje de funcionamiento 110 V
- Tolerancia de Voltaje $\pm 10\%$
- Tiempo de apertura de válvula: 10 a 20 mseg en voltaje AC

4.1.4 CAUDALÍMETRO

El Intercambiador de Calor de flujo aire – agua utilizaba un método rudimentario de medición de caudal. Se utilizaba una probeta graduada en la cual se medía el caudal tomando el tiempo que se demoraba en llenar un determinado volumen. Al utilizar la probeta, el caudal de agua se fijaba a la presión que se encontraba la tubería en dicho momento. Las pérdidas de presión ocasionadas en la tubería de alimentación, ocasionaba que la presión en el intercambiador no sea constante al momento de realizar las prácticas de laboratorio. Es por eso que se decidió utilizar un caudalímetro de marca OMEGA modelo FLR1000 (figura 4.6)



Figura 4.6 Caudalímetro

El caudalímetro se encuentra ubicado al final de la tubería, para poder medir el caudal de agua al final del tramo de tubería. De esta manera se puede corregir las caídas de presión, con ayuda de la válvula proporcional y así realizar un control automático del caudal de agua que pasa por el interior del intercambiador de calor.

4.1.4.1 Características

El caudalímetro tiene las siguientes características:

- Temperatura de operación: 5°C a 55°C
- Señal de salida 0 a 5 VDC
- Linealidad $\pm 3\%$ FS
- Rango de flujo de 1.0 a 5.0 L/min
- Consumo típico de energía 12 VDC @ 35 mA
- Tiempo de respuesta < 1 segundo para el 63% del valor final
- Líquidos compatibles: de baja viscosidad, translucidos o transparentes, con montos mínimos de aire o gas atrapado
- Fiabilidad: 100,000 horas
- Bajo Costo

4.1.5 SENSOR DE TEMPERATURA

Para medir las temperaturas de entrada y salida del intercambiador, se utilizaban termómetros de mercurio. Estos termómetros se ingresaban en las tomas de bronce del intercambiador de calor (figura 4.7). El uso de estos termómetros no permitía tomar una medida exacta de temperatura debido a la apreciación de los termómetros.



Figura 4.7 Toma de bronce para ingreso de los termómetros

Para la selección de los sensores de temperatura se realizó una tabla de selección de las opciones que se tenía:

Tabla 4.2 Cuadro Comparativo de Sensores de Temperatura

Ítem	Descripción	Costo	Facilidad de Ensamble	Necesidad de Elementos Extra	Uso de Herramientas	Stock en el Mercado	SUMA
1	RTD	4	1	1	1	2	9
2	Sensor de Automóvil	3	2	2	2	3	12
3	Termocúplas	2	3	4	3	4	16
4	LM35	1	4	3	4	1	14

La opción ideal sería escoger RTD para censar las distintas temperaturas del Intercambiador de Calor, pero en vista de su alto costo y debido al presupuesto asignado por la ESPE, no se pudo adquirir estos sensores y se utilizaron los LM35.

El criterio para escoger los sensores de temperatura, se basó principalmente en encontrar sensores que se puedan ingresar por las mismas tomas del acople de bronce. El orificio del acople de bronce se ajustaba perfectamente a la cañería de cobre de ¼”, que se utilizó para fabricar un capuchón de cobre que ingresaba por el agujero de los acoples de bronce. Los sensores que se utilizaron para la automatización son modelo LM35 (figura 4.8). De esta manera se logra censar los datos de temperatura del agua a la entrada y salida del intercambiador. Estos sensores se utilizan en la etapa de aire para poder censar la temperatura del aire.

- Resistencia Eléctrica. Modelo 571/1. Corriente 8.9 A. Potencia 2.2 KW. Resistencia de Cromo/Níquel. Marca Secomak.
- Soplador Industrial Modelo 74. Voltaje 220/240 V. Frecuencia 50Hz. Intensidad de Corriente 2.9 A
- Termocuplas (cobre y aluminio)
- Medidor de presión diferencial

4.2.1 SENSOR DE PRESIÓN

Para la automatización se debió eliminar el medidor de presión diferencial de dos puntos que se utilizaba en el intercambiador. Para que pueda adquirir datos de la medida diferencial de presión de aire, se decidió utilizar el sensor de presión marca OMEGA, modelo PX137 (figura 4.9).

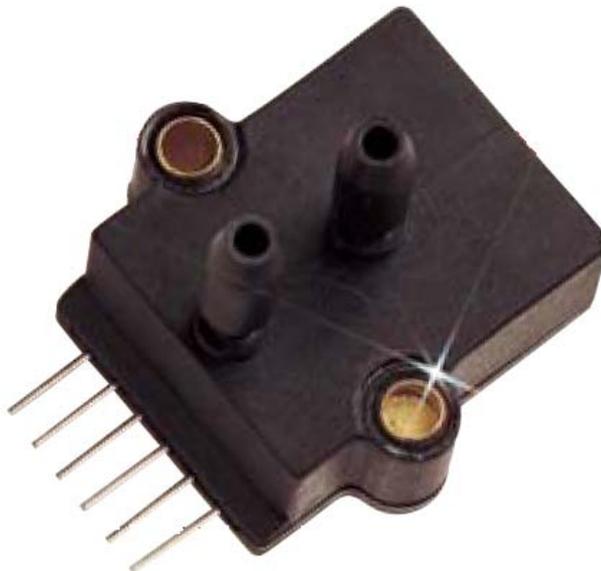


Figura 4.9 Sensor de Presión

El sensor de presión de aire, se utiliza para poder censar la presión diferencial en dos puntos del Intercambiador de Calor, así se pueden obtener los datos mientras se realizan las prácticas de laboratorio.

4.2.1.1 Características

Las principales características del sensor de presión son:

- Voltaje de excitación 12 VDC (16 máx.)
- Resistencia de entrada 10 K Ω
- Temperatura de operación de 0°C a 70°C
- Efectos para rango de 0.3 psi: $\pm 1\text{mV}$ desde 0°C a 50°C, $\pm 0.5\text{mV}$ desde 50°C a 70°C
- Bajo Costo
- Medios compatibles: para uso de gases compatibles con silicón.

4.2.2 RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia eléctrica que se utiliza para el calentamiento del aire, es la misma que se utilizaba anteriormente en el proceso de prácticas de laboratorio. A esta resistencia se le debió realizar una reparación total ya que la niquelina de la resistencia, se encontraba totalmente desgastada, y esto no permitía el buen calentamiento del aire al momento del paso por esta resistencia.

La resistencia eléctrica marca SECOMAK (figura 4.10), se utiliza en prácticamente todo el proceso de las prácticas de laboratorio y es una parte fundamental para el éxito en las prácticas del intercambio de calor, como se encuentra descrito en los procesos de flujo paralelo y contraflujo.



Figura 4.10 Resistencia Eléctrica

4.2.2.1 Características previas a la Reparación

La resistencia de marca SECOMAK, tenía las siguientes características:

- Modelo 571/1.
- Tipo de Corriente AC.
- Incluye termostato.
- Temperatura de salida > a 300° C.
- Potencia 2000 W.
- Voltaje 230/250 V.
- Amperaje máximo 7 A.

4.2.2.2 Características posteriores a la Reparación

Las características de la resistencia luego de su reparación son:

- Modelo 571/1.
- Tipo de Corriente AC.
- Incluye Termostato.
- Temperatura de salida > 350° C.
- Potencia 2200 W.
- Voltaje 230/250 V.

- Amperaje máximo 8.9 A.

Las nuevas características de la resistencia en valores de potencia, amperaje y temperatura permiten que el elemento se encuentre protegido de mejor manera para poder realizar las prácticas y además que el equipo no falle en caso de que exista una restricción en el flujo del aire.

4.2.3 MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico marca SECOMAK (figura 4.11), que se utiliza en el proceso es un soplador industria. Se encarga de regular el flujo de aire para el intercambiador de calor. El motor eléctrico gira a las velocidades fijadas en cada práctica de laboratorio, por parte de los encargados (operarios), al momento de hacer girar al motor para regular el flujo de aire. El motor es otro de los elementos fundamentales al momento de utilizar el equipo para realizar las prácticas de laboratorio.



Figura 4.11 Motor Eléctrico

4.2.3.1 Características

Las características del motor eléctrico son las siguientes:

- Modelo 74.
- Voltaje de funcionamiento 220/240 V.
- Frecuencia 50 Hz.
- Corriente 2.9 A.
- Filtro de Papel.

4.3 ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La etapa de adquisición de datos del proyecto es un punto esencial, ya que es el paso final para el proceso de automatización. En esta etapa se logran interpretar de manera electrónica los datos que se logran censar en el intercambiador de calor. Estas tarjetas nos permiten el funcionamiento de los actuadores anteriormente detallados, para de esta manera manejar todo el proceso por medio del programa en el computador. Además de las tarjetas de adquisición de datos, tenemos también tarjetas de acondicionamiento de señal, filtrado de señal, amplificadores de señal, acondicionadores de potencia, entre otras. A continuación se detallan los elementos necesarios para la adquisición de datos para el Intercambiador de Calor de Flujo Aire - Agua, así como también la tarjeta de acondicionamiento de señal que se utiliza para que los actuadores y sensores.

4.3.1 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El propósito de adquisición de datos es medir un fenómeno eléctrico y físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. La adquisición de datos basada en PC utiliza una combinación de hardware modular, software de aplicación y una PC para realizar medidas (figura 4.12). Mientras cada sistema de adquisición de datos se define por sus requerimientos de aplicación, cada sistema comparte una meta en común de adquirir, analizar y presentar información. Los sistemas de adquisición de datos incorporan señales,

sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicación.

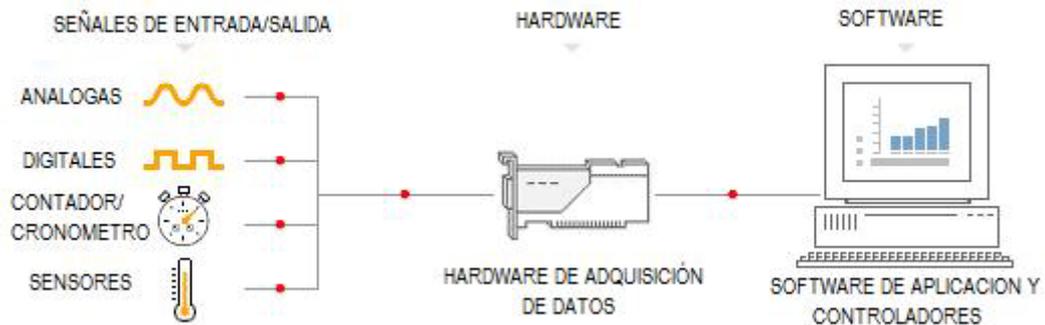


Figura 4.12 Proceso de adquisición de datos

Para la aplicación de este proyecto se determino utilizar una tarjeta de adquisición de datos marca NATIONAL INSTRUMENTS, modelo NI – USB 6008 (figura 4.12). Esta tarjeta cumplía con las necesidades de entradas analógicas y digitales necesarias para este proyecto. Este elemento posteriormente se conecta a la computadora para que funcione por medio del programa realizado para el uso y control del intercambiador de calor.



Figura 4.13 Tarjeta de Adquisición de Datos

4.3.1.1 Características

Las características de la Tarjeta de Adquisición de Datos son:

- Adquisición de Datos Multifunción por USB de 12 bits a 10kS/s
- 8 Canales de entrada analógica de 12 bits, 12 líneas DIO, 2 salidas analógicas, 1 contador.
- Alimentación de energía por el bus para mayor comodidad y portabilidad.
- Software controlador para Windows, Mac OS X, Linux, Pocket PC.
- Software de NI – DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress para registro de datos.

4.3.2 TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

La tarjeta de acondicionamiento de señal es un dispositivo con el cual se busca compactar los elementos utilizados electrónicamente. De esta manera se logra unificar las conexiones de cada elemento en un dispositivo que permite utilizar menos espacio y realizar de manera ordenada y estética las conexiones y cableado.

La tarjeta de acondicionamiento de señal que se utiliza en el proyecto permite amplificar las señales de los sensores de temperatura, alimentar los sensores, válvulas solenoides, válvula proporcional, caudalímetro, sensor de presión.

4.3.2.1 Diseño y Fabricación de la tarjeta de acondicionamiento

El diseño de la tarjeta de acondicionamiento de señal, se basa en los diagramas de conexión establecidos de los sensores de temperatura y de las válvulas solenoides. Las válvulas solenoides necesitan ser alimentadas por voltaje de 110 V, y para esto se usaron relés. Estos relés permitían el paso de 110 V, y estos a su vez energizan las válvulas solenoides de manera que se puedan abrir o cerrar dependiendo de las necesidades del usuario.

4.3.2.1.1 Diseño de la Tarjeta de Acondicionamiento

Se utiliza un protoboard para las conexiones de prueba de cada uno de los elementos, para poder identificar el cableado al momento del diseño de la tarjeta de acondicionamiento de señal. (Figura 4.13).

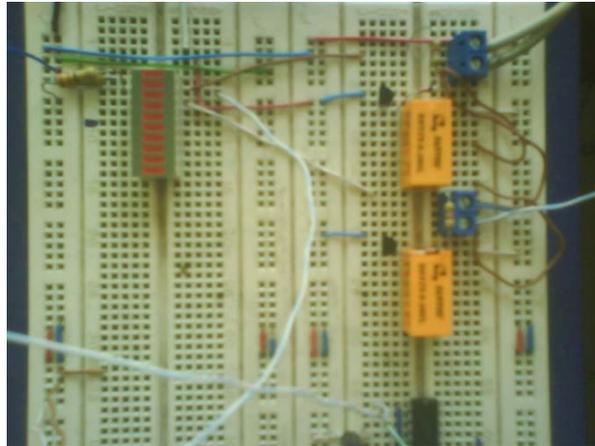


Figura 4.14 Conexiones en el Protoboard

Luego de realizar las pruebas respectivas con las conexiones en el protoboard, se debe utilizar un paquete de software llamado "Protell99". Este paquete de software nos permite desarrollar de manera fácil y rápida el ruteado de la tarjeta de acondicionamiento de señal, además permite visualizar todas las conexiones y elementos que se utilizan para el control del acondicionamiento de señal.

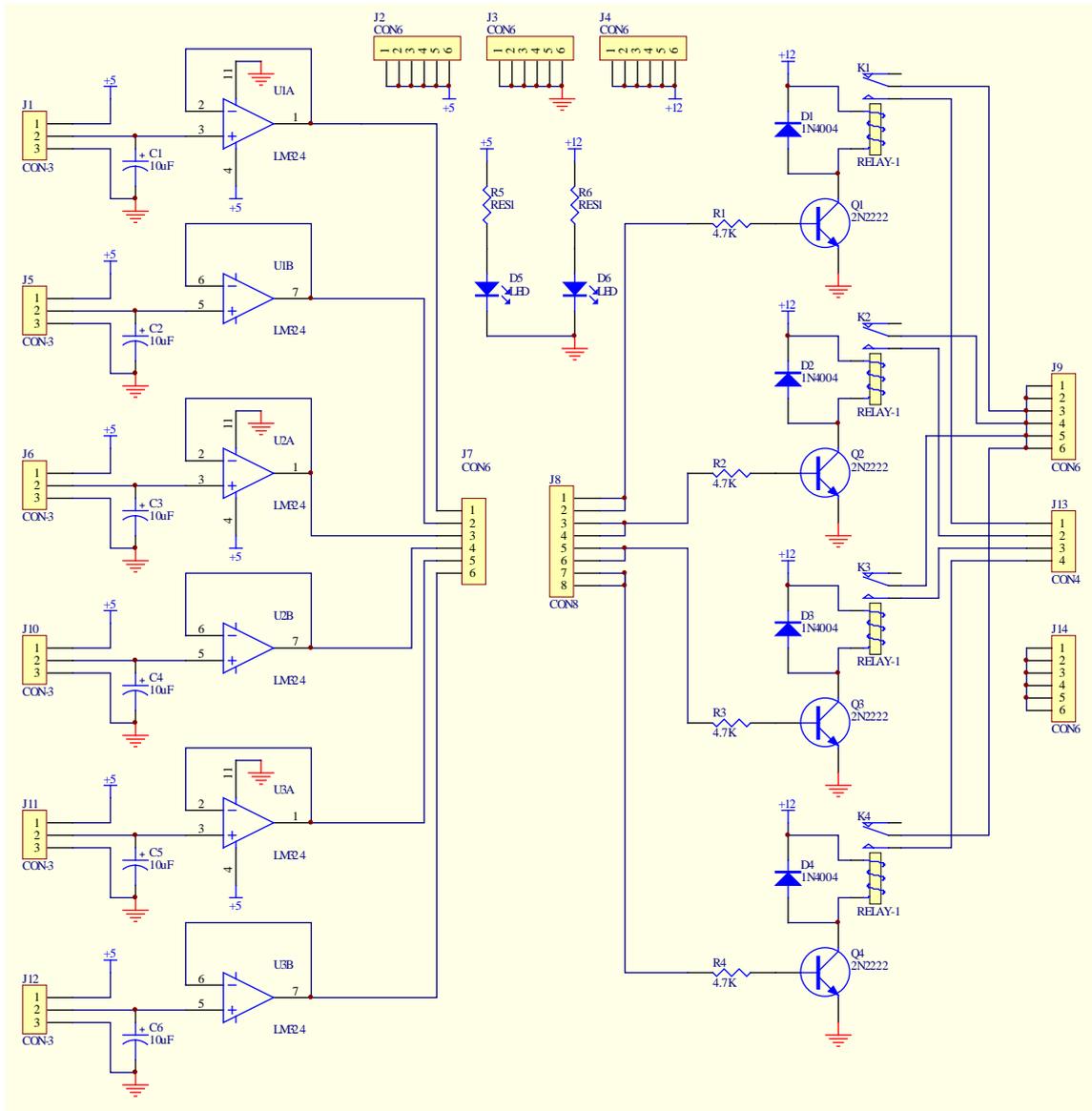


Figura 4.15 Cableado en el software Protel99

4.3.2.1.2 Fabricación de la Tarjeta de Adquisición

Luego de obtener el cableado respectivo para cada uno de los diferentes elementos a conectarse, se realiza el diseño ruteado para evitar los cables. Para esto, utilizando el mismo programa Protel99, se realiza el diseño preliminar de cómo quedaría la tarjeta impresa en una baquelita.

Cada elemento se encuentra separado por medio de la ruta que se forma al momento de la fabricación de la tarjeta de acondicionamiento de señal.

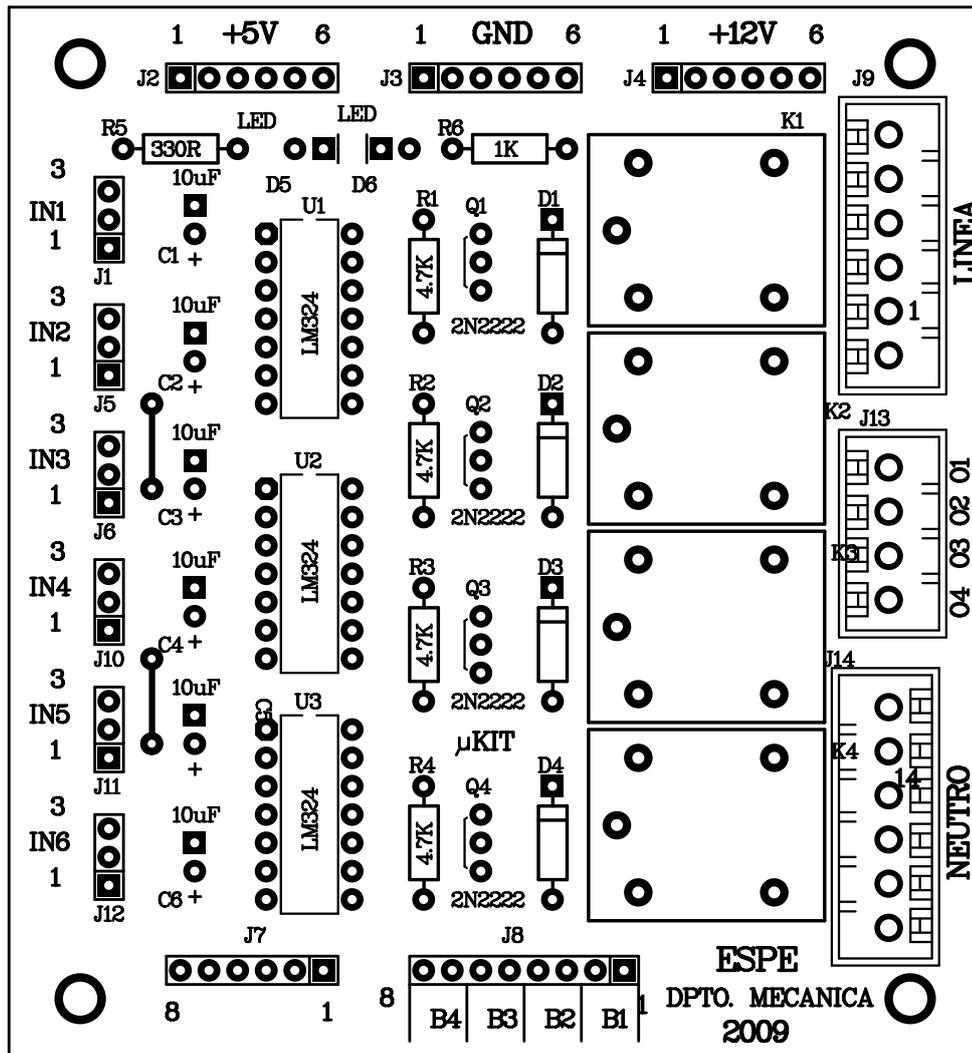


Figura 4.16 Cara frontal de la tarjeta

La tarjeta de acondicionamiento de señal se fabrica a ambos lados de la baquelita. Así, en la cara frontal se muestran los elementos que pueden montarse en cada uno de los espacios delimitados en la tarjeta. Como se muestra en la figura 4.16, se encuentran totalmente detalladas todas las rutas para las conexiones de cada uno de los elementos de la tarjeta de acondicionamiento de señal.

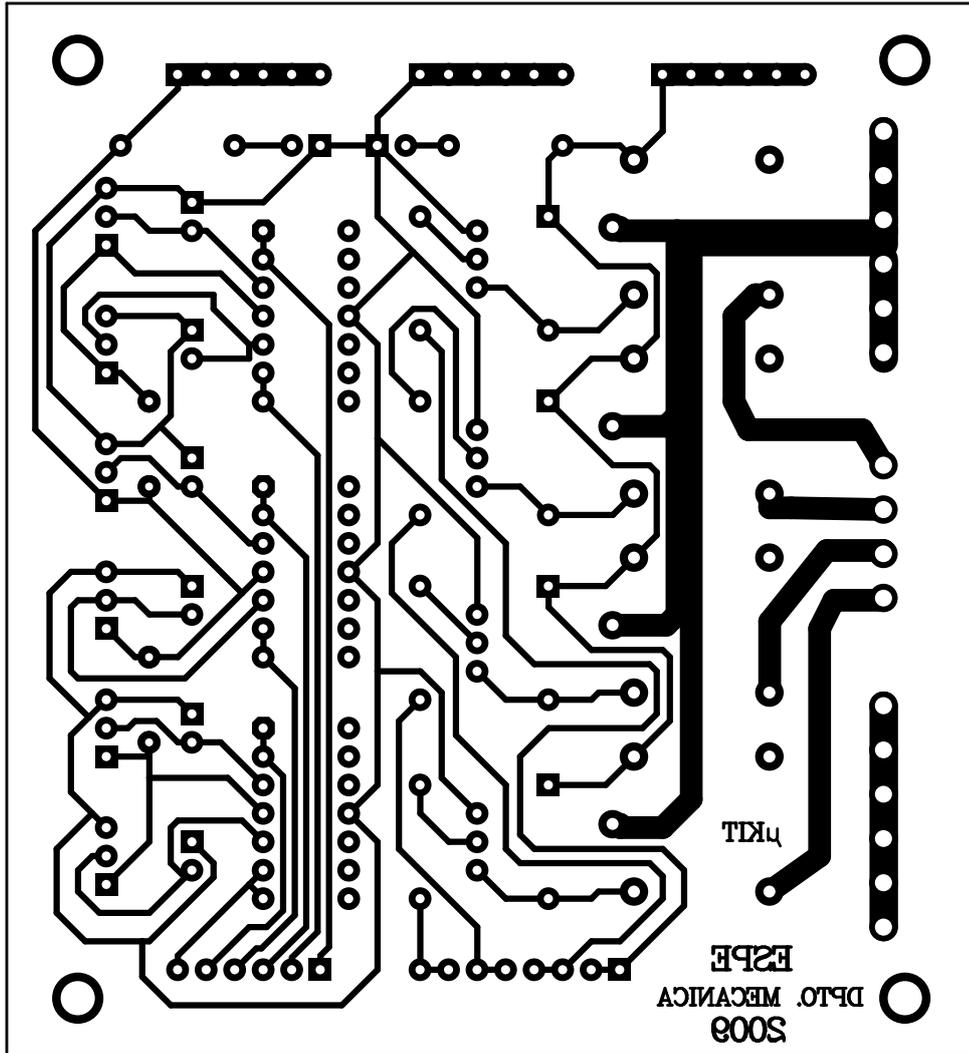


Figura 4.17 Cara posterior de la tarjeta

CAPITULO 5

AUTOMATIZACIÓN Y DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO AIRE – AGUA

El presente capítulo trata sobre la etapa electrónica para finalizar con la automatización del intercambiador de calor, y de esta manera obtener un equipo completamente automático. Se tratan temas de importancia como el software utilizado para la programación, aplicaciones, diseño del programa, programación, conexiones realizadas, tarjetas de acondicionamiento de señal.

La importancia de este capítulo se basa principalmente en el uso y la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos, así como también visualizar el funcionamiento por medio de la interfaz elemento electrónico – computadora y a su vez computadora – ser humano. El programa desarrollado en este capítulo debe satisfacer todas las opciones para controlar todos los elementos descritos en el capítulo anterior.

Además se muestra las soluciones a los problemas y dificultades presentadas en el proceso de automatización, entre otros aspectos importantes que permitieron el uso de la computadora para controlar finalmente el intercambiador de calor.

5.1 LABVIEW 8.5

El software LabVIEW es un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW utiliza la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas, además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentos VXI, GPIB y comunicación serie, análisis y guardado de datos, además también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

5.1.1 GENERALIDADES

A continuación se detallan generalidades del software LabVIEW que permitirá conocer de mejor manera el software de desarrollo utilizado para crear el programa de control del intercambiador de calor.

5.1.1.1 Que es LabVIEW

El software LabVIEW (sus siglas en inglés Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabVIEW permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos.



Figura 5.1 Software LabVIEW

5.1.1.2 Ventajas de LabVIEW

Algunas de las ventajas que proporciona el uso del software LabVIEW, son las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

5.1.1.3 Como trabaja LabVIEW

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VI), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Los VI tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente y además aceptan parámetros procedentes de otros VI's.

Cada VI utiliza un panel frontal y un diagrama de bloques. LabVIEW utiliza paletas para facilitar al usuario escoger las opciones de cada uno de los elementos disponibles para crear un VI.

5.1.1.3.1 Panel Frontal

El panel frontal es la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Se encuentra formado por una serie de botones, pulsadores, gráficos, arreglos, entre otros. Pueden estar definidos como controles o

indicadores indistintamente como lo desee el usuario. Los controles nos sirven para ingresar parámetros al VI y los indicadores se usan para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de operaciones.

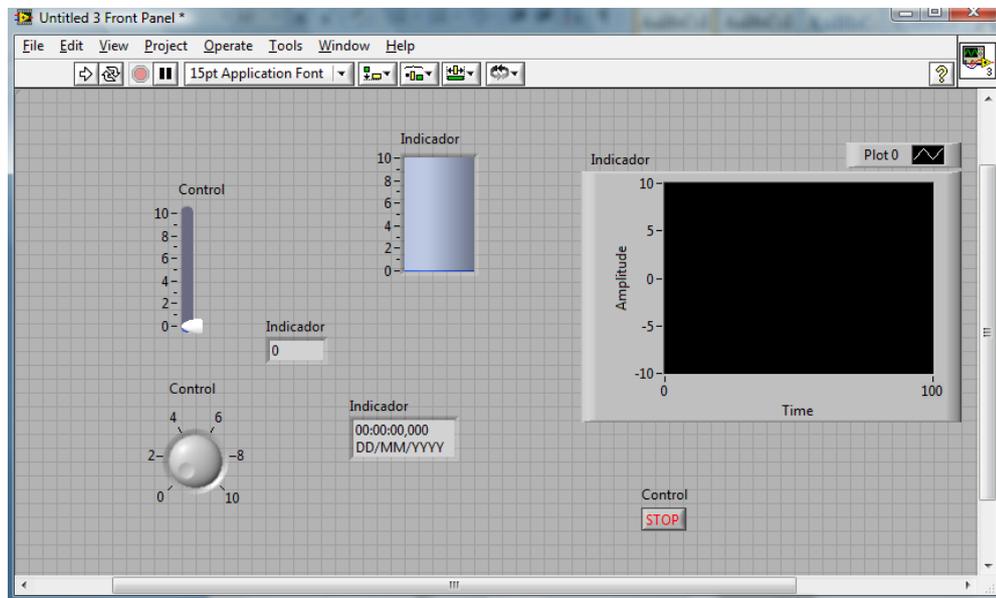


Figura 5.2 Panel Frontal

5.1.1.3.2 Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. Aquí se realiza la implementación del programa del VI para las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorporan las librerías de LabVIEW, los controles e indicadores que se colocaron previamente en el panel de control se materializan en el diagrama de bloques mediante terminales.

El diagrama de bloques se construye conectando entre sí los elementos añadidos anteriormente en el panel frontal, tal cual se tratara de un circuito. En los terminales de entrada y salida que se tienen en cada uno de los elementos, fluyen los datos.

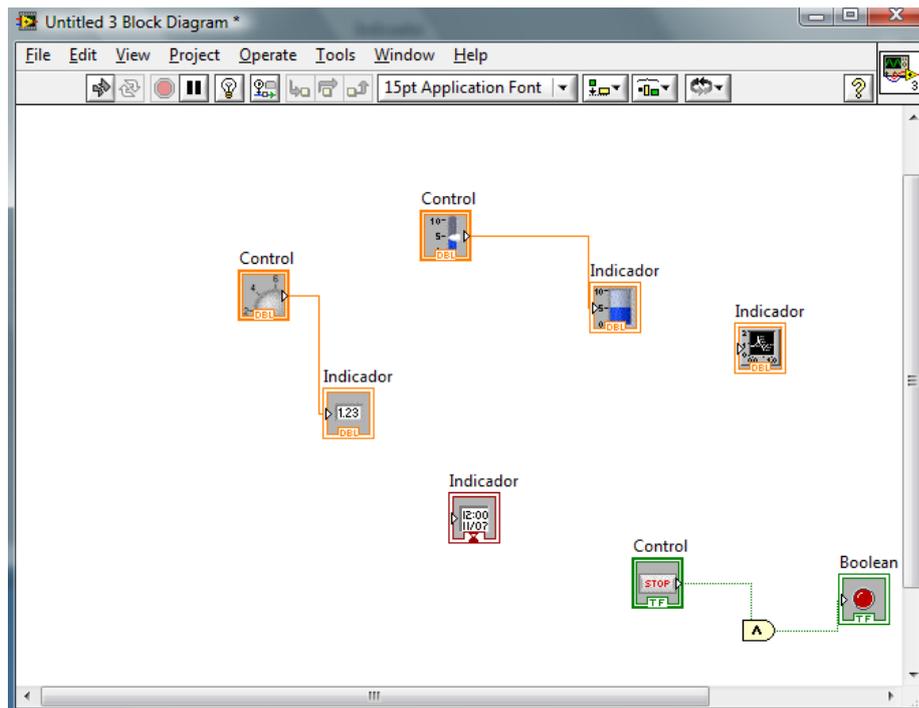


Figura 5.3 Diagrama de Bloques

5.1.1.3.3 Paletas

Las paletas de LabVIEW enseñan las herramientas requeridas para crear y modificar el panel frontal y el diagrama de bloques. Las paletas que se utilizan en LabVIEW se detallan a continuación.

5.1.1.3.3.1 Paleta de herramientas

Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.



Figura 5.4 Paleta de Herramientas

5.1.1.3.3.2 Paleta de controles

Se utiliza únicamente en el panel frontal. Esta paleta contiene todos los controles e indicadores que se emplearán para crear la interfaz del VI con el usuario. El submenú más utilizado es el de “Controls”, este posee las opciones que se utilizan con más frecuencia al programar un VI.

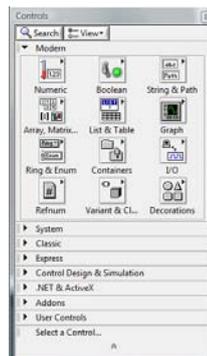


Figura 5.5 Paleta de Controles

5.1.1.3.3.3 Paleta de Funciones

Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI, ya sean funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, entre otras.

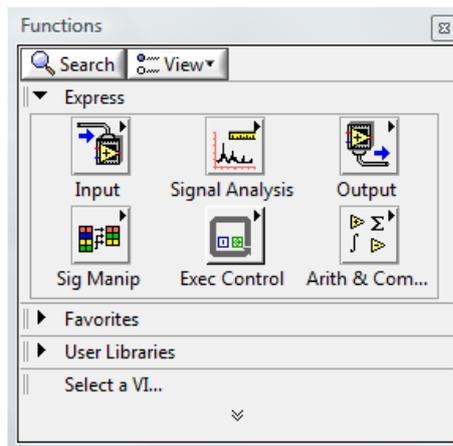


Figura 5.6 Paleta de Funciones

5.1.1.3.4 Programación en LabVIEW

Se comienza a programar en LabVIEW por medio del panel frontal. Como primer paso se debe definir y seleccionar todos los controles (entradas que dará el usuario) y los indicadores (salidas que presentará en pantalla el VI), que se emplearán para introducir los datos por parte del usuario y presentar en pantalla los resultados.

Una vez colocados todos los elementos en el panel frontal, se procede a la programación propiamente dicha con la ayuda del Diagrama de Bloques. En esta ventana se deben situar las funciones, estructuras, arreglos, conexiones que se requieran para el desarrollo del programa. Todos los terminales se unen por medio de cables, cuya opción se encuentra en la paleta de herramientas (figura 5.4).

5.2 PROGRAMACIÓN DE ELEMENTOS

Para realizar una programación exitosa, se decidió programar cada uno de los sensores y actuadores por separado. De esta manera, al final de programar todos los elementos, se pueden unir en una sola tarjeta de conexiones. De esta manera se optimiza el tiempo y se logra aprovechar al máximo todos los elementos. Las conexiones previas se realizaron en un protoboard, en esta etapa se conectó el circuito de los sensores de temperatura LM35 y las válvulas solenoides SV 3106.

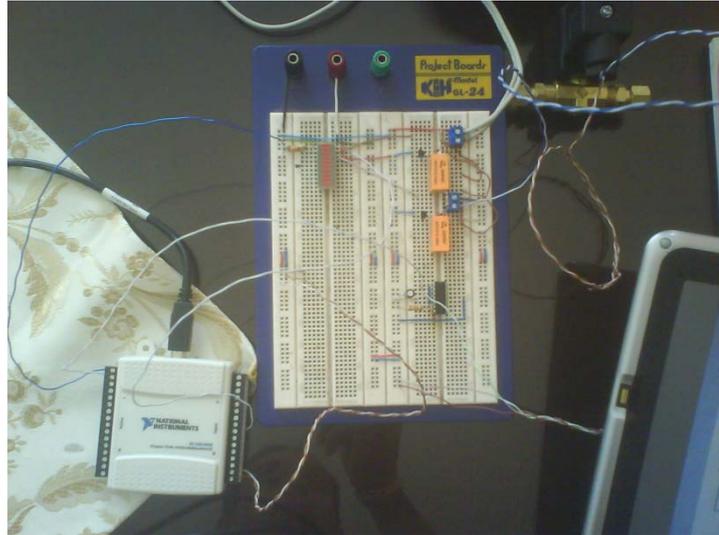


Figura 5.7 Conexiones para LM35 y SV3106

5.2.1 PROGRAMACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

Para los sensores de temperatura LM35, se realizó un mini circuito, que filtra la señal adquirida y además permite evitar ruidos al momento de adquirir los datos de este sensor.

El circuito que se muestra en la siguiente figura, muestra el cableado del sensor hacia la conexión de la tarjeta de adquisición de datos NI – USB 6008, además adicional al circuito se tuvo que realizar un programa en LabVIEW para adquirir los datos de temperatura.

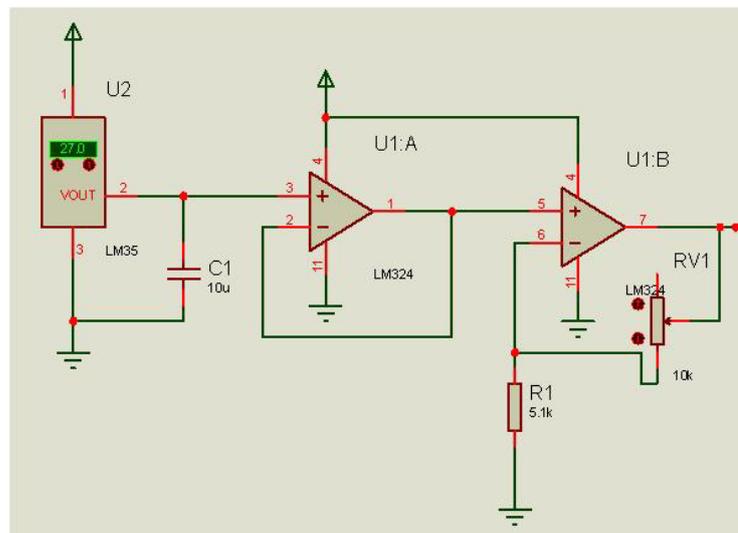


FIGURA 5.8 Diagrama de Conexiones Circuito LM35

Después de obtener el diagrama de conexiones de los sensores para el acondicionamiento de la señal, se procedió a realizar el VI en el software LabVIEW para poder realizar las pruebas de funcionamiento.

5.2.1.1 VI del Sensor de Temperatura

Para la programación del VI del sensor de temperatura, se tiene dos etapas. La programación del VI se realiza en la etapa del panel frontal y del diagrama de bloques.

El proceso de adquisición de datos se repite seis veces, puesto que son seis temperaturas las que se deben adquirir en el intercambiador de calor.

5.2.1.1.1 Panel Frontal para el LM35

El diseño del panel frontal del LM35 para su funcionamiento se lo realizó de la siguiente manera:

- Se procedió a realizar el panel frontal, para controlar la adquisición de datos del sensor de temperatura LM35 (figura 5.8).
- Se añadió dos indicadores, un indicador de barras en forma de termómetro y un indicador numérico.
- Un botón de “STOP”, que nos permite detener el proceso de la lectura de datos.



Figura 5.9 Panel Frontal VI del Sensor de Temperatura

En el indicador en forma de termómetro, da la idea de tener un termómetro censando los datos y permite que la interfaz del VI para el sensor de temperatura, sea más amigable con el usuario o responsable del control del sensor.

El indicador numérico nos muestra el valor real que el sensor LM35 se encuentra censando con los valores de precisión y apreciación del mismo. En el programa se logra mostrar los valores de la temperatura que se encuentra adquiriendo el sensor.

Luego de censar los datos el panel frontal del VI cambia los valores como se muestra en la siguiente figura.



Figura 5.10 Panel Frontal VI del sensor de la temperatura luego de toma de datos

5.2.1.1.2 Diagrama de Bloques para el LM35

La programación del diagrama de bloques se realizó de la siguiente manera:

- Luego de haber incorporado los elementos que forman parte del panel frontal, se introdujo un lazo “while” (while loop) en el diagrama de bloques.
- Se introdujo un ícono de “inicio de tarea de DAQmx”.
- Un lector de señales “lector DAQmx”.
- Un ícono de “detener tarea DAQmx”.
- Un “multiplicador” de señal.
- Un “temporizador”.

A continuación se detallaran las funciones de cada uno de los elementos que se utilizaron para la programación en el diagrama de bloques.

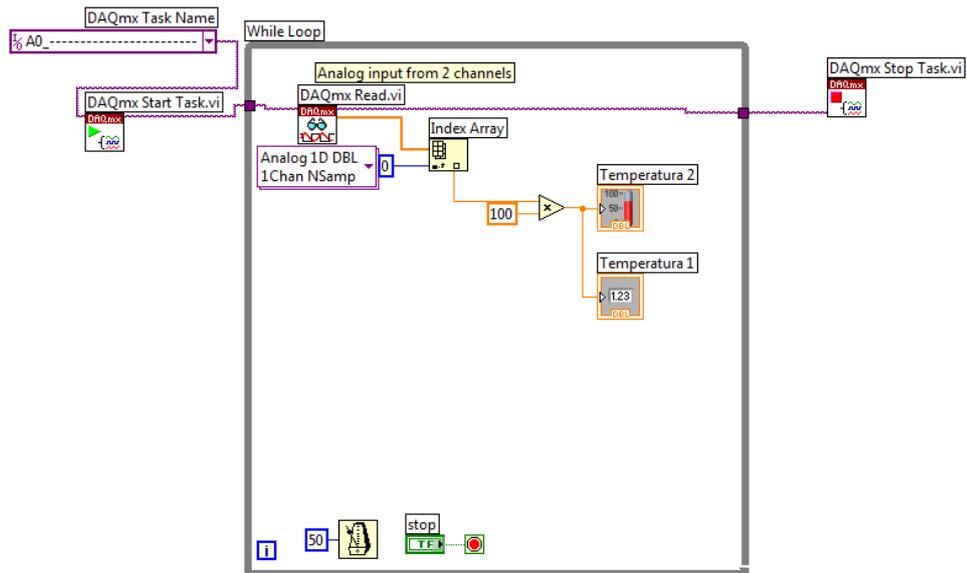


Figura 5.11 Diagrama de Bloques del Sensor LM35

5.2.1.1.2.1 Nombre de Tarea DAQmx

Esta opción permite asignar una determinada tarea para poder ubicarla y que el VI reconozca a que ubicación se refiere, de esta manera el sistema sabe que tarea se le asigna.

En este caso, la tarea asignada fue la de ubicar la entrada análoga A0. De esta manera se debe permitir la entrada de lectura de datos al momento de ingresar a la tarjeta de adquisición de datos.

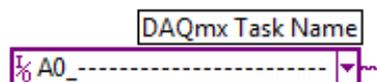


Figura 5.12 Nombre de Tarea DAQmx

5.2.1.1.2.2 Inicio de Tarea DAQmx

La opción de inicio de tarea DAQmx nos permite iniciar la tarjeta de adquisición de datos y recibir señales para traducirlos en valores de temperatura, presión,

tensión. Al momento que se inicia la tarjeta de adquisición de datos se inicia la programación del diagrama de bloques. En este caso, inicia el programa de temperaturas para adquirir los valores.

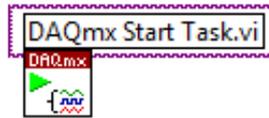


Figura 5.13 Inicio de Tarea DAQmx

5.2.1.1.2.3 Lazo “while” (while loop)

El lazo “while” permite repetir la o las operaciones, que se encuentren dentro del diagrama hasta un condicional terminal, reciba un valor Boleano particular. El valor boolean depende de la continuación de la repetición del lazo.

El lazo “while” permite repetir la cesión de instrucciones al interior hasta que se cumple una condición, en este caso hasta que el botón “STOP” sea presionado.



Figura 5.14 Lazo “while”

5.2.1.1.2.4 Leer DAQmx

Esta opción permite leer muestras de la tarea o canales virtuales, que se hayan especificado anteriormente. Ingresan valores a esta opción de tarea de entrada, tarea de salida, datos y datos escritos.

Para este caso se ingresa la tarea de entrada, que es la de iniciar la tarjeta de adquisición de datos y la inicio de medidas del sistema de temperaturas. En la figura se observa el ícono de esta opción y también muestra que la entrada análoga es desde 2 canales.

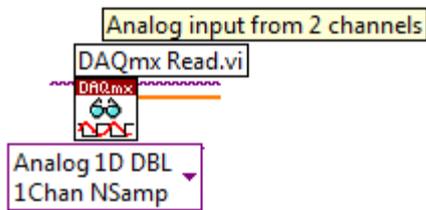


Figura 5.15 Leer DAQmx

5.2.1.1.2.5 Matriz de Índice

La opción de matriz de índice retorna el elemento o sub matriz de dimensión “n” al índice. Cuando se conecta una matriz a esta función, la función se vuelve a dimensionar automáticamente para mostrar los índices de entrada para cada dimensión en la matriz que se conectó a la matriz de dimensión “n”.

En la programación la matriz permite arreglar los valores cada momento que ingresan por parte del lazo “while”, ya que siguen ingresando valores hasta que se termine el lazo “while”.

Además esta función de matriz se encuentra ligada al temporizador que se colocó en el interior del lazo “while”.

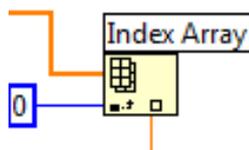


Figura 5.16 Matriz de Índice

5.2.1.1.2.6 Multiplicador

El multiplicador tiene la función de regresar el producto de los dos datos ingresados al multiplicador. Esto permite linealizar de mejor manera la señal obtenida por parte de la tarjeta de adquisición de datos. Los valores ingresados dependen directamente de las características del sensor, en este caso el LM35. En el capítulo anterior se dijo que el factor de escala lineal del LM35 era de $+10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, esto quiere decir que para linealizar la entrada del sensor al programa del VI se debe multiplicar por un valor de 100 para obtener una señal totalmente lineal. De esta manera se fija que el valor obtenido es lineal y directamente proporcional a la temperatura obtenida.

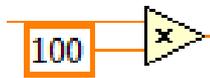


Figura 5.17 Multiplicador

5.2.1.1.2.7 Temporizador

El temporizador es una herramienta que se la usa principalmente en cualquier tipo de estructura de lazos, para que las operaciones dentro del lazo se repitan dependiendo del tiempo fijado por el temporizador.

En este caso se fijo un tiempo de 50 ms para que las operaciones del lazo "while", es decir la toma de datos de temperatura y el censo de las mismas se realice en un tiempo de 50 ms, cada repetición se tomarán datos.

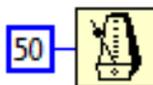


Figura 5.18 Temporizador

5.2.1.1.2.8 Detener Tarea DAQmx

Esta opción detiene las tareas programadas y las regresa al momento en que las opciones de Inicio de tarea DAQmx fueron iniciadas. En este caso particular esta opción detiene el lazo “while” y las tareas asignadas al momento de adquirir los datos de temperatura.

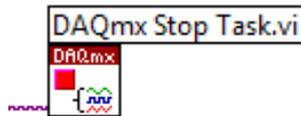


Figura 5.19 Detener Tarea DAQmx

5.2.2 PROGRAMACIÓN VÁLVULAS SOLENOIDES

En vista de que el voltaje de funcionamiento de las válvulas solenoides marca OMEGA, modelo SV3106 es de 110V y el voltaje de alimentación por parte del computador es de 5V; se decidió utilizar un circuito con relés que permiten que se trabaje con un circuito de 5V y uno de 110V al mismo tiempo. El circuito utilizado para el acondicionamiento de señal utilizando relés se muestra en la siguiente figura.

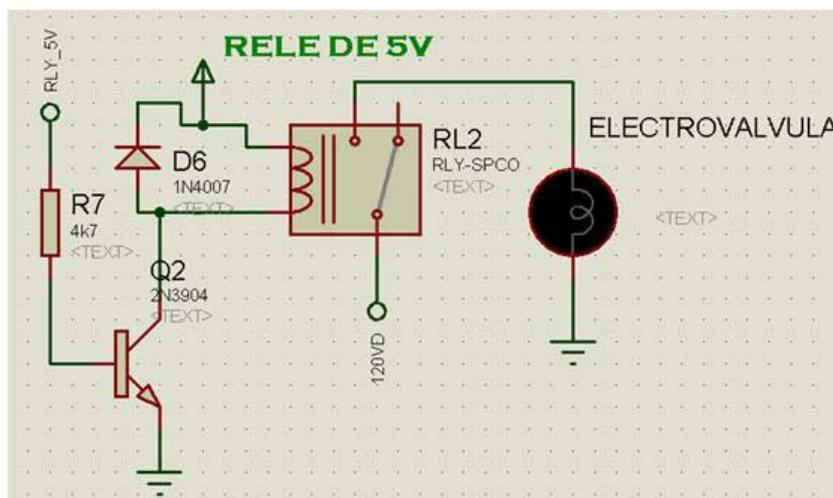


Figura 5.20 Diagrama de Conexión para válvula solenoide SV3106

5.2.2.1 VI de las Válvulas Solenoides

La programación de las válvulas solenoides se divide en dos etapas, al igual que la programación de los sensores de temperatura. Para este programa se debe tener en cuenta que se deben conectar en serie dos válvulas para el proceso de flujo paralelo y dos para el proceso de contra flujo.

5.2.2.1.1 Panel Frontal para las Válvulas SV3106

En el diseño del panel frontal para las válvulas solenoides se agregaron los siguientes elementos:

- Un tablero de fondo para la apariencia.
- Un selector vertical de palanca.
- Dos indicadores de LED redondo.
- Un botón “STOP” para detener el proceso.



Figura 5.21 Panel Frontal VI válvulas solenoides

El selector vertical de palanca nos permite seleccionar el modo de operación del equipo, es decir, si se desea utilizar el modo de flujo paralelo o contraflujo. Además esta interfaz permite que el usuario confirme el modo de operación por medio de los LED's redondos que se encienden, cuando un modo de operación se encuentra seleccionado. Cuando se escoge uno de los modos, se energiza

los circuitos antes conectados para su uso. Así se puede visualizar cual modo se encuentra trabajando y cuáles válvulas están energizadas.



Figura 5.22 Panel Frontal de válvulas solenoides en funcionamiento

5.2.2.1.2 Diagrama de bloques para las Válvulas SV3106

Luego del diseño del panel frontal para el control de las válvulas solenoides se agregaron los siguientes elementos en el diagrama de bloques:

- Se ingresó dos “escritor DAQmx”.
- Se introdujo un controlador lógico “no y”.
- Un lazo “while”.
- Además se colocó dos entradas de tareas o identificadores de canales, esto para ubicar las entradas digitales.

Se detallan a continuación los elementos utilizados en el diagrama de bloques para poder utilizarlos en el VI.

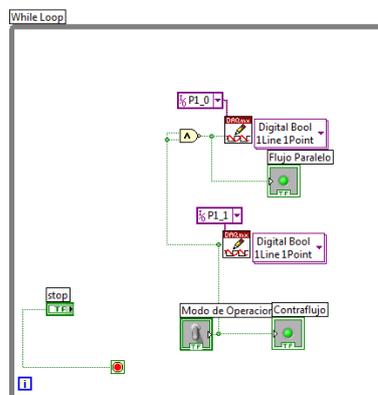


Figura 5.23 Diagrama de Bloques de las válvulas SV3106

5.2.2.1.2.1 Tarea/Canales de entrada DAQmx

Este elemento permite tener la ubicación desde la tarjeta de adquisición de datos, para poder hacer uso de las opciones en el diagrama de bloques. En este caso se utilizaron dos ubicaciones, que son salidas digitales para hacer funcionar las válvulas solenoides. Para esta aplicación se usaron los puertos P1_0 y P1_1.



Figura 5.24 Tarea/Canales de entrada DAQmx

5.2.2.1.2.2 Escritor DAQmx

Este elemento escribe las muestras de la tarea o de los canales virtuales que se especifican antes del proceso. Los instantes de este polimórfico VI especifica el formato de las muestras a escribir, ya sea de escribir una o múltiples muestras. De la misma manera ya sea para escribir en uno o múltiples canales.

Para el control de las válvulas solenoides, se necesita que se escriba solamente valores de 1 ó 0, ya que son salidas digitales. De esta forma, las válvulas solenoides pueden funcionar y hacer circular corriente para cerrar o abrir el circuito anteriormente detallado.

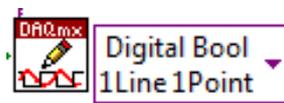


Figura 5.25 Escritor DAQmx

5.2.2.1.2.3 Controlador Lógico “No Y”

Este controlador lógico utiliza la lógica matemática y procesa la lógica “no y” de las entradas. Las dos entradas deben ser booleanas o valores numéricos. Si las dos entradas son VERDAD, la función regresa FALSO. De otra manera, regresa VERDADERO.

Este controlador nos sirve para negar al momento de utilizar el selector vertical de palanca, haciendo verdad las dos entradas, tenemos un valor de falso. De esta manera se puede lograr que el selector funcione para que las válvulas trabajen en las dos posiciones, normalmente abierta y normalmente cerrada, dependiendo del modo de operación del equipo.

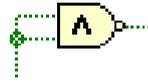


Figura 5.26 Controlador lógico “no y”

5.2.3 PROGRAMACIÓN DEL CAUDALÍMETRO

Para la programación del caudalímetro se utilizó la válvula proporcional. La válvula proporcional se abrirá ó cerrara de manera que se regula el flujo conforme aumenta la demanda del fluido. La válvula proporcional tendrá variaciones de 0 hasta 5 voltios.

El caudalímetro se utiliza para regular el flujo y mantenerlo constante a razón de 80 lt/min, con la ayuda de la válvula proporcional se permite la variación de la apertura de la válvula, así se controla que el flujo en la práctica sea constante para la toma de datos.

5.2.3.1 VI del Caudalímetro

El Caudalímetro se encuentra al final de la tubería y se encarga de la medición del caudal en todo el sistema. Al momento que la medición del caudal disminuye o aumenta, ingresa al funcionamiento la válvula proporcional.

Para el control de este elemento se utilizó una simulación de un tanque de agua, el cuál por medio del tiempo se llena o vacía dependiendo del valor de voltaje que se le entregue a la válvula proporcional.

5.2.3.1.1 Panel Frontal para el Caudalímetro

Para el panel frontal de este elemento se utilizó:

- Tanque de llenado
- Indicador de nivel del tanque
- Indicador de nivel máximo de flujo
- Indicador de nivel mínimo de flujo
- Indicador de tiempo transcurrido
- Indicador de voltaje de la válvula proporcional
- Cuadro gráfico para entrada de flujo
- Cuadro gráfico para historial de nivel del tanque



Figura 5.27 **Indicador de Caudal**

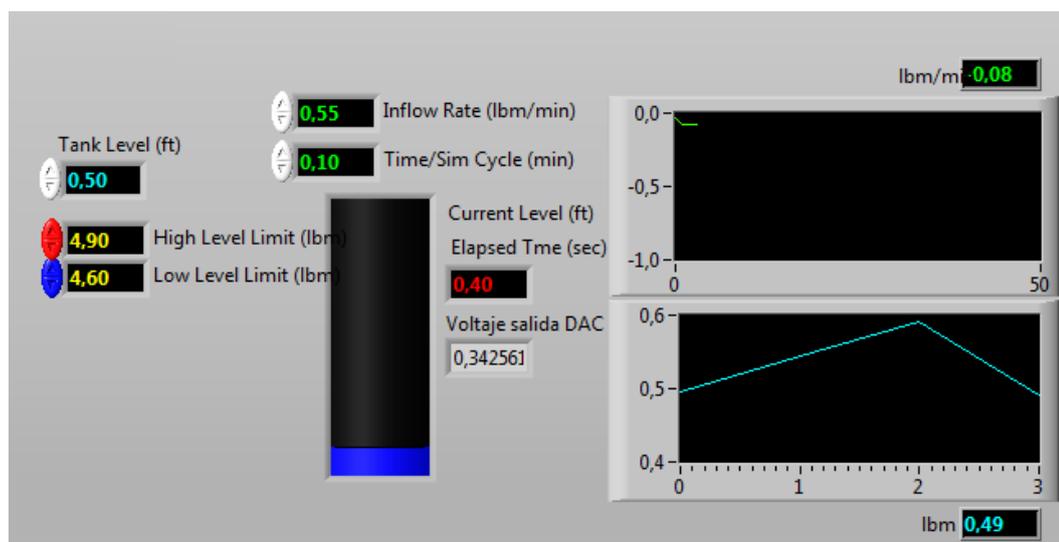


Figura 5.28 **Simulación de Tanque para el control de Caudal**

El tanque del panel frontal permite el control del caudal por medio de la variación de voltaje en la válvula proporcional. Al variar los valores en los indicadores de nivel máximo y nivel bajo, se logra cerrar o abrir la válvula proporcional, de esta manera el caudal es censado por el sensor.

Los cuadros gráficos muestran el tiempo de respuesta del sensor de caudal y de la válvula proporcional.

5.2.3.1.2 Diagrama de Bloques del Caudalímetro

Para el diagrama de bloques del caudalímetro se ingresaron los siguientes elementos:

- Número Aleatorio (0 – 1)
- Multiplicador
- Negación
- Suma
- Cociente y Residuo
- Tiempo Transcurrido
- Tiempo/Ciclo de simulación
- VI de Temperatura
- VI de Nivel
- VI de Promedio
- Selector
- VI de Cambio de Estado Booleano
- VI Actualizador de Voltaje

5.2.3.1.2.1 Número Aleatorio

Produce un número o punto flotante de doble precisión entre 0 y 1. El número generado es mayor a o igual a 0, pero menor a 1. La distribución es uniforme.



Figura 5.29 Número Aleatorio

5.2.3.1.2.2 Multiplicador

El multiplicador tiene la función de regresar el producto de los dos datos ingresados al multiplicador.



Figura 5.30 Multiplicador

5.2.3.1.2.3 Negación

Esta tarea niega la opción de entrada al negador.



Figura 5.31 Negación

5.2.3.1.2.4 Suma

Procesa la suma entre las entradas.

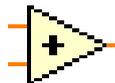


Figura 5.32 Suma

5.2.3.1.2.5 Cociente y Residuo

Procesa el cociente y residuo entero de las entradas al operador lógico.

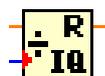


Figura 5.33 Cociente y Residuo

5.2.3.1.2.6 Tiempo Transcurrido

Es el tiempo transcurrido en segundos después de cada minuto de conteo.



Figura 5.34 Tiempo Transcurrido

5.2.3.1.2.7 Tiempo/Ciclo de Simulación

Es la duración de un ciclo de simulación.



Figura 5.35 Tiempo/Ciclo de Simulación

5.2.3.1.2.8 VI de Temperatura

Es un subVI que permite utilizar el tanque. Utiliza una ley de transferencia de calor muy simple para calcular la temperatura de un fluido determinado. El usuario debe ingresar los valores de masa y temperatura del fluido inicial, el caudal y la temperatura del fluido inicial, la tasa de transferencia de calor y el tiempo transcurrido de flujo. La nueva temperatura es igual al total de calor presente, dividido para el total de masa del fluido.

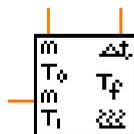


Figura 5.36 VI de Temperatura

5.2.3.1.2.9 VI de Nivel

Este es un subVI para el programa del tanque. Calcula y muestra la cantidad de flujo como una función de razón y tiempo. El nuevo nivel es igual a la taza de flujo de masa por el tiempo transcurrido de flujo, más el nivel inicial.

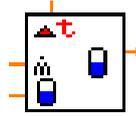


Figura 5.37 VI de Nivel

5.2.3.1.2.10 VI de Promedio

Este es un subVI para el control del tanque. Este elemento devuelve el promedio de un conjunto de valores.

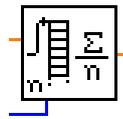


Figura 5.38 VI de Promedio

5.2.3.1.2.11 Selector

Regresa el valor ya sea conectado a las entradas "t" o "f", dependiendo de los valores de "s". Si "s" es VERDADERO, el controlador devuelve el valor conectado a "t". Si "s" es FALSO, el controlador devuelve el valor conectado a "f".

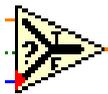


Figura 5.39 Selector

5.2.3.1.2.12 VI de Cambio de Estado Booleano

Este es un subVI para el VI de simulación del tanque, que demuestra la aritmética booleana. En este se ingresa un número actual y los límites alto y bajo. Si el número actual se encuentra dentro de los límites, alto y bajo, la salida de nuevo estado tendrá el mismo valor del número actual. Si el número actual se encuentra fuera de los límites, entonces la salida del nuevo estado será falsa.

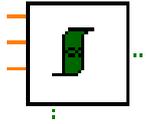


Figura 5.40 VI de cambio de estado booleano

5.2.3.1.2.13 VI Actualizador de Voltaje

A continuación se detalla el actualizador de voltaje:

Este demuestra cómo se obtiene una salida simple de voltaje (muestra) a un canal de salida análoga.

Para correr el programa se selecciona el canal físico en el que corresponda la salida en el dispositivo DAQ, luego se ingresan los valores de rango de mínimo y máximo voltaje.

De esta manera se logra actualizar el voltaje de salida para obtener el valor de voltaje que utiliza la válvula proporcional y de esta manera se logra visualizar la salida obtenida en un determinado tiempo.



Figura 5.41 VI Actualizador de Voltaje

5.2.4 PROGRAMACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN

El sensor de presión obtiene los datos de presión diferencial y presión absoluta de un punto determinado del Intercambiador de Calor.

Con la ayuda de este sensor podremos ubicar los datos obtenidos de la presión de aire al momento que varía la temperatura del aire. Debido a que las propiedades del aire cambian con el proceso de intercambio del calor al influir parámetros como humedad, cambio de temperatura, presión.

5.2.4.1 VI del Sensor de Presión

El sensor de presión de aire se encuentra situado en la parte media inferior del intercambiador de calor, facilitando la conexión con las dos entradas de aire que se tienen para las medidas. Dependiendo del flujo de aire dado por el motor eléctrico y por la temperatura de la resistencia eléctrica, el aire cambiará sus propiedades. De esta manera, el sensor de presión de aire censará los datos que se necesiten.

5.2.4.1.1 Panel Frontal para el Sensor de Presión

En el panel frontal para el sensor de presión se utilizó:

- Cuadro de diálogo para ingresar datos.
- Cuadro de datos para recibir la presión absoluta
- Cuadro de datos para recibir la diferencia de presión

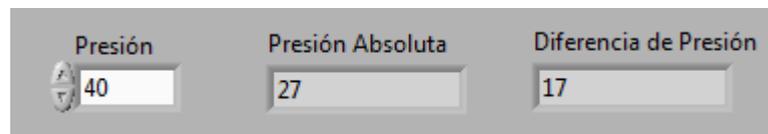


Figura 5.42 Datos del Sensor de Presión

5.2.4.1.2 Diagrama de Bloques del Sensor de Presión

En el diagrama de bloques del sensor de presión se ingresaron los elementos:

- Nodo de Fórmula

5.2.4.1.2.1 Nodo de Fórmula

El cuadro de nodo de fórmula permite evaluar expresiones matemáticas y aritméticas en el diagrama de bloques. Algunas de las funciones que se encuentran permitidas en la Carrera son: abs, sin, cos, tan, hsin, hcos, htan, entre otras.

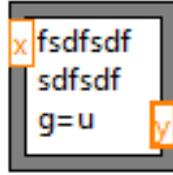


Figura 5.43 Nodo de fórmula

CAPITULO 6

ENSAMBLE DEL EQUIPO É IMPLEMENTACIÓN

Para poner en funcionamiento el Intercambiador de Calor de Flujo Aire – Agua se debe proceder al ensamble del mismo, así como también el inicio de la implementación del programa de control.

Como se detalla en el capítulo anterior la interfaz usuario – máquina se encuentra terminada y lista para conectarse con los actuadores, sensores y demás elementos electrónicos utilizados para completar el proceso de automatización.

La fase del ensamble del equipo y de la implementación del sistema se podrá explicar en diferentes partes, de manera que se logre explicar detalladamente la puesta en marcha del equipo.

6.1 ENSAMBLE DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

La primera etapa de ensamble del Intercambiador de Calor se rige directamente al ubicar el equipo en un lugar de fácil acceso para el estudiante, además de suficientes elementos de conexión eléctrica necesarios para el funcionamiento del equipo.

El ensamble del Intercambiador de Calor es el paso más importante, ya que es la base y guía de ubicación de los elementos restantes que forman parte de la automatización.

Para el ensamble del Intercambiador de Calor se siguió los siguientes pasos:

6.1.1 ENSAMBLE DE LA BASE DE MADERA

La base de madera se colocó en la pared, fijada con tacos y tornillos para mantener al intercambiador en su sitio al momento de utilizar el equipo. Se

decidió ubicar la base directamente a la pared para de esta manera tener una mayor área de contacto al momento de soportar el peso del Intercambiador de Calor.



Figura 6.1 Base de Madera

6.1.2 ENSAMBLE DEL TRAMO DE TUBOS CONCENTRICOS

El Intercambiador de Calor de flujo Aire – Agua posee tres tramos, en los cuáles se da la transferencia de calor. Se procedió a montar el tramo central del Intercambiador de Calor.

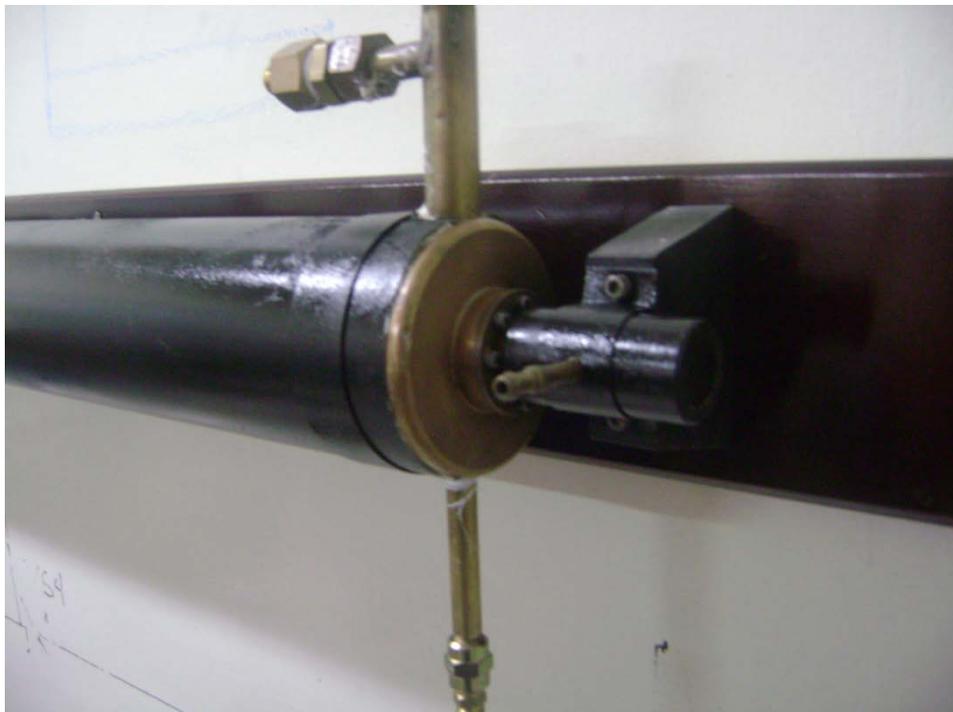


Figura 6.2 Ensamble del tramo central

Luego de ubicar el tramo central en la pared, se procede a ubicar los dos tramos en la base de madera. Posterior a esto se procede a ensamblar los dos elementos restantes del Intercambiador de Calor. Como se muestra en la figura el Intercambiador de Calor se encuentra ensamblado totalmente.



Figura 6.3 Ensamble Completo del Intercambiador de Calor

6.1.3 ENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Existen dos elementos eléctricos en el proyecto que necesariamente deben ser fijados a la pared. Estos elementos complementan las funciones en el momento final.

6.1.3.1 Motor Eléctrico

El motor eléctrico se debe fijar de tal manera que se encuentre conectado a la entrada del aire. Para la fijación y montaje del motor eléctrico se utilizaron pernos de expansión, los cuáles aseguran al motor eléctrico.



Figura 6.4 Motor eléctrico y pernos de expansión

6.1.3.2 Panel de Control

El panel de control, al igual que el motor eléctrico, se fijó con pernos de expansión que soportaban la carga ejercida por el peso del mismo.



Figura 6.5 Tornillo de expansión

Luego de fijar los elementos eléctricos, la parte controlada manualmente se puede visualizar en la siguiente figura.



Figura 6.6 Elementos Eléctricos

6.1.4 ENSAMBLE DE SENSORES

Para la ubicación de los sensores que se utilizan en el proyecto, se realizó un bosquejo a mano alzada en el que constaban las ubicaciones de los sensores de temperatura, sensor de caudal y el sensor de presión.

6.1.4.1 Sensores de Temperatura

Para la medición de las temperaturas, se debían ubicar los sensores de temperatura en los sitios de medición. Los sensores de temperatura ubicados en la entrada y salida de aire en la tubería, se ubicaron teniendo en cuenta la ubicación anterior de las Termocuplas. Se puede apreciar en la siguiente figura la ubicación de los sensores de temperatura.

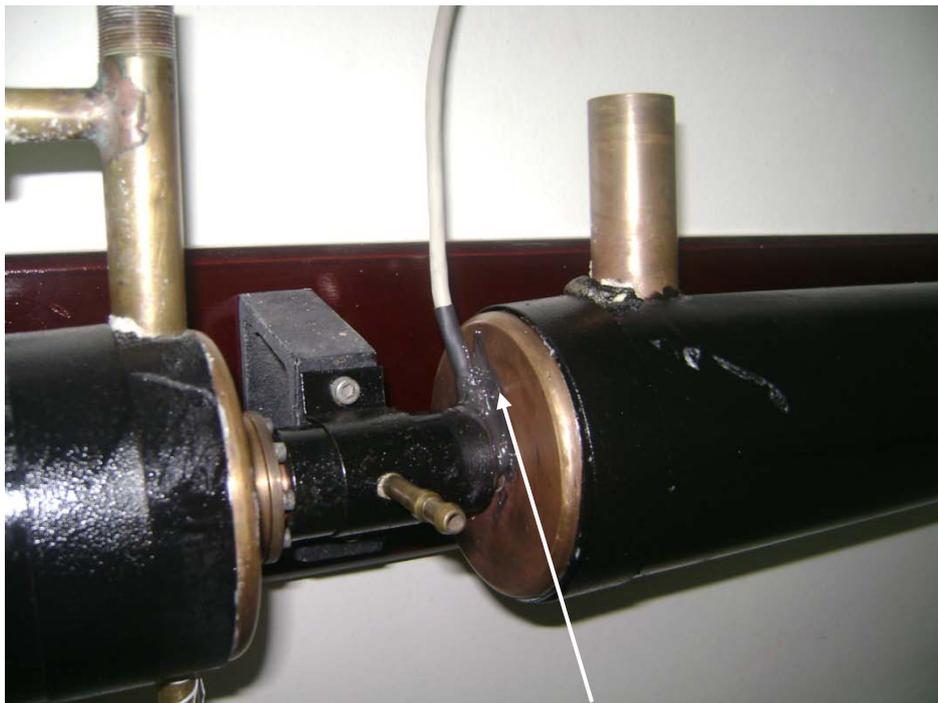


Figura 6.7 Ubicación de los sensores de temperatura a la entrada y salida de tubería

Se ubicaron dos sensores de temperatura para la entrada y salida del aire antes de ingresar al tubo principal del Intercambiador de Calor. Los sensores

de temperatura deben estar ubicados de manera que no se encuentren en contacto con ninguna superficie metálica interna, sobre todo del Intercambiador de Calor, para poder censar la temperatura del aire solamente.



Figura 6.8 Sensores de temperatura a la entrada y salida del aire

Se colocaron dos sensores de temperatura para censar la temperatura del agua a la entrada y salida de la tubería de agua, dependiendo del tipo de flujo empleado en la práctica. Para hermetizar el flujo de agua en el interior del Intercambiador de Calor, se fabricó un capuchón de cobre. Este capuchón fue diseñado para poder proteger al sensor de temperatura LM35. En vista del coeficiente de conductividad térmica del cobre $k = 386 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, este valor es alto, y el tiempo de estabilización del sistema son diez minutos como mínimo, el cobre llega al equilibrio térmico en menor tiempo por medio del fenómeno de conducción térmica. De esta manera el sensor ubicado al interior del capuchón de cobre censa la temperatura a la que el fluido, en este caso agua, se encuentra ingresando o saliendo dependiendo del tipo de flujo que se utilice en ese momento.



Figura 6.9 Sensores de Temperatura al interior del capuchón de cobre

6.1.4.2 Sensor de Caudal

El sensor de caudal o caudalímetro se ubico al final del proceso. Se tomó en cuenta el proceso de medición del caudal del proceso previo al de automatización. El caudal que se tiene al final de la tubería, es igual al de la tubería a lo largo del mismo; esto sin tener variaciones de presión significativas. El sensor de caudal se encuentra ubicado sobre una base de madera, y esta se encuentra fijada a la pared.



Figura 6.10 Sensor de Caudal ensamblado

6.1.4.3 Sensor de Presión

En vista de su pequeño tamaño, el sensor de presión de aire permite ubicarlo en cualquier sitio del intercambiador de calor. Se decidió ubicarlo en la mitad inferior del Intercambiador de Calor ya que se distribuye de manera equitativa el uso de manguera para las conexiones de entrada de aire.

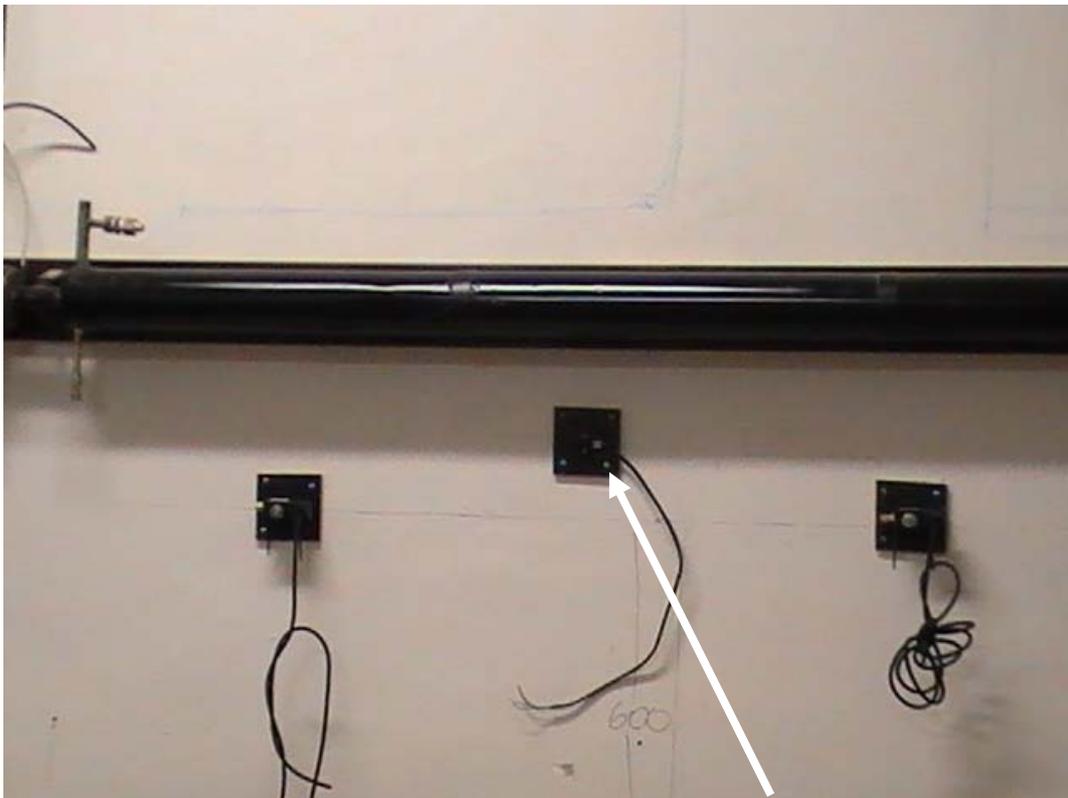


Figura 6.11 Ubicación del sensor de presión

6.1.5 ENSAMBLE DE LOS ACTUADORES

El proceso de automatización no estaría completo sin la utilización de actuadores. El proyecto se caracteriza por utilizar dos tipos de actuadores: válvulas solenoides y una válvula proporcional. Estos elementos permiten controlar el sentido de flujo de agua, así como también la cantidad de fluido que deseamos que pase por los conductos.

6.1.5.1 Válvulas Solenoides

La distribución escogida para las válvulas solenoides fue una distribución en "X". Es decir, dos válvulas solenoides se abren y dos se cierran ubicadas en 4 puntos diferentes del Intercambiador de calor.

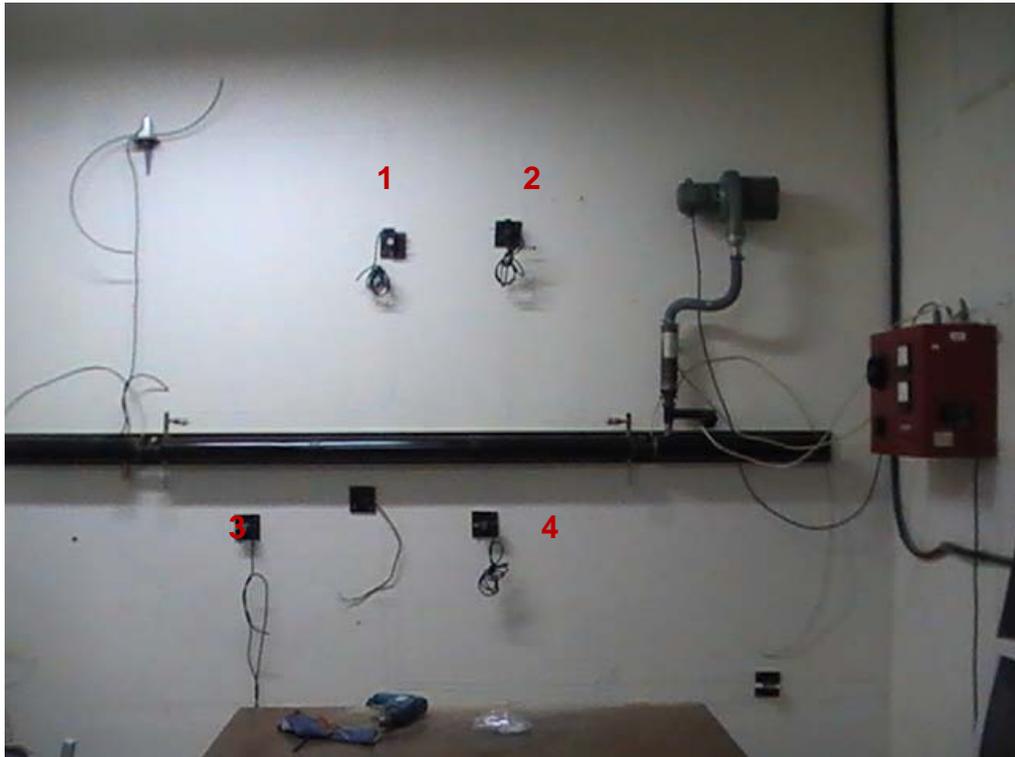


Figura 6.12 Distribución de Válvulas Solenoides

Las válvulas 1 y 4 se abren para trabajar en contraflujo, mientras que las válvulas 2 y 3 permanecen cerradas. Para trabajar en flujo paralelo, las válvulas 2 y 3 se abren y las válvulas 1 y 4 se cierran para restringir el flujo.

Para fijar las válvulas se construyeron soportes de madera, en los cuáles se fijaron las válvulas para poder ubicarlas sobre la pared. Cabe recalcar que al momento de ubicar las válvulas sobre la pared, se necesita identificar el sentido de flujo para cada válvula.

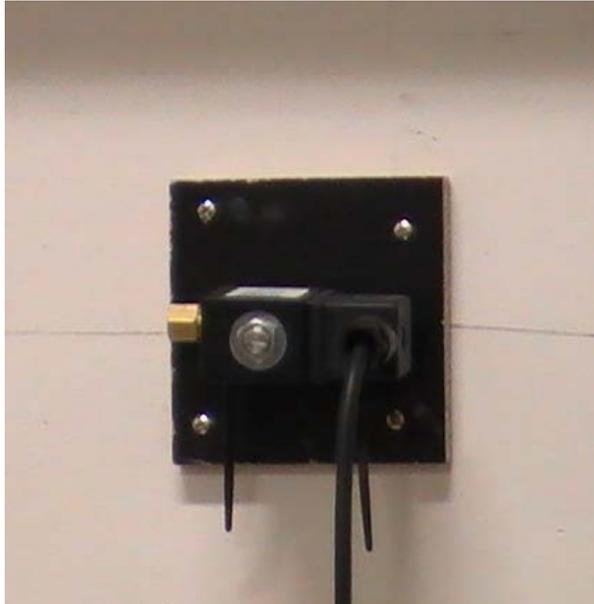


Figura 6.13 Soporte fijo de válvulas solenoide

6.1.5.2 Válvula Proporcional

Para la válvula proporcional se tuvo en cuenta la posición necesaria de la válvula proporcional. La válvula proporcional modelo FSV – 15 no podía ubicarse de cualquier manera, y se debía ubicar de manera vertical, como se muestra en la figura 6.13.



Figura 6.14 Válvula Proporcional en posición vertical

En la figura 6.13 se muestra la manera de fijar la válvula proporcional. Se utilizó una “L” para poder ubicar la válvula de manera fija y que permita el flujo de agua en sentido horizontal.

6.2 CONEXIÓN DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS

Para la conexión de las tarjetas electrónicas se tuvo en cuenta que se necesitaba una fuente de poder, que genere 5 V y 12 V. La fuente más recomendable es una fuente de poder de computadora. Adicional a esto, se tenía en cuenta que se iba a trabajar con la tarjeta de acondicionamiento de señal y con el módulo de control de la válvula proporcional.

Para ubicar estos tres elementos se decidió construir una caja en la que se encuentren los tres módulos e ingrese todo el sistema de cableado y obtener un solo punto de conexión.

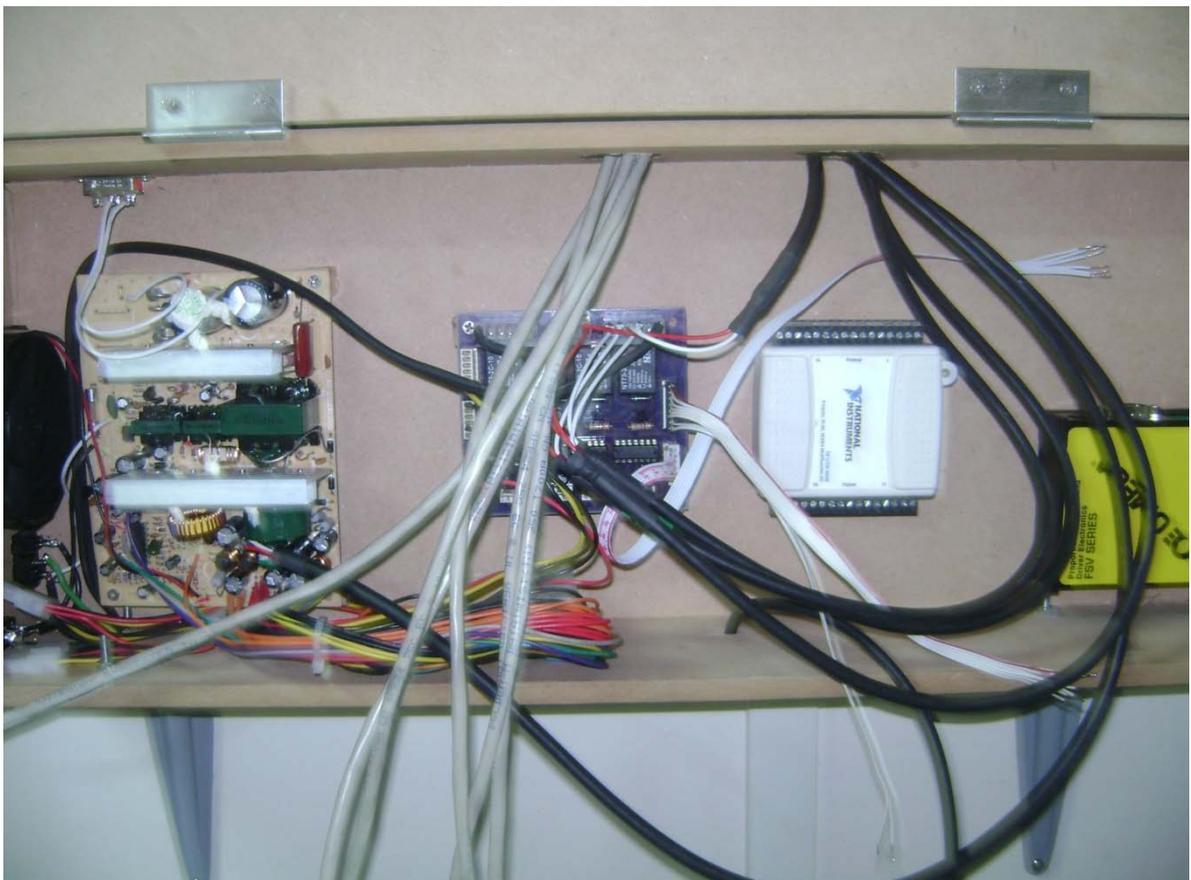


Figura 6.15 Caja con elementos electrónicos

6.3 INSTALACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El programa de control y adquisición de datos se desarrollo con el software LabVIEW 8.5 y el programa fue desarrollado con varios VI, que se complementan unos a otros para poder controlar los elementos anteriormente nombrados.

Para la instalación simplemente se lo realiza por medio de un doble clic en el acceso directo del programa.

Uno vez abierto se procede a iniciar la tarjeta de acondicionamiento de señal, de esta manera se logra que no existan errores al momento de operar el sistema.

En la figura 6.15 se muestra la pantalla del programa al momento de iniciar el sistema de control y adquisición de datos.

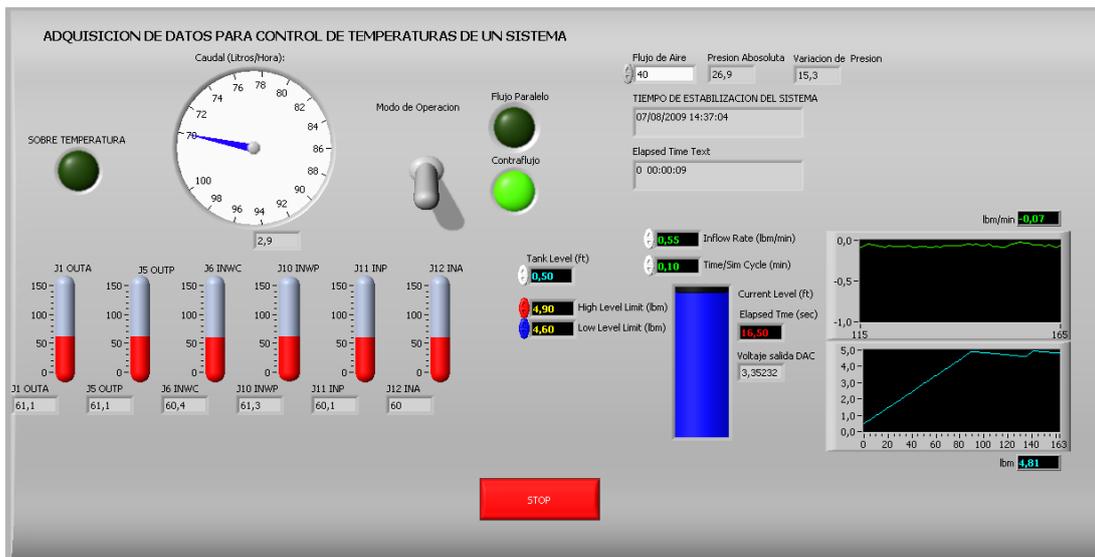


Figura 6.16 Pantalla de control del programa

6.4 CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Para la calibración del sistema se tuvo en cuenta ciertos parámetros de calibración tales como:

- El sistema se encuentre sin fugas de agua
- El flujo de agua sea estable en la acometida de agua
- Las temperaturas de los sensores no sobrepasen los 150°C

Luego de tener en cuenta estos parámetros se procede a la calibración del equipo. Para la calibración de los sensores de temperatura una vez iniciado el equipo se procedió a medir las temperaturas que tenían todos los sensores con el equipo en reposo. Luego se procede a verificar las fugas de agua en el sistema.

La presión debe ser reducida mediante la llave de bola ubicada antes de la válvula proporcional; de esta manera se logra unificar el fluido para que sea controlado por el caudalímetro y por la válvula proporcional. La válvula de bola no debe pasar la posición máxima como se muestra en la figura.



Figura 6.17 Posición de válvula de bola

CAPITULO 7

PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

A continuación se presentan las pruebas realizadas al equipo una vez terminado el mantenimiento y calibrado el sistema de automatización, las pruebas realizadas tienen parámetros similares a los de las pruebas realizadas antes del mantenimiento, de esta manera se podrá comparar los datos de temperaturas, tiempos de operación y así demostrar la mejora del funcionamiento del equipo. En las pruebas realizadas a continuación los intervalos tiempo para la toma de datos fueron de 10 minutos a diferencia de las anteriores medidas en donde los intervalos de tiempo fueron de 15 minutos. Esta diferencia en los tiempos fue tomada en cuenta, ya que el sistema de automatización permite una medición más precisa y rápida que el adquirir los datos por medio de los instrumentos anteriormente ocupados en el equipo.

Por otro lado se consideró que al momento de realizar el mantenimiento, reemplazar los elementos aislantes y evitar que existan fugas de agua y pérdidas de calor en las tuberías de intercambio, como en las corazas de protección del intercambiador, la transferencia de calor se vería afectada de una manera positiva para el fenómeno de transferencia de calor.

7.1 PRUEBA EN FLUJO CONTRACORRIENTE

Tabla 7.1 Datos de prueba final del equipo en contraflujo

A	4	4	4	4	5	5	5	5
flujo de aire	40	50	60	70	40	50	60	70
Salida de aire	26,2	31,5	31,5	31,5	34,6	38,6	38,6	38,6
Salida del tubo	18,2	20,2	19,2	19,2	20,2	21,3	21,3	21,3
inwc - outwp	17,5	20,5	22,6	19,5	19,5	23,6	22,6	23,6
inwp - outwc	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
Entrada tubo	22,4	25,5	24,4	24,4	26,5	30,6	29,5	29,5
Entrada de Aire	26,3	39,6	43,7	42,6	41,6	54,9	59	57,9
dp(mmH2O)	12	24	40	51	13	25	36	49
P	25	54	83	120	31	57	85	117

A	6	6	6	6	7	7	7	7
flujo de aire	50	60	70	80	50	60	70	80
Salida de aire	47,8	49,9	47,8	47,8	60,1	63,1	62,1	51,9
Salida del tubo	19,2	18,2	17,2	17,2	21,3	22,3	23,3	23,3
inwc - outwp	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
inwp - outwc	23,5	24,5	24,5	23,5	27,6	30,7	31,7	31,7
Entrada tubo	34,6	36,7	35,7	35,7	43,8	47,9	47,9	46,9
Entrada de Aire	55,9	67,1	68,2	67,1	68,2	84,5	86,5	86,5
dp(mmH2O)	15,3	29,5	43,6	57,7	15,3	29,5	43,6	57,7
P	26,9	55,8	86,9	120	26,9	55,8	86,9	120

FM H2O [Kg/h]	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92
QH2O, Qaire [KJ/h]	0,00	668,48	1003,16	835,96	334,39	1003,16	1671,93	1504,73	1337,54	1671,93	2006,31	1839,12	2708,52	3745,12	4079,50	4079,50
Tm agua [°C]	19,5	20,5	21	20,75	20	21	22	21,75	21,5	22	22,5	22,25	23,55	25,1	25,6	25,6
FM aire [Kg/h]	0,00	110,86	98,83	81,55	83,18	109,69	126,03	105,44	164,31	96,72	97,86	94,82	332,72	174,13	166,36	117,32
Re aire	0,00	9274,04	8497,90	7304,43	7421,32	9200,35	10194,76	8929,70	12267,98	8357,52	8433,51	8229,43	18557,95	12749,81	12370,24	9673,58
Pr aire	0,6655	0,8216	0,7945	0,7651	0,7616	0,7945	0,8213	0,7856	0,8834	0,7493	0,7523	0,7481	1,1428	0,8482	0,8341	0,7625
Tm aire °C	31,45	37,6	39,65	38,6	41,5	48,25	49,3	48,8	51,85	58,5	58	57,45	64,15	73,8	74,3	69,2
u aire [kg/m.h]	0,0635	0,0799	0,0777	0,0746	0,0749	0,0797	0,0826	0,0789	0,0895	0,0773	0,0776	0,0770	0,1198	0,0913	0,0899	0,0811
k aire [KJ/h.m.°K]	95,96	97,73	98,32	98,02	98,86	100,80	101,10	100,96	101,84	103,75	103,61	103,45	105,38	108,16	108,30	106,83
MLDT aire-agua °K	11,95	16,78	17,86	17,07	21,40	26,80	26,26	25,94	29,94	35,35	33,80	33,69	40,06	46,82	46,31	39,03
MLDT aire-tubo °K	9,488	15,148	16,797	15,746	17,173	21,194	23,383	22,898	24,771	31,045	31,540	30,998	31,045	38,662	38,700	33,802
MLDT tubo-H2O °K	3,859	5,960	5,960	5,642	6,430	7,759	9,682	8,267	8,598	10,853	11,813	11,493	13,334	16,418	16,418	16,070
ha (KJ/hm2°C)	0,00	199,29	269,71	239,76	87,93	213,75	322,90	296,77	243,85	243,20	287,27	267,93	393,99	437,46	476,05	545,02
ho (KJ/hm2°C) práctico	0,00	164,74	232,36	202,56	64,62	154,84	263,36	239,96	184,75	195,64	245,52	225,77	279,68	330,81	364,31	432,28
ho (KJ/hm2°C) teórico	0	130,99	182,32	161,66	58,59	143,30	209,14	199,70	165,79	165,05	191,41	179,02	252,43	281,22	306,12	338,32
hw	0,0	463,9	696,2	612,8	215,1	534,7	714,2	752,8	643,4	637,2	702,5	661,9	840,1	943,5	1027,7	1050,0
ha1	0,0	182,5	247,0	219,6	80,5	195,8	295,7	271,8	223,3	222,7	263,1	245,4	360,8	400,6	436,0	499,2
Nu aire	0,0	0,0388	0,0523	0,0466	0,0169	0,0404	0,0608	0,0560	0,0456	0,0447	0,0528	0,0493	0,0712	0,0770	0,0837	0,0972
Ch [KJ/h°C]	0,0	111,4	99,3	82,0	83,6	110,2	126,7	106,0	165,1	97,2	98,3	95,3	334,4	175,0	167,2	117,9
Cc [KJ/h°C]	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4	334,4
Cr [KJ/h°C]	0,00	0,33	0,30	0,25	0,25	0,33	0,38	0,32	0,49	0,29	0,29	0,28	1,00	0,52	0,50	0,35
Q[KJ/h]	0,00	668,77	1003,16	835,96	334,39	1003,16	1671,93	1504,73	1337,54	1671,93	2006,31	1839,12	2708,52	3745,12	4079,50	4079,50
Qmax [KJ/h]	0,0	2350,8	2502,9	1983,4	2006,3	3670,9	4610,5	3857,2	6010,7	4627,0	4789,6	4535,9	16284,6	11375,3	11201,9	7899,6
n	0	0,28	0,40	0,42	0,17	0,27	0,36	0,39	0,22	0,36	0,42	0,41	0,17	0,33	0,36	0,52

Cmin

Cmax

0,34

Tabla 7.2 Resultados Contraflujo 1

7.2 PRUEBA EN FLUJO PARALELO

Tabla 7.3 Datos de prueba final del equipo en paralelo

A	4	4	4	4	5	5	5	5
flujo de aire	40	50	60	70	40	50	60	70
Salida de aire	26,2	31,5	31,5	31,5	34,6	38,6	38,6	38,6
Salida del tubo	18,2	20,2	19,2	19,2	20,2	21,3	21,3	21,3
inwc - outwp	17,5	20,5	22,6	19,5	19,5	23,6	22,6	23,6
inwp - outwc	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
Entrada tubo	22,4	25,5	24,4	24,4	26,5	30,6	29,5	29,5
Entrada de Aire	26,3	39,6	43,7	42,6	41,6	54,9	59	57,9
dp(mmH2O)	12	24	40	51	13	25	36	49
P	25	54	83	120	31	57	85	117
A	6	6	6	6	7	7	7	7
flujo de aire	50	60	70	80	50	60	70	80
Salida de aire	42,7	45,8	45,8	44,8	47,8	51,9	51,9	51,9
Salida del tubo	22,3	23,3	23,3	23,3	23,3	25,3	25,3	25,3
inwc - outwp	22,6	21,6	26,7	26,7	26,7	28,7	27,7	27,7
inwp - outwc	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
Entrada tubo	32,6	34,6	34,6	33,6	36,7	39,7	39,7	38,7
Entrada de Aire	59	72,2	73,2	71,2	68,2	84,5	86,5	85,5
dp(mmH2O)	23	37	47	61	22	33	44	58
P	54	88	113	150	52	80	109	144

FM H2O [Kg/h]	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92	79,92
QH2O, Qaire [KJ/h]	0,00	702,21	969,72	702,21	702,21	1370,98	1738,80	1906,00	1738,80	1404,42	2039,75	2407,57	2675,08	2976,03	3444,17	3109,78
Tm agua [°C]	17,50	18,45	18,85	18,45	18,45	19,45	20,00	20,25	20,00	19,50	20,45	21,00	21,40	21,85	22,55	22,05
FM aire [Kg/h]	0,00	86,26	79,09	62,95	99,82	83,69	84,81	98,26	106,14	52,93	74,07	90,74	130,48	90,84	99,05	92,09
Re aire	0,00	7639,63	7126,38	5903,12	8563,28	7457,70	7537,30	8460,50	8974,93	5092,79	6756,62	7951,51	10453,28	7957,90	8512,41	8044,20
Pr aire	0,68	0,78	0,76	0,73	0,80	0,75	0,75	0,77	0,78	0,67	0,71	0,74	0,81	0,72	0,73	0,72
Tm aire °C	26,25	35,55	37,60	37,05	38,10	46,75	48,80	48,25	50,85	59,00	59,50	58,00	58,00	68,20	69,20	68,70
u aire [kg/m.h]	0,06	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
k aire [KJ/h.m.°K]	94,46	97,14	97,73	97,57	97,88	100,37	100,96	100,80	101,55	103,90	104,04	103,61	103,61	106,55	106,83	106,69
MLDT aire-agua °K	8,75	16,58	17,69	17,79	19,29	25,98	26,79	26,03	29,56	37,44	36,52	34,30	34,68	43,07	42,79	43,15
MLDT aire-tubo °K	5,71	12,65	15,54	15,06	14,75	20,60	22,86	22,39	23,27	29,41	29,83	28,80	27,85	34,91	35,75	35,75
MLDT tubo-H2O °K	1,87	2,54	3,19	2,13	2,67	3,10	4,84	5,41	3,80	3,80	3,82	5,91	7,75	6,86	8,93	7,31
ha (KJ/hm2°C)	0,00	250,72	281,84	210,60	215,03	300,52	343,50	384,38	337,43	215,68	308,81	377,47	433,72	384,95	435,02	392,79
ho (KJ/hm2°C) práctico	0,00	175,17	226,74	163,25	150,53	218,27	268,43	302,86	243,31	155,15	230,98	290,31	319,01	285,80	332,88	298,06
ho (KJ/hm2°C) teórico	0,00	191,22	214,18	169,01	166,75	239,21	259,62	283,58	265,70	174,93	250,74	286,88	310,73	294,66	318,82	298,67
hw	0,00	1143,45	1258,03	1365,43	1087,78	1827,47	1485,52	1458,34	1894,60	1528,61	2210,53	1685,91	1426,88	1794,09	1595,69	1759,49
ha1	0,00	229,62	258,13	192,88	196,94	275,23	314,60	352,04	309,04	197,53	282,82	345,71	397,23	352,56	398,42	359,74
Nu aire	0,00	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07
Ch [KJ/h°C]	0,00	86,69	79,49	63,26	100,32	84,11	85,24	98,76	106,68	53,20	74,44	91,20	131,13	91,29	99,54	92,55
Cc [KJ/h°C]	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39	334,39
Cr [KJ/h°C]	0,00	0,26	0,24	0,19	0,30	0,25	0,25	0,30	0,32	0,16	0,22	0,27	0,39	0,27	0,30	0,28
Q[KJ/h]	0,00	702,21	969,72	702,21	702,21	1370,98	1738,80	1906,00	1738,80	1404,42	2039,75	2407,57	2675,08	2976,03	3444,17	3109,78
Qmax [KJ/h]	0,00	1924,57	2090,46	1594,20	2427,64	3154,09	3545,80	3999,63	4437,68	2915,23	4153,94	4906,34	6661,48	6125,51	6878,38	6302,86
n	0,00	0,36	0,46	0,44	0,29	0,43	0,49	0,48	0,39	0,48	0,49	0,49	0,40	0,49	0,50	0,49

Cmin

Cmax

0,45

Tabla 7.4 Resultados Flujo Paralelo 1

7.3 COMPARACIÓN ESTADO ACTUAL VS. ESTADO INICIAL DEL EQUIPO

A continuación se comparará las distribuciones de temperatura tanto para flujo paralelo y contra-flujo en las partes en las que se efectúa la transferencia de calor del equipo. El tiempo de respuesta del equipo se modificó, debido a que la variación de temperaturas del agua varió en un 300% en comparación al estado inicial, y era necesario obtener más datos.

7.3.1 TEMPERATURA DE AIRE

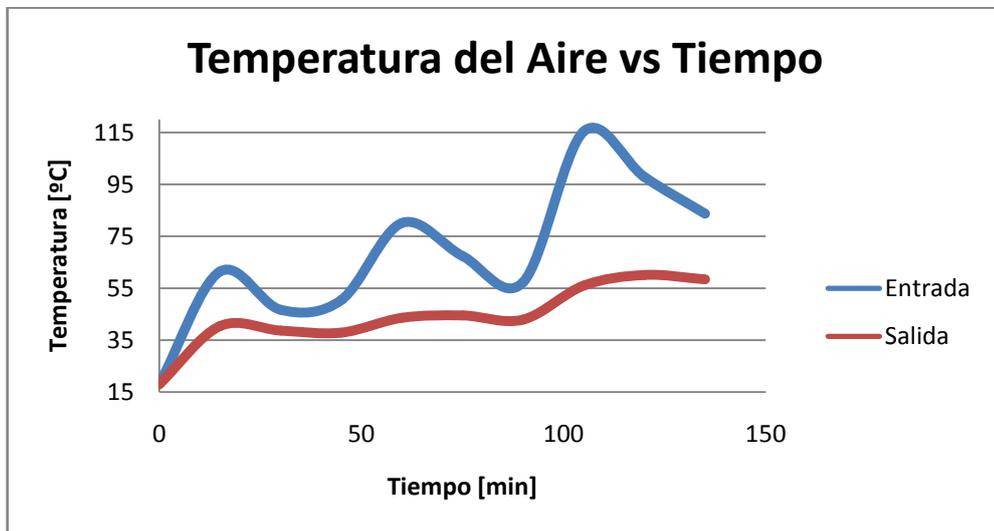


Figura 7.1 Estado inicial del equipo en flujo paralelo

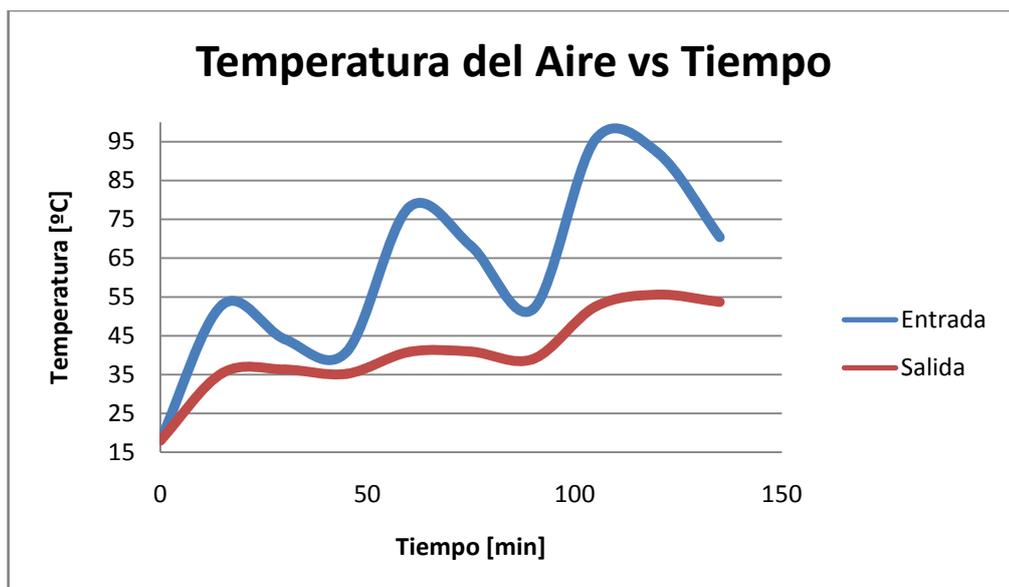


Figura 7.2 Estado inicial del equipo en flujo contracorriente

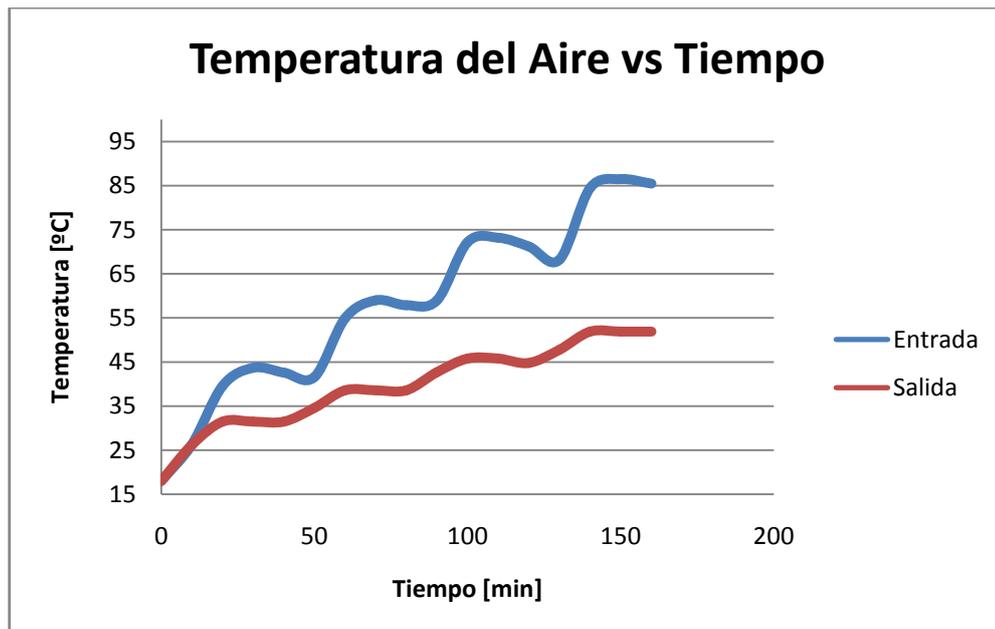


Figura 7.3 Estado actual del equipo en flujo paralelo

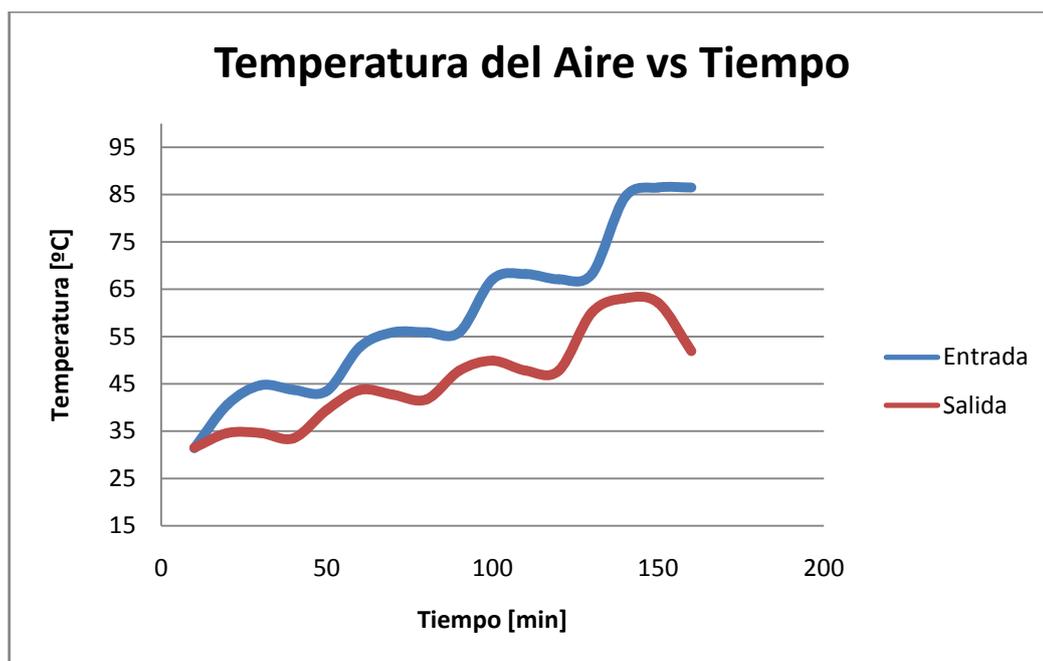


Figura 7.4 Estado actual del equipo en flujo contracorriente

En las curvas entre estado inicial y estado actual del equipo, se puede observar que la variación de temperatura del aire en la entrada y la salida, reflejan que existe una entrega de calor al mismo, pero la diferencia de temperaturas altas y bajas, varían en relación al tiempo

7.3.2 TEMPERATURA DEL TUBO CONCENTRICO

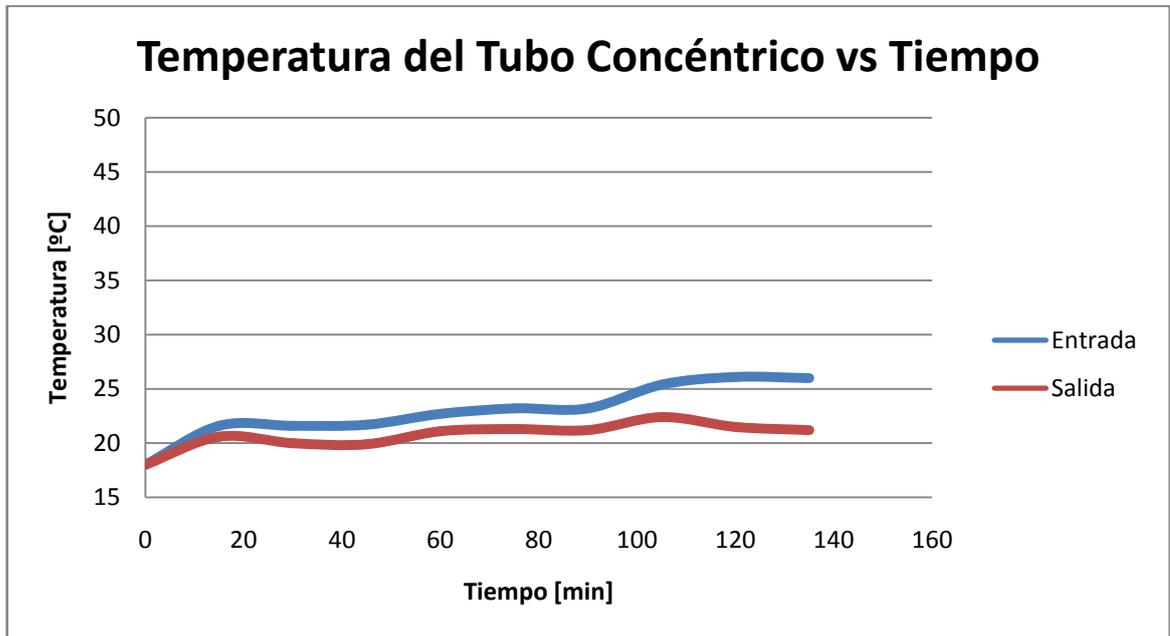


Figura 7.5 Estado inicial del equipo en flujo paralelo

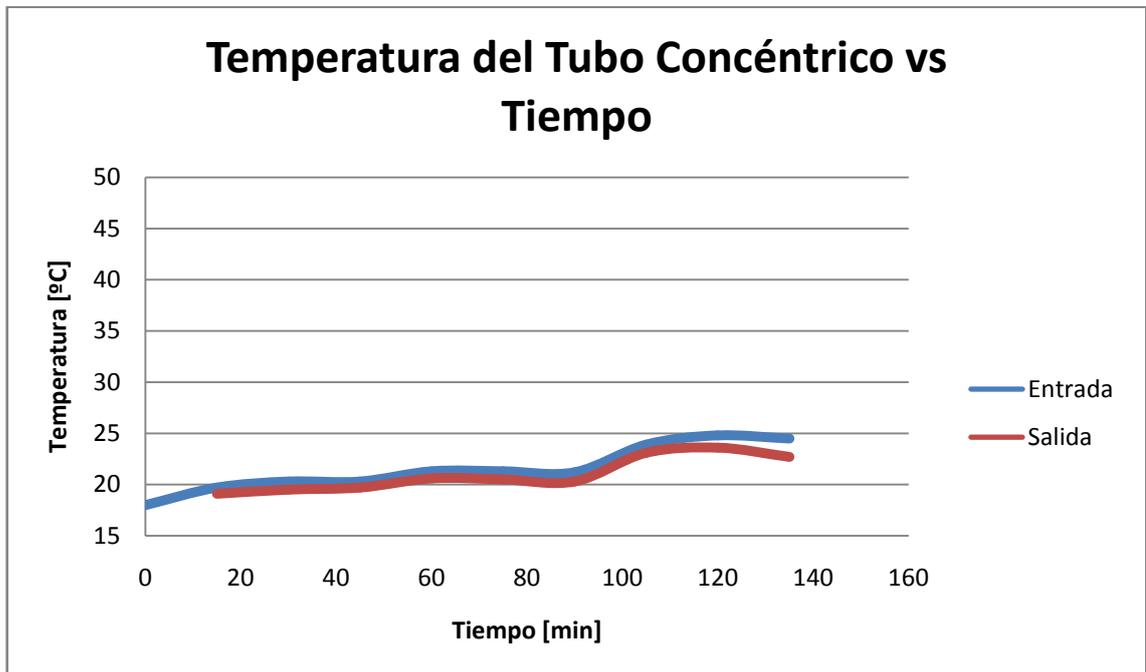


Figura 7.6 Estado inicial del equipo en flujo contracorriente

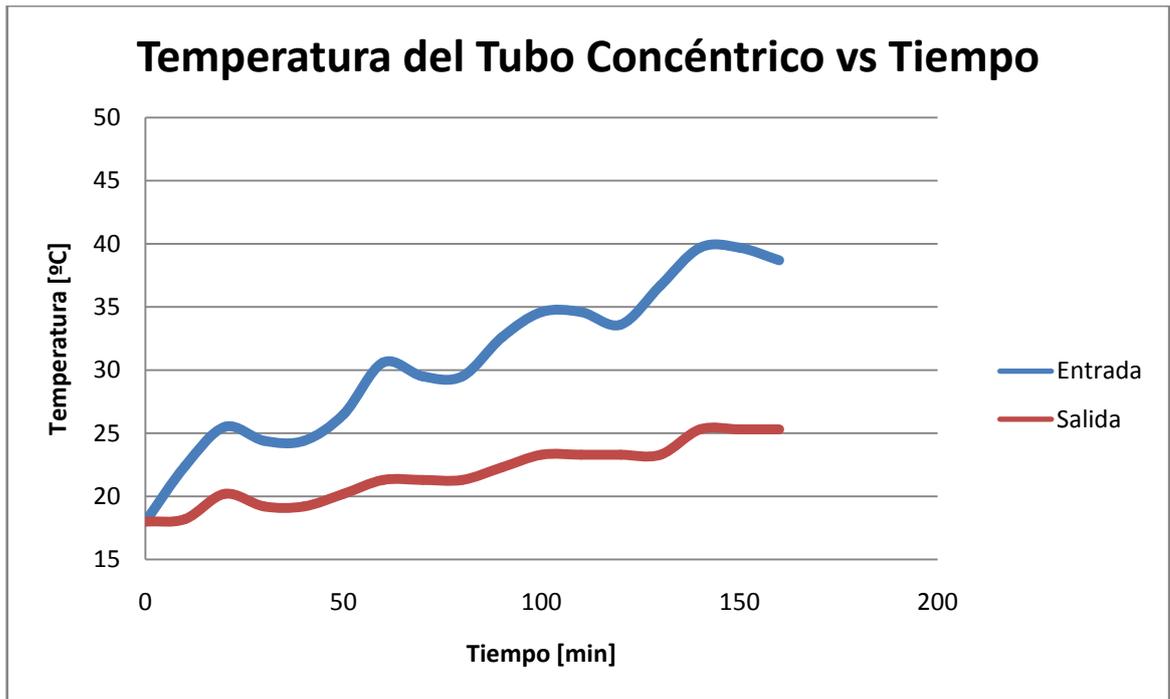


Figura 7.7 Estado actual del equipo en flujo paralelo

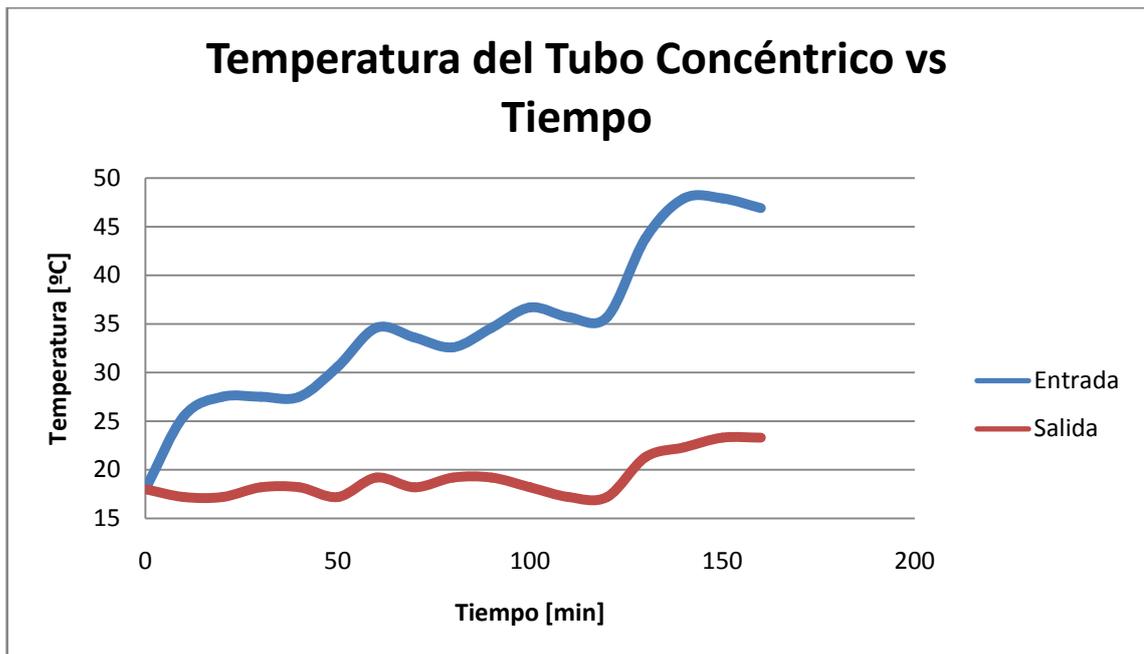


Figura 7.8 Estado actual del equipo en flujo contracorriente

El tubo concéntrico es la parte conductora entre el aire y el agua, por lo tanto la cantidad de calor absorbida que el tubo obtenga del aire es muy importante ya que ese calor será el que se transfiera al agua, como se observa en las curvas del estado inicial existe una diferencia pequeña entre temperaturas llegando a

un máximo de 5°C, mientras que luego del mantenimiento se consigue una diferencia de 12°C lo que representa mas del 200% de su estado inicial.

7.3.3 TEMPERATURA DEL AGUA

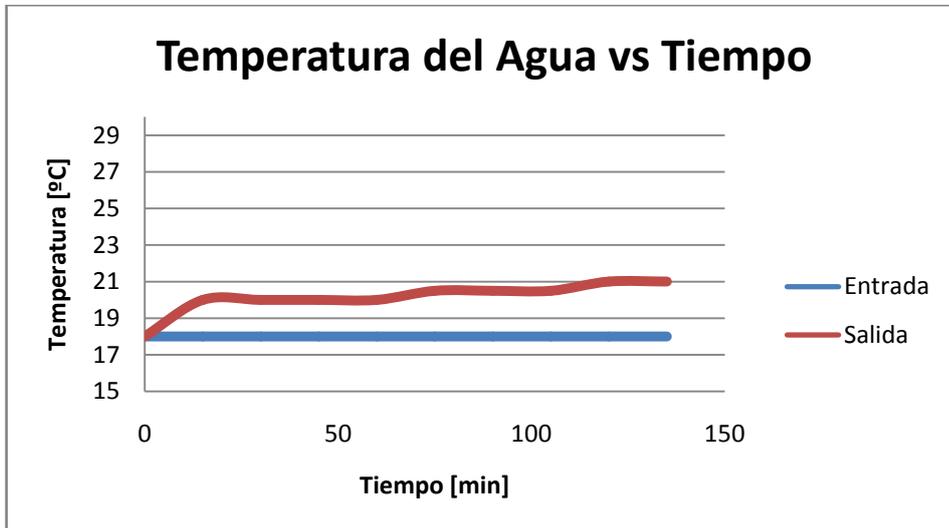


Figura 7.9 Estado inicial del equipo en flujo paralelo

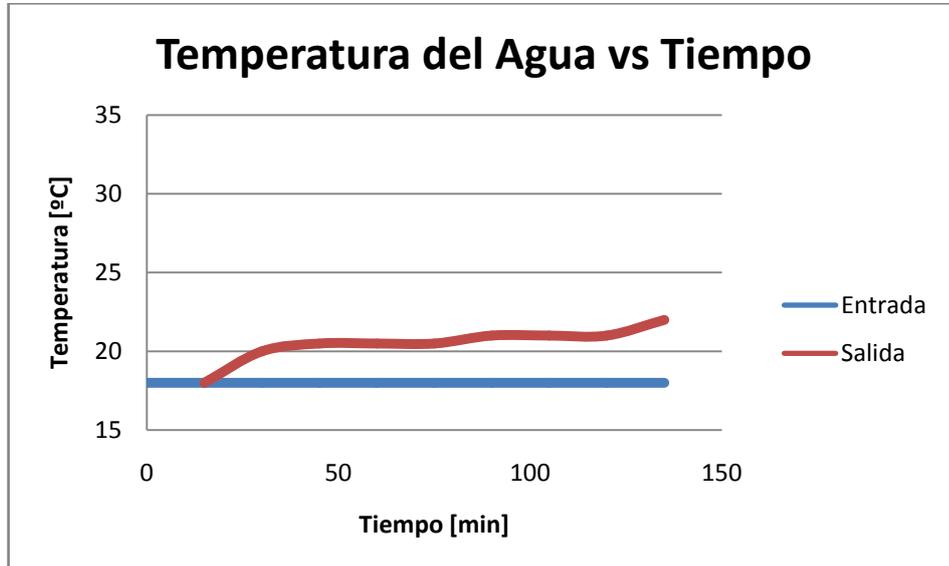


Figura 7.10 Estado inicial del equipo en flujo contracorriente

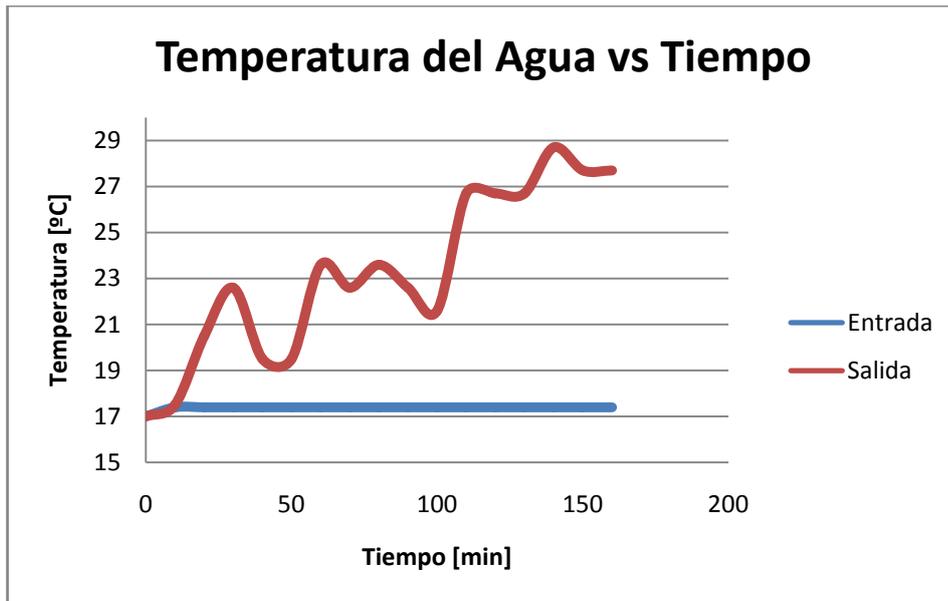


Figura 7.11 Estado actual del equipo en flujo paralelo

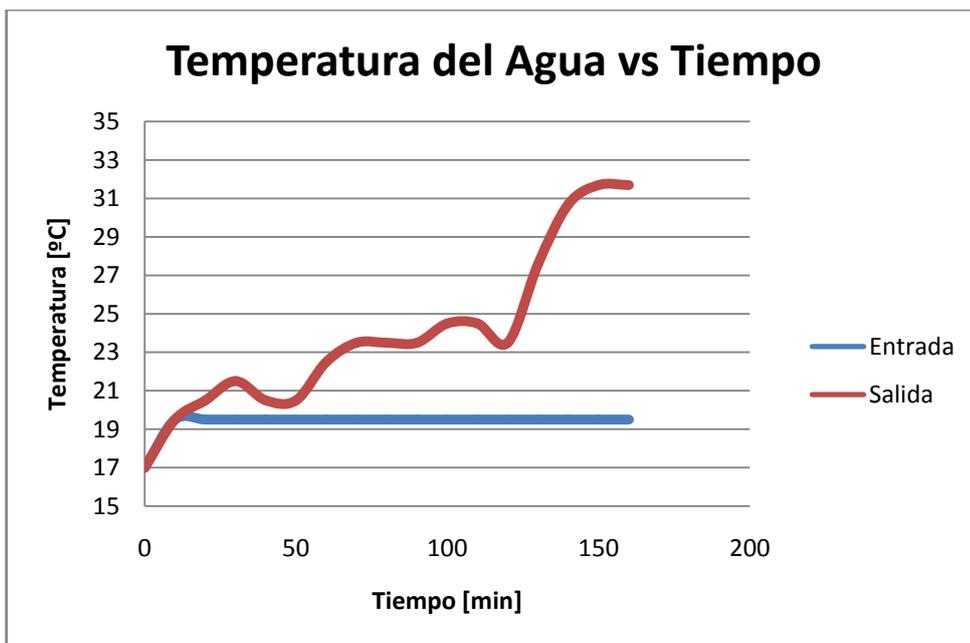


Figura 7.12 Estado actual del equipo en flujo contracorriente

El fluido que absorberá el calor entregado por el aire al tubo es el agua, por lo tanto la variación de temperatura y la temperatura final que se obtenga del agua será la que determine el estado y eficiencia del equipo, como se puede observar en las curvas de estado inicial la variación es muy pequeña llegando a un máximo de 3°C, mientras que en las curvas después del mantenimiento se puede observar una variación máxima de 12°C.

7.4 EJEMPLO DE CÁLCULO DE VALORES

Para los cálculos del Intercambiador de Calor se utilizarán las siguientes fórmulas:

7.4.1 FLUJO MÁSSICO – AGUA (W_w)

$$W_w(\text{kg/h}) = \text{Caudal de agua (m}^3/\text{h)} \times \rho (\text{kg/m}^3)$$

Donde:

ρ Densidad

$$1 \text{ litro} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

Nota

Las propiedades del fluido (ρ , μ , k , etc.) son evaluadas normalmente a la temperatura media del fluido (T_m).

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2}$$

Donde:

T_i Temperatura del fluido a la entrada

T_o Temperatura del fluido a la salida

7.4.2 CALOR TRANSFERIDO

La pérdida de calor del entorno es insignificante y por esta razón:

$$\text{Calor perdido por el aire} = \text{Calor ganado por el agua}$$

$$\text{Calor ganado por el agua (kJ/h)} = W_w(\text{kg/h}) \times C_p (\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}) \times \Delta T_w(^{\circ}\text{C})$$

Donde:

C_p Calor Específico

ΔT_w Diferencia de Temperaturas del Agua

7.4.3 FLUJO MÁSICO – AIRE (W_A)

$$W_a(\text{kg/h}) = \frac{\text{Calor ganado por el agua (kJ/h)}}{C_p \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \right) \times \Delta T_a(^\circ\text{C})}$$

Donde:

ΔT_a Diferencia de Temperaturas del Aire

7.4.4 NÚMERO DE REYNOLDS – AIRE (RE)

$$Re = \frac{4 \times W_a(\text{kg/h})}{\pi \times d(\text{m}) \times \mu(\text{kg/mh})}$$

Donde:

d Diámetro de tubería

μ Viscosidad dinámica

7.4.5 NÚMERO DE REYNOLDS – AGUA

Debido a que el agua fluye a través del ánulo, “d” debe reemplazarse por “De” que es el diámetro equivalente del ánulo.

Tomado de “Procesos de Transferencia de Calor” de D.Q. Kern

Para cálculos de Transferencia de Calor

$$De = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1}$$

7.4.6 NÚMERO DE PRANDTL – AIRE (PR)

$$Pr = \frac{\mu(\text{kg/mh}) \times C_p(\text{kJ/kg}^\circ\text{C})}{k(\text{kJ/mh}^\circ\text{C})}$$

Donde:

k Conductividad térmica

7.4.7 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LA SUPERFICIE

7.4.7.1 LADO DEL AIRE

$$\text{Calor Transferido}(Q) = h_a \times A_i \times MLDT_a$$

Donde:

h_a Coeficiente de transferencia de calor superficial aire al tubo

A_i Área superficial interna del tubo de prueba

$MLDT_a$ Diferencia Media Logarítmica de Temperatura aire al tubo

$$h_a(\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}) = \frac{Q(\text{kJ}/\text{h})}{A_i(\text{m}^2) \times MLDT_a(^\circ\text{C})}$$

7.4.7.2 LADO DEL AGUA

$$h_w\left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{h}}^\circ\text{C}\right) = \frac{Q\left(\frac{\text{kJ}}{\text{h}}\right)}{A_o(\text{m}^2) \times MLDT_w(^\circ\text{C})}$$

Donde:

A_o Área superficial exterior del tubo de prueba

$MLDT_w$ Diferencia Media Logarítmica de Temperatura agua al tubo

h_w Coeficiente de transferencia de calor superficial agua al tubo

7.4.8 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR GENERAL AIRE AL AGUA (H_0)

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor general, se acostumbra en basarse en los cálculos en el área superficial exterior del tubo de prueba.

- a. El cálculo se lo realiza con las temperaturas medidas del aire y del agua

$$h_0 = \frac{Q}{A_o \times MLDT_0}$$

Donde:

MLDT₀ Diferencia Media Logarítmica de Temperatura aire al agua

b. Cálculo de los coeficientes de transferencia de calor superficiales individuales.

Los coeficientes de transferencia de calor superficiales deben basarse en la misma área de flujo de calentamiento (A₀).

Coeficiente de transferencia de calor superficial aire al tubo, basado en el área superficial del tubo de prueba = h_a¹.

$$h_a^1 = h_a \times \frac{A_i}{A_0}$$

Entonces

$$\frac{1}{h_0} = \frac{1}{h_a^1} + \frac{1}{h_w} + \frac{x}{k}$$

Donde:

x Espesor del tubo de prueba

k Conductividad térmica del tubo de prueba

En este caso el valor de x/k es insignificante comparado con los de 1/h_a¹ y 1/h_w y por esta razón la ecuación anterior se reduce a:

$$\frac{1}{h_0} = \frac{1}{h_a^1} + \frac{1}{h_w}$$

7.4.9 NÚMERO DE NUSSETT (Nu) – AIRE

$$Nu = \frac{h_a(kJ/m^2h^{\circ}C) \times d(m)}{k(kJ/mh^{\circ}C)}$$

CAPITULO 8

ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

8.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

8.1.1 COSTOS DIRECTOS

Tabla 8.1 Remuneración a profesionales.

Nombre	Cargo	Tiempos Horas	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Ing. Roberto Gutiérrez	Director	70	20,00	1400
Ing. Luis Echeverría	Ex-Codirector	15	20,00	300
Ing. Richard Bernis	Co director	55	20,00	1100
			Subtotal 1	2800,00

Tabla 8.2 Remuneración a estudiantes.

Nombre	Cargos	Tiempos Horas	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Sr. Miguel Alvarez	Responsable del proyecto	400,00	8	3200
Sr. Xavier Revelo	Responsable del proyecto	400,00	8	3200
			Subtotal 2	6400,00

Tabla 8.3 Materiales

Ítem	Almacén	Descripción	Valor
1	CUCASA	Neplo, acoples	5,72
2	CUCASA	Adaptadores, acoples, neplos	25,63
3	CUCASA	Neplos, adaptadores	9,05
4	CUCASA	Adaptadores	5,04
5	CUCASA	Uniones	3,45
6	CUCASA	Adaptadores, Neplos	5,82
7	CUCASA	Uniones	17,25
8	CUCASA	Adaptadores	1,79

9	CUCASA	Bushing, Adaptadores	14,87
10	CUCASA	Acoples para manguera de ¼"	18,33
11	ELECTRO CROMO	Resistencia de 2,2 KW	168,00
12	ELECTRONICA NACIONAL	Relays	10,50
13	ELECTRONICA NACIONAL	Sensores de Temperatura	21,00
14	GRIMASA	Acople bronce, cañería	30,46
15	GRIMASA	Cañería	10,39
16	KIWY	Clavos, abrazaderas, grapa	0,86
17	KIWY	Taco, tornillos	0,64
18	KIWY	Abrazaderas	0,66
19	KIWY	Diluyente, Laca, Esmalte	18,60
20	KIWY	Lijadora, Reductor, Neplo	19,04
21	KIWY	Cañuela, soldadura, teflón	45,90
22	KIWY	Desoxidante, mascarilla	11,54
23	KIWY	Acople, embudo, gel desinfectante	22,69
24	KIWY	Abrazaderas	0,81
25	KIWY	Neplo, Silicón, Amarras	12,12
26	KIWY	Manguera PVC ¼	12,00
27	KIWY	Canaletas	12,90
28	KIWY	Doble Faz 3M	16,00
29	KIWY	Pistola de Pintura	30,00
30	KIWY	Brocas	6,00
31	KIWY	Pistola de Silicón	4,00
32	KIWY	Silicón para pistola	2,00
33	NATIONAL INSTRUMENTS	Tarjeta de adquisición de datos	210,00
34	NUCOPSA	Gasolina	10,00
35	RETENA	Válvula Solenoide	51,05
36	SER-TEC	Sensores y Actuadores	1588,16
37	KIWY	Extensión eléctrica	5,60
38	INTEGRA-DOS	Diseño y construcción de tarjeta electrónica	450,00
		TOTAL	2877,87

Tabla 8.4 Total costos directos

Descripción	Valor
Remuneración a profesionales	2800,00
Remuneración a estudiantes	6400,00
Materiales	2877,87
Total	12077,87

8.1.2 COSTOS INDIRECTOS.

8.1.2.1 Costos indirectos en pruebas y mantenimiento del equipo

Tabla 8.5 Costos indirectos

Ítem	Descripción	Valor
1	Combustible	200,00
2	Comida	150,00
3	Energía Eléctrica	4,00
4	Agua potable	13,60
4	Agua potable	13,60
	Total	381,20

Tabla 8.6 Total Costos

Ítem	Descripción	Valor
1	Costos directos	12077,87
2	Costos Indirectos	381,20
	Total	12459,07

8.2 ANÁLISIS FINANCIERO

8.2.1 FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Tabla 8.7 Tabla de Costos y financiamiento

Rubro	Costo efectivo (USD)	Total USD	Financiamiento
Costos Directos	12077,86	12077,87	ESPE
Costos Indirectos	381,20	381,20	Estudiantes
		total	12459,07

8.2.2 CÁLCULO DEL TIR Y DEL VAN

Para el cálculo del TIR y del VAN se tomará un periodo de 10 años, es decir de 20 semestres, en el cual se calculará con el rubro actual de matrícula que la ESPE cobrará a los estudiantes es decir de \$25 usd, de este rubro se asignará para el laboratorio de termodinámica del DECEM un 20% para el mantenimiento alrededor de \$5 por estudiante.

Número de alumnos por semestre en el DECEM	Valor de Matrícula	Porcentaje para el Lab.	Valor para el Lab.	Valor total para el lab.
800	25,00 usd	20%	5,00 usd	4000,00 usd

8.2.2.1 Cálculo de TIR

$$\text{TIR} = 33,01\%$$

El proyecto tiene una muy buena rentabilidad, pero como la institución no es de lucro, este es un parámetro que sirve para determinar si la inversión fue adecuada.

8.2.3 CÁLCULO DEL VAN

$$\text{VAN} = 21.976,38 \text{ usd}$$

Con este valor el proyecto es rentable.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

- El equipo en el estado inicial era inútil, el fenómeno de transferencia de calor que se generaba no era sustancial por lo que los datos obtenidos no servían para poder trabajar, luego del mantenimiento correctivo que se realizó la transferencia de calor del equipo mejoró notablemente, entregando una eficiencia final de 45% y 52% para flujo paralelo y contraflujo respectivamente sin descartar que en cifras de temperatura la variación final de valores supera en promedio al 300% del inicialmente obtenido.
- El sistema de automatización permite obtener datos en tiempo real y más precisos que los que se obtenía con los instrumentos que se usaban antes, por lo que las prácticas realizadas en un futuro permitirán a los estudiantes estudiar de mejor manera los efectos de la transferencia de calor.
- Al realizar un trabajo recuperación e implementación de un sistema de automatización la ESPE recibe un costo beneficio muy alto ya que por un rubro menor a los \$15.000 usd, se puede obtener las prestaciones que ofrece un equipo nuevo por un valor aproximado de \$60.000 usd.

9.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario que la ESPE plantee un proyecto de la instalación de una planta de tratamiento de agua para el suministro hacia los equipos del laboratorio, ya que de esta manera los efectos causados por el agua como la corrosión y el aislamiento térmico de los elementos de

transferencia de calor se reduzcan dando como resultado un mejor trabajo y evitar el deterioro rápido de los equipos.

- Se recomienda que se revisen los rubros que se designan a los proyectos de tesis especialmente para los que están en el área de recuperación y actualización de equipos en la Escuela, para así poder trabajar de mejor manera y obtener proyectos que entreguen mejores resultados, ya que un limitante económico influye directamente en las prestaciones que el equipo puede llegar a ofrecer.
- Este proyecto está programado en dos fases, la primera que es la de implementar un sistema de automatización y control de actuadores con el mantenimiento del mismo está completa, queda en manos de la Escuela el desarrollar la segunda fase que es la de digitalizar el control de potencia tanto para el motor eléctrico y la resistencia térmica, se recomienda que esta labor sea propuesta y realizada por el departamento de eléctrica y electrónica de la ESPE

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFICAS

Frank P. Incropera. Fundamentos de Transferencia de Calor. Traducido por Ricardo Cruz. 4ª Edición. Monterrey. Prentice Hall. 1996. 912 páginas.

J. P. Holman. Transferencia de Calor. Traducido por Dr. Raúl Valenzuela M. Décima Reimpresión. México D.F. McGraw Hill. 1999. 620 páginas.

Donald Q. Kern. Procesos de Transferencia de Calor. Traducido por Ing. Nicolás Marino Ambrossi. Trigésima Primera Reimpresión. México D.F. McGraw Hill. 1999. 850 páginas.

ANEXOS