

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“SIMULACIÓN DEL PROCESO EXERGÉTICO Y
AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DEL LABORATORIO DE
TERMODINÁMICA DEL DECEM”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**SR. RUBÉN DARÍO GRANDES VILLAMARÍN
SRA. GABRIELA DEL CARMEN TORRES RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO MONTENEGRO
CODIRECTOR: ING. PEDRO MERCHÁN**

Sangolquí, 2009-09-17

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “SIMULACIÓN DEL PROCESO EXERGÉTICO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DEL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DEL DECEM” fue realizado en su totalidad por Rubén Darío Grandes Villamarín y Gabriela del Carmen Torres Rodríguez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

**Ing. Fernando Montenegro
DIRECTOR**

**Ing. Pedro Merchán
CODIRECTOR**

Sangolquí, 2009-09-17

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“SIMULACIÓN DEL PROCESO EXERGÉTICO Y
AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DEL LABORATORIO DE
TERMODINÁMICA DEL DECEM”**

ELABORADO POR:

**Rubén Darío
Grandes Villamarín**

**Gabriela del Carmen
Torres Rodríguez**

CARRERA DE INGENIRÍA MECÁNICA

**Ing. Emilio Tumipamba.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Sangolquí, 2009-09-17

DEDICATORIA

Al Ser Supremo, Creador Del Universo, Por Quien Existen Y Subsisten Todas Las Cosas, Por Su Misericordia, Protección y Ayuda Continua.

Con mucho cariño, respeto y admiración a mis padres Galo Augusto y Flor Inés, por todo el amor, el apoyo, la felicidad, la paz, la paciencia, la ayuda, la bondad, la guía, y la corrección, brindada a través de todos estos años, en la noble e ineludible labor de ser los mejores padres.

A Silvia, mi querida hermana, por convertiste, desde que tengo memoria, en mi amiga, confidente y apoyo incondicional, ha estado y estará conmigo en las buenas y en las malas

A mi tíos y tías: Bayardo, Cesar, Misael, Rafael, Albita, Elsa, Adriana.

A mis amigos y amigas: Cristina, Fernanda, Andrea, Yessenia, María, Gabriela, Christian, David, Andrés, Telmo, Armando, Alex, Francisco, José.

A todos las personas que me han brindado su amistad verdadera y quieren mi bienestar y crecimiento personal.

Rubén Darío

DEDICATORIA

Este proyecto esta dedicado principalmente a dios que me ha brindado la oportunidad de tener todo lo que tengo.

Ha lo mas bello que me ha dado la vida, mis hijos, que con su bondad, ternura y amor, me han ayudado a no rendirme, y han sido el motivo de mi lucha y perseverancia

A mis padres quienes me han ayudado en todo lo que han podido con su entrega me impulsado a seguir sin desfallecer.

A mi esposo quien ha sido un pilar muy importante en mi desarrollo como profesional, y me ha brindado su apoyo incondicionalmente en las buenas y en las malas con su amor y comprensión.

A mi abuelita que con su cariño y su sensibilidad me ha transmitido su sabiduría, a mis tías Moni y Miriam, por todas las enseñanzas y cariño que me han inculcado

Gabriela

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de mi vida universitaria he encontrado personas quienes me han apoyado en todos mis proyectos y aspiraciones.

Agradezco a todos los encargados de los laboratorios del Departamento de Ingeniería Mecánica, en especial a los señores: Nelson Cárdenas (Don Car), Francisco Moscoso (Don Panchito), Roberto Buenaño (Don Rober), Alberto Naranjo (Don Naranjito).

Agradezco a todos los profesores y maestros que han contribuido en mi formación profesional a lo largo de estos años de universidad en especial a: Ing. Garzón, Físico Marcelo Arias, Ing. Alfredo Cevallos, Ing. Adrián Peña, Ing. José Peres, Ing. Emilio Tumipamba, Ing. Carlos Suntaxi, Ing. Edgardo Fernández, Ing. Carlos Naranjo, Ing. Milton Acosta, Ing. Fernando Montenegro, Ing. Juan Pablo Alcoser, Ing. Alexis Ortiz, Ing. Javier Pozo.

Un agradecimiento especial al Sr. Ing. Roberto Gutiérrez, por toda la ayuda prestada para la realización de este proyecto.

Rubén Darío

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi familia especialmente el sacrificio de mis hijos al no pasar con su madre, a mis padres, al apoyo incondicional de mi esposo.

A todas las personas que contribuyeron con cualquier aporte a este proyecto como el Ing. Roberto Gutiérrez, como un gran apoyo profesional contribuyo con sus conocimientos.

Agradezco a la persona que me ha ayudado con mis hijos dedicándoles tiempo y cariño Verónica.

Aquellos pocos profesores que fueron la excepción colaborando desinteresada mente y con mucha ética para mi desarrollo como profesional y sin tapujos y que de alguna manera me impulsaron a seguir luchando para concluir con mi carrera.

Gabriela

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5 ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN.....	4
1.6 TEORÍA SOBRE TORRES DE ENFRIAMIENTO	6
1.6.1 PRINCIPIOS.....	9
1.6.2 ELEMENTOS Y PARTES CONSTITUTIVAS DE la TORRE DE ENFRIAMIENTO	9
1.6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	10
1.6.3.1 Torres de circulación natural	10
1.6.3.2 Torres de tiro mecánico	11
1.6.3.3 Torres de tiro forzado	12
1.6.3.4 Torre de flujo a contracorriente y tiro inducido	13
1.6.4 FUNCIONAMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO	15
1.6.4.1 Generalidades de torres de enfriamiento de agua	15
1.6.4.2 Operación de una torre de enfriamiento	16
1.6.4.3 Mecanismo de la evaporación.....	18
1.7 PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS DEL AIRE.....	19
1.7.1 AIRE SECO.....	20
1.7.1.1 Propiedades del aire seco:.....	20
1.7.2 AIRE HÚMEDO.....	21
1.7.2.1 Propiedades del vapor de agua.....	21
1.7.2.2 Propiedades de la mezcla.....	22
1.7.2.3 Temperatura de bulbo seco	23
1.7.2.4 Temperatura de bulbo húmedo	23
1.7.2.5 Temperatura de punto de rocío	24

1.7.2.6	Presión atmosférica estándar.....	24
1.7.2.7	Humedad Relativa.....	26
1.7.2.8	Diagramas Psicrométricos.....	26
1.8	PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA.....	28
1.8.1	<i>ASPECTOS GENERALES</i>	28
1.8.1.1	Diagrama P-V (diagrama de Clapeyron).....	29
1.8.1.2	Diagrama T-S (Temperatura-Entropía o Diagrama Entrópico).....	29
1.8.1.3	Diagrama H-S (Entalpía-Entropía o Diagrama de Mollier).....	30
1.8.1.4	Diagramas P-V-T o en tres dimensiones.....	30
1.8.2	<i>CAPACIDAD CALÓRICA</i>	31
1.8.2.1	Calor Específico.....	32
1.9	PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	32
1.9.1	<i>TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN</i>	33
1.9.1.1	Transmisión De Calor Por Conducción En Régimen Estacionario y Flujo Unidireccional.....	33
1.9.1.2	Conductividad Térmica.....	34
1.9.1.3	Conductividad Térmica De Gases Y Vapores.....	36
1.9.2	<i>TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN</i>	36
1.9.2.1	Convección Natural.....	37
1.9.2.2	Convección Forzada.....	37
1.9.2.3	El coeficiente de transmisión de calor por convección forzada.....	39
1.9.2.4	Número de Prandtl.....	41
CAPÍTULO 2 ESTADO ACTUAL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO		43
2.1	LEVANTAMIENTO TÉCNICO - MECÁNICO.....	43
2.2	LEVANTAMIENTO TÉCNICO-ELÉCTRICO.....	49
2.3	LEVANTAMIENTO TÉCNICO-TÉRMICO.....	54
CAPÍTULO 3 ADQUISICIÓN DE DATOS.....		55
3.1	SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	55
3.1.1	<i>PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS</i>	55
3.1.1.1	Transductor.....	57
3.1.1.2	DAQ Hardware.....	58
3.1.2	<i>DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS</i>	59
3.1.2.1	Tasa de muestreo.....	59

3.1.3	<i>ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS VIA PLC`S</i>	60
3.1.3.1	Usos	60
3.1.3.2	Beneficios	61
3.1.3.3	Principios básicos	61
3.1.4	<i>ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS VÍA MICROPROCESADOR</i>	66
3.1.5	<i>SELECCIÓN DEL SISTEMA ÓPTIMO A UTILIZAR</i>	68
3.2	SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA SELECCIONADO	68
3.2.1	<i>TIPOS DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN</i>	69
3.2.1.1	Lenguajes de bajo nivel	69
3.2.1.2	Lenguajes de alto nivel	70
3.2.2	<i>Selección del Software óptimo a utilizar</i>	70
3.2.3	<i>Selección del protocolo de comunicación</i>	72
3.2.3.1	Protocolos de Comunicación	73
3.2.3.2	Tipos de Comunicación al PC	74
3.2.3.3	Opciones de Interfases	76
3.2.3.4	Selección del tipo de comunicación óptimo	79
3.3	SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN DE DATOS ADQUIRIDOS EN EL PC	80
3.3.1	<i>DISEÑO DE LA PLANTILLA DE VISUALIZACIÓN</i>	81
3.3.1.1	Abrir LabVIEW:	81
3.3.1.2	Generar un Nuevo VI	81
3.3.1.3	DAQ Assistant	82
3.3.1.4	Configuración del DAQ ASSISTANT	82
3.3.1.5	Lazo de repetición While	83
3.3.1.6	Mostrar los datos adquiridos	83
3.3.1.7	Botón STOP	84
3.3.1.8	Correr el programa	84
3.3.2	<i>SUBROUTINAS Y RECURSOS DE PROGRAMACIÓN UTILIZADOS</i>	85
3.3.2.1	Programación por tareas	85
3.3.2.2	DAQ Assistant	86
3.3.2.3	DAQmx READ	86
3.3.2.4	Arreglo de señales	86
3.3.2.5	Cuadro de programación escrita	87

3.3.2.6	Comparación de datos	87
3.3.2.7	Indicadores.....	88
3.3.2.8	Programación Resultante	88
3.3.3	<i>CARACTERÍSTICAS ESTÉTICAS</i>	89
3.3.3.1	Detalle De Localización	89
3.3.3.2	Intrumentacion Virtual	90
3.3.3.3	Tabla Resumen de Datos	91
3.3.3.4	Estética Resultante	92
3.3.4	<i>CONFIGURACIÓN DE LA RECEPCIÓN DE DATOS</i>	93
3.3.4.1	Configuración del Terminal.....	93
3.3.4.2	Escala.....	94
3.3.4.3	Rango de amplitud de señal	95
3.4	FASE DE PRUEBAS DE RECEPCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS	95
3.4.1	<i>SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN ÓPTIMA</i>	96
3.4.2	<i>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</i>	97
CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS		99
4.1	DETERMINACIÓN DE SENSORES	99
4.1.1	<i>SENSOR DE TEMPERATURA</i>	103
4.1.2	<i>SENSOR DE HUMEDAD</i>	103
4.1.3	<i>SENSOR DE CAUDAL</i>	104
4.1.4	<i>SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL</i>	105
4.1.5	<i>TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ)</i>	106
4.2	DETERMINACION DE ACTUADORES.....	107
4.2.1	<i>TIPOS DE ACTUADORES:</i>	108
4.3	DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	109
4.3.1	<i>COMPONENTES FÍSICOS</i>	109
4.3.1.1	Fenómenos físicos	110
4.3.1.2	Sensores o transductores.....	110
4.3.1.3	Cableado	111
4.3.1.4	Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)	111
4.3.1.5	Interfase de comunicación	111
4.3.2	<i>COMPONENTES VIRTUALES</i>	111

4.4	DESARROLLO DEL SOFTWARE	112
4.5	INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	114
4.5.1	<i>MANTENIMIENTO CORRECTIVO</i>	114
4.5.2	<i>SISTEMA DE DATOS</i>	118
CAPÍTULO 5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....		125
5.1	CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE.....	125
5.1.1	<i>UTILIDAD Y SERVICIO</i>	125
5.1.2	<i>REQUERIMIENTOS</i>	125
5.1.2.1	Eléctricos	125
5.1.2.2	Materiales.....	126
5.1.2.3	Accesorios.....	126
5.1.2.4	Infraestructura	126
5.1.2.5	Seguridad	127
5.2	PRUEBAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN DIVERSOS CASOS.....	127
5.2.1	<i>VARIANDO EL CAUDAL DE AIRE Y/O AGUA</i>	128
5.2.1.1	Procedimiento	128
5.2.2	<i>VARIANDO EL CALOR</i>	130
5.3	VERIFICACIÓN, DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE CURVAS Y RESULTADOS.	131
5.4	VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	140
5.4.1	<i>SENSORES DE TEMPERATURA</i>	140
5.4.2	<i>SENSORES DE HUMEDAD</i>	141
5.4.3	<i>SENSOR DE CAUDAL</i>	143
5.4.4	<i>SENSOR DE PRESIÓN</i>	145
5.5	ELABORACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS	150
5.5.1	<i>MANUAL DE OPERACIÓN</i>	150
5.5.2	<i>Manual de Mantenimiento</i>	150
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....		151
6.1	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	151
6.1.1	<i>COSTOS INDIRECTOS</i>	151
6.1.1.1	Suministros y servicios	151
6.1.1.2	Asesoramiento.....	152
6.1.1.3	Asesoramiento y Mano de obra indirecta	152
6.1.2	<i>COSTOS DIRECTOS</i>	152

6.1.2.1	Diseño e Ingeniería.....	153
6.1.2.2	Mantenimiento y Reparación.....	153
6.1.2.3	Construcción Y Ensamblaje.....	154
6.1.2.4	Adquisición de Materiales y Equipos.....	154
6.2	ANÁLISIS FINANCIERO.....	155
6.2.1	<i>FINANCIAMIENTO</i>	155
6.2.2	<i>CÁLCULO DEL VAN Y EL TIR</i>	156
6.2.2.1	VAN.....	156
6.2.2.2	Depreciación.....	157
6.2.2.3	Calculo del VAN.....	159
6.2.2.4	Calculo del TIR.....	160
6.2.2.5	Relación Costo- Beneficio (a partir del VAN y TIR).....	160
6.2.3	<i>ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO REALIZADO</i>	160
6.2.4	<i>PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN DE FACTIBILIDAD</i>	161
6.2.4.1	Criterios de factibilidad técnica.....	161
6.2.4.2	Criterios financieros.....	162
6.2.4.3	Criterios de investigación.....	162
6.2.4.4	Criterios institucionales.....	163
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		165
7.1	CONCLUSIONES.....	165
7.2	RECOMENDACIONES.....	166
CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA		167
8.1	REFERENCIAS.....	167
8.2	PAGINAS WEB.....	168

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1	PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS DEL AIRE	20
TABLA 1.2	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALGUNOS MATERIALES	35
TABLA 1.3	VALORES DE K'/K	35
TABLA 1.4	VALORES DE C Y NO DE LA FORMULA DE SUTHERLAND	36
TABLA 1.5	COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN	38
TABLA 3.1	PARÁMETROS DE PLC'S	65
TABLA 3.2	DECISIÓN DE SOFTWARE	71
TABLA 3.3	TIPOS DE COMPUTADOR E INTERFASES USADAS	79
TABLA 4.1	EJEMPLOS DE TRANSDUCTORES	100
TABLA 5.1	VARIANDO EL CALOR 1	132
TABLA 5.2	VARIANDO EL CALOR 2	132
TABLA 5.3	VARIANDO EL CALOR 3	133
TABLA 5.4	VARIANDO EL CALOR 4	134
TABLA 5.5	VARIANDO EL CALOR 5	134
TABLA 5.6	VARIANDO EL CALOR 6	135
TABLA 5.7	VARIANDO EL CALOR 7	136
TABLA 5.8	VARIANDO EL CALOR 8	136
TABLA 5.9	VARIANDO EL CALOR 9	137
TABLA 5.10	VARIANDO EL CALOR 10	138
TABLA 5.11	VARIANDO EL CALOR 11	138
TABLA 5.12	VARIANDO EL CALOR 12	139
TABLA 5.13	DATOS EXPERIMENTALES	144
TABLA 6.1	SUMINISTROS	151
TABLA 6.2	RECURSOS INDIRECTOS	152
TABLA 6.3	PERSONAL	152
TABLA 6.4	MANO DE OBRA DIRECTA	153
TABLA 6.5	MANTENIMIENTO	153
TABLA 6.6	REMUNERACIÓN MANO DE OBRA DIRECTA EN LA CONSTRUCCIÓN	154
TABLA 6.7	ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS	154
TABLA 6.8	COSTOS TOTALES	155

TABLA 6.9	FINANCIAMIENTO	155
TABLA 6.10	CUOTA DE DEPRECIACIÓN	158
TABLA 6.11	DEPRECIACIÓN EN LÍNEA RECTA.	158
TABLA 6.12	COSTOS PROYECTADOS A 3 AÑOS	158
TABLA 6.13	INVERSIÓN TOTAL Y TMAR	159
TABLA 6.14	FLUJO DE CAJA	159
TABLA 6.15	FLUJOS TOTALES.....	159
TABLA 6.16	INGRESOS NETOS	160
TABLA 6.17	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	161
TABLA 6.18	ANÁLISIS DE CRITERIOS TÉCNICOS	162
TABLA 6.19	ANÁLISIS DE CRITERIOS SEGÚN INVESTIGACIÓN.....	163
TABLA 6.20	CRITERIOS INSTITUCIONALES	163

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1	ESQUEMA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	2
FIGURA 1.2	RELACIÓN AGUA- AIRE Y POTENCIAL IMPULSOR.....	8
FIGURA 1.3	ESQUEMA DE UNA TORRE DE TIRO NATURAL.	11
FIGURA 1.4	ESQUEMA DE UNA TORRE DE TIRO FORZADO.....	12
FIGURA 1.5	TORRE DE FLUJO A CONTRACORRIENTE Y TIRO INDUCIDO	13
FIGURA 1.6	TORRE DE FLUJO CRUZADO (TIRO INDUCIDO).....	14
FIGURA 1.7	ESQUEMA DE LA OPERACIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO	17
FIGURA 1.8	ESQUEMA DE TEMPERATURA BULBO SECO Y BULBO HÚMEDO	24
FIGURA 1.9	AIRE HÚMEDO A NIVEL DEL MAR SI SU T_s ES 30°C Y T_h 23°C	25
FIGURA 1.10	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO DE AIRE 1.....	25
FIGURA 1.11	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO DE AIRE 2.....	26
FIGURA 1.12	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO 3	27
FIGURA 1.13	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO $H_{CTE}\sim T_h$ CTE	27
FIGURA 1.14	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO V_{CTE}	28
FIGURA 1.15	DIAGRAMA P vs. V DE CLAPEYRON.....	29
FIGURA 1.16	DIAGRAMA T - S	29
FIGURA 1.17	DIAGRAMA H - S , AGUA Y VAPOR DEL AGUA (DIAGRAMA DE MOLLIER).30	
FIGURA 1.18	PROPIEDADES DEL AGUA EN ESTADO SÓLIDO.....	30
FIGURA 1.19	ESQUEMA DE UN SISTEMA CON CAMBIO DE FASE (P - V).....	31
FIGURA 1.20	SIGNOS PARA LA TRANSMISIÓN DEL CALOR POR CONDUCCIÓN	33
FIGURA 1.21	TEMP. Y VELOCIDAD, PLACA PLANA EN CONVECCIÓN FORZADA.....	38
FIGURA 2.1	FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	44
FIGURA 2.2	DETALLE DE LA CAPA REDUCTORA DE ARRASTRE	45
FIGURA 2.3	CAVIDADES SUPERIORES DE LA TORRE	45
FIGURA 2.4	CHIMENEA O PARTE SUPERIOR DE LA TORRE.....	46
FIGURA 2.5	ACRÍLICO FRONTAL DE LA TORRE.....	47
FIGURA 2.6	LÁMINAS METÁLICAS Y ACRÍLICO FRONTAL DE LA TORRE.....	47
FIGURA 2.7	DETALLE DE MANGUERAS Y PARTE POSTERIOR DE LA TORRE.....	48
FIGURA 2.8	DETALLE DE LA CONEXIÓN TRIFÁSICA DEL MOTOR.....	49
FIGURA 2.9	CONTACTOS DE LA PRIMERA CAJA DE REVISIÓN	50
FIGURA 2.10	CONTACTOS DE LA SEGUNDA CAJA Y FUSIBLES	50
FIGURA 2.11	CONTACTOS DE LA TERCERA CAJA DE SWITCH Y FUSIBLES	51

FIGURA 2.12	DETALLE DEL SOLENOIDE.....	51
FIGURA 2.13	PARTE POSTERIOR DE LA TORRE SIN LA CAJA DE RESISTENCIAS	52
FIGURA 2.14	ESTADO DE LOS CONDUCTOS Y RESISTENCIAS	53
FIGURA 3.1	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	56
FIGURA 3.2	PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	57
FIGURA 3.3	DAQ (HARDWARE).....	58
FIGURA 3.4	CONVERSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL (A/D).....	59
FIGURA 3.5	RETACEADO DE LA MUESTRA ANALÓGICA	59
FIGURA 3.6	INTERFASE DE ENTRADAS Y SALIDAS.....	60
FIGURA 3.7	CPU	62
FIGURA 3.8	DIAGRAMA EN BLOQUES.....	62
FIGURA 3.9	APLICACIÓN DE BOMBEO	63
FIGURA 3.10	ESTRUCTURA INTERNA DEL PLC.....	64
FIGURA 3.11	CICLO DEL PLC	65
FIGURA 3.12	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL POR ORDENADOR	67
FIGURA 3.13	LABVIEW, PANTALLA DE PROYECTO.....	72
FIGURA 3.14	PUERTO COM (RS-232).....	76
FIGURA 3.15	PUERTO PARALELO (LTP)	77
FIGURA 3.16	PUERTO PCI.....	77
FIGURA 3.17	PUERTO ISA	78
FIGURA 3.18	PUERTO USB	78
FIGURA 3.19	INTERFASE DE COMUNICACIÓN ÓPTIMA	80
FIGURA 3.20	LABVIEW 8	81
FIGURA 3.21	GENERANDO UN VI.....	81
FIGURA 3.22	SELECCIONAR UN ASISTENTE PARA DAQ	82
FIGURA 3.23	SELECCIONANDO EL CANAL CORRECTO	82
FIGURA 3.24	CONFIGURANDO EL DAQ	83
FIGURA 3.25	LAZO DE REPETICIÓN WHILE	83
FIGURA 3.26	REPRESENTACIÓN GRAFICA DE LOS DATOS.....	84
FIGURA 3.27	BOTÓN STOP DE LA ITERACIÓN	84
FIGURA 3.28	VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	85
FIGURA 3.29	PROYECTO EN LABVIEW	85
FIGURA 3.30	TAREA DAQ ASSISTANT	86
FIGURA 3.31	DAQMX READ, LECTURA DE DATOS	86

FIGURA 3.32	ARREGLO DE LAS SEÑALES	87
FIGURA 3.33	CORRECCIÓN DE TEMPERATURA A LOS DATOS DE HUMEDAD.....	87
FIGURA 3.34	COMPARACIÓN Y RANGO DE DATOS.....	87
FIGURA 3.35	CONTROLES GRÁFICOS Y NUMÉRICOS.....	88
FIGURA 3.36	PROGRAMACIÓN GRÁFICA DEL HMI	88
FIGURA 3.37	LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DETERMINANTES	89
FIGURA 3.38	INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL ORDENADA POR PESTAÑAS	90
FIGURA 3.39	RESUMEN DE DE DATOS	91
FIGURA 3.40	ESTÉTICA RESULTANTE DEL PROGRAMA.....	92
FIGURA 3.41	CONFIGURACIÓN DE CADA TERMINAL.....	93
FIGURA 3.42	ESCALA SENSOR DE TEMPERATURA	94
FIGURA 3.43	ESCALAS EN EL PROYECTO	94
FIGURA 3.44	RANGO DE AMPLITUD DE SEÑAL.....	95
FIGURA 3.45	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LOS DATOS.....	97
FIGURA 4.1	POTENCIÓMETRO.....	101
FIGURA 4.2	CONDENSADOR	102
FIGURA 4.3	EL TRANSFORMADOR DIFERENCIAL VARIABLE LINEAL (LVDT).....	102
FIGURA 4.4	SENSOR DE TEMPERATURA LM35DZ-ND.....	103
FIGURA 4.5	SENSOR DE HUMEDAD HIH-4030-001S	104
FIGURA 4.6	SENSOR DE CAUDAL FPR204-PC-PS.....	105
FIGURA 4.7	SENSOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN PX139-001D4V.....	106
FIGURA 4.8	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS USB-6218	107
FIGURA 4.9	MOTOR ELÉCTRICO	109
FIGURA 4.10	PROGRAMACIÓN HMI-TORRE v. 1.0.....	112
FIGURA 4.11	ESTÉTICA HMI-TORRE v. 1.0.....	113
FIGURA 4.12	PROGRAMACIÓN HMI-TORRE v. 2.0 (FINAL).....	113
FIGURA 4.13	ESTÉTICA HMI-TORRE v. 2.0 (FINAL)	114
FIGURA 4.14	RESISTENCIAS REPARADAS.....	115
FIGURA 4.15	LIMPIEZA DE LA CAJA Y DE LAS RESISTENCIAS	115
FIGURA 4.16	CIERRE Y SELLO DE LA CAJA DE RESISTENCIAS	116
FIGURA 4.17	INSTALACIÓN DE LOS CALENTADORES	116
FIGURA 4.18	CAMBIO DE MANGUERAS	117
FIGURA 4.19	SISTEMA DE CAÑÓN PSICROMÉTRICO	117
FIGURA 4.20	SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA.....	118

FIGURA 4.21	PRUEBAS DE CADA SENSOR.....	119
FIGURA 4.22	SOLDANDO LAS CONEXIONES.....	119
FIGURA 4.23	AISLAMIENTO DE LAS JUNTAS.....	120
FIGURA 4.24	ENCAPSULAMIENTO SENSORES DE HUMEDAD.....	121
FIGURA 4.25	INSTALACIÓN Y SUJECIÓN DE LOS SENSORES EN CADA ESTACIÓN	122
FIGURA 4.26	SENSOR DE CAUDAL.....	122
FIGURA 4.27	MODULO DE CONEXIONES	123
FIGURA 4.28	CONEXIONES AL DAQ	123
FIGURA 4.29	CAJA DE CONEXIONES	124
FIGURA 5.1	VARIACIÓN DEL CAUDAL DE AIRE Y AGUA	129
FIGURA 5.2	VARIANDO EL CAUDAL DE AGUA A 30 LTS/MIN.....	129
FIGURA 5.3	VARIANDO EL CAUDAL DE AGUA A 24 LTS/MIN.....	130
FIGURA 5.4	RESUMEN DE DATOS VARIANDO EL CALOR.....	131
FIGURA 5.5	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 1.....	132
FIGURA 5.6	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 2.....	133
FIGURA 5.7	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 3.....	133
FIGURA 5.8	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 4.....	134
FIGURA 5.9	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 5.....	135
FIGURA 5.10	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 6	135
FIGURA 5.11	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 7	136
FIGURA 5.12	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 8	137
FIGURA 5.13	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 9	137
FIGURA 5.14	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 10	138
FIGURA 5.15	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 11	139
FIGURA 5.16	COMPORTAMIENTO TÉRMICO 12	139
FIGURA 5.17	VERIFICACIÓN, DATOS DE TEMPERATURA	141
FIGURA 5.18	HIGRÓMETRO	142
FIGURA 5.19	VERIFICACIÓN, DATOS DE HUMEDAD	143
FIGURA 5.20	GRAFICA DE DATOS EXPERIMENTALES (CAUDAL)	144
FIGURA 5.21	ESCALA PROPORCIONADA POR EL FABRICANTE DEL SENSOR	145
FIGURA 5.22	REPRESENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE CAUDAL TIPO ORIFICIO.....	146
FIGURA 5.23	BRIDA Y DUCTO DE AIRE	147
FIGURA 5.24	PLACA ORIFICIO DE LA TORRE.....	147
FIGURA 5.25	COEFICIENTE DE DESCARGA, MEDIDOR DE CAUDAL TIPO ORIFICIO.....	149

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1.1.....	18
ECUACIÓN 1.2.....	20
ECUACIÓN 1.3.....	21
ECUACIÓN 1.4.....	21
ECUACIÓN 1.5.....	21
ECUACIÓN 1.6.....	21
ECUACIÓN 1.7.....	22
ECUACIÓN 1.8.....	22
ECUACIÓN 1.9.....	22
ECUACIÓN 1.10.....	22
ECUACIÓN 1.11.....	22
ECUACIÓN 1.12.....	22
ECUACIÓN 1.13.....	22
ECUACIÓN 1.14.....	22
ECUACIÓN 1.15.....	23
ECUACIÓN 1.16.....	23
ECUACIÓN 1.17.....	32
ECUACIÓN 1.18.....	32
ECUACIÓN 1.19.....	33
ECUACIÓN 1.20.....	33
ECUACIÓN 1.21.....	35
ECUACIÓN 1.22.....	35
ECUACIÓN 1.23.....	39
ECUACIÓN 1.24.....	39
ECUACIÓN 1.25.....	40
ECUACIÓN 1.26.....	40
ECUACIÓN 1.27.....	41
ECUACIÓN 1.28.....	41
ECUACIÓN 5.1.....	146

ECUACIÓN 5.2.....	146
ECUACIÓN 6.1.....	156
ECUACIÓN 6.2.....	156
ECUACIÓN 6.3.....	157
ECUACIÓN 6.4.....	157
ECUACIÓN 6.5.....	161

NOMENCLATURA UTILIZADA

A	Área
ah	Aire Húmedo
as	Aire seco
c	Calor específico
C	Capacidad calorífica
$C_{p\ as}$	Calor Especifico del aire seco Calor específico de vapor de
$C_{p\ va}$	agua
DAQ	Tarjeta de adquisición de datos
DT	Diferencia de temperatura
dx	Gradiente de área
h	Coefficiente de transferencia de calor
h'_1	Entalpía del agua de Aporte
h_{as}	Entalpía de aire seco
h_{as}	Entalpía del aire seco
HMI	Interfase Hombre Máquina
h_o	Entalpía de entrada
HR alta	Humedad relativa alta
HR baja	Humedad relativa baja
h_s	Entalpía de salida
h_{va}	Entalpía de vapor de agua
φ	Humedad relativa
k	Conductividad térmica del agua
k	Conductividad térmica
M	Masa
P_{va}	Presión de vapor de agua
p_{actual}	Presión actual
p_{ah}	Presión aire húmedo
p_{as}	Presión de aire seco
p_{as}	Presión aire seco
PC	Computador Personal
PLC	Controlador Lógico Programable
p_{sat}	Presión de saturación
p_{vs}	Presión de saturación
Q	Calor
R_{as}	Constante aire seco

R_{va}	Constante de gas de vapor de agua
S.A.D	Sistemas de Adquisición de Datos
T	Temperatura
T	Temperatura
T_a	Temperatura del aire
TBH	Temperatura bulbo humedo
TBS	Temperatura bulbo seco
va	Vapor de Agua
V_{ah}	Volumen aire húmedo
V_{as}	Volumen de aire seco
V_{as}	Volumen aire seco
V_{va}	Volumen de vapor de agua
V_{va}	Volumen vapor de agua
W	Humedad específica del aire (Kg. va / Kg. as)
w_o	Trabajo de Entrada
w_s	Trabajo de salida

RESUMEN

La torre de enfriamiento es un equipo muy necesario para el laboratorio de termodinámica, ya que aporta en la educación de los estudiantes, representa un modelo práctico y demostrativo de un proceso de transferencia de calor muy usado en la industria ecuatoriana.

Lamentablemente el equipo existente en el Laboratorio ya ha cumplido su periodo de vida útil, y los errores propios de dicha condición hacen que las prácticas sean cada vez menos confiables.

Es necesario un cambio total, pero el reemplazo por una Torre de Enfriamiento nueva es demasiado costoso, por lo antes expuesto es necesario un cambio parcial en el equipo existente que:

- Permita un proceso eficiente de transferencia de calor
- Facilite el proceso pedagógico de enseñanza práctica
- Relacione a los estudiantes con sistemas modernos de adquisición y presentación de datos

Por lo cual fue necesaria la planeación y ejecución de tareas programadas y secuenciales que se describen a continuación

1. Determinación del estado del equipo, se realizó el desmontaje y análisis de cada una de las partes piezas y accesorios, mecánicamente se encontró operable al equipo, pero se descubrió fallas en el sistema eléctrico de calentamiento de agua, una de las cuatro resistencias estaba colapsada. El estado de la tubería de agua (mangueras) era muy deficiente.
2. Se realizó el diseño del sistema de de adquisición de datos, se determinaron los componentes del mismo, se realizaron cotizaciones e

importaciones de los elementos electrónicos que intervienen en el sistema

3. Antes de la ejecución e instalación del sistema de adquisición de datos fue necesario realizar un mantenimiento correctivo, después del cual el equipo quedó listo para la instalación e implementación del moderno sistema de generación, adquisición, procesamiento y presentación de datos.
4. La instalación, configuración, y puesta en funcionamiento del sistema de datos, se realizó respetando las características estéticas y de programación acordes con los requerimientos modernos de enseñanza

CAPITULO I

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de automatización, por lo regular, permiten un control más eficiente de los procesos, incrementando la producción y efectividad, optimizando el consumo de recursos, bajando los costos y mejorando la calidad del producto final, y en este caso mejor toma de datos para el análisis de las curvas. Sin embargo, antes de iniciar un cambio tan significativo en el laboratorio, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones como son: beneficios económicos (costo de la inversión y su periodo de retorno, valores presentes o futuros, tasa interna de retorno, etc.), beneficios técnicos, beneficios en el estudio de la energía con sistemas automatizados y actualmente los beneficios para el ambiente; todo ello para demostrar que el proyecto de automatizaciones es eficiente ante directivos, jefe de laboratorio, incluso, ante los señores estudiantes que utilizan el laboratorio de termodinámica para realizar prácticas que ayudan con el desarrollo para su futura vida profesional.

Es por ello que se considera conveniente incorporar otros elementos tales como los beneficios técnicos económicos y ambientales asociados a la propuesta de automatización que se esté considerando.

En esta oportunidad se propone a través del estudio de dos casos específicos ampliamente utilizados en el sector industrial, como son torres de enfriamiento y separadores de sólidos por flotación con aire disuelto (DAF), presentar evidencias concretas donde se muestren los beneficios asociados a la instrumentación y automatización de los procesos termodinámicos, logrando un

mejor control, eficiencia y mejor tratamiento, menos utilización de recursos naturales y menos contaminación al ambiente, así facilitar la toma de decisiones al respecto.

1.2 ANTECEDENTES

El laboratorio de Termodinámica de la Escuela Politécnica del Ejército, cuenta con una torre de enfriamiento, dicho equipo de características pedagógicas, posee varios años de servicio en el área de energías. Es notable el deterioro del equipo y su sistema de adquisición de datos no resulta adecuado para la realización de las prácticas respectivas realizadas por los alumnos.

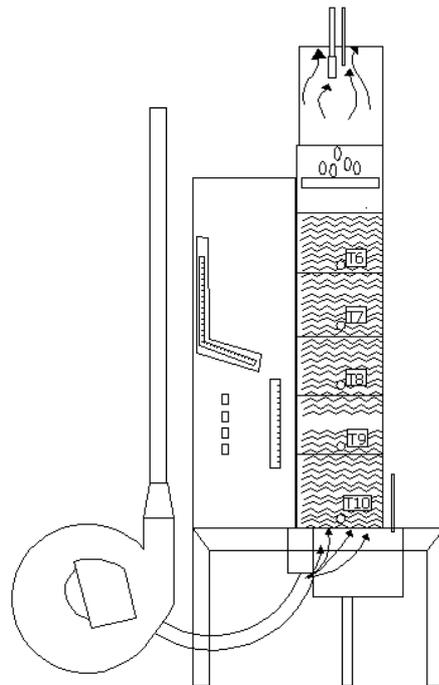


Figura 1.1 Esquema de la Torre de enfriamiento

La figura 1.1 muestra un esquema de la torre de enfriamiento respectiva, se observa el equipo completo con todas sus conexiones e implementos necesarios para el funcionamiento del mismo.

En la actualidad la educación exige nuevas formas de conocer de mejor manera la teoría con prácticas cada día de mejor calidad, y para cumplir con

ello las entidades educativas deben buscar una mejora en la parte tecnológica que les permita ser más competitivas y mejorar el proceso educativo, dentro del área de energías, en este caso aplicado a la Ingeniería Mecánica.

Con la realización de este proyecto, lograremos:

Crear un modelo pedagógico de simulación virtual interactivo del proceso exergético a fin de brindar a los estudiantes un mejor conocimiento del equipo y su funcionamiento. Detallando en cada paso la variación en la energía a lo largo de todo el proceso.

Automatizar el proceso de control energético, así como de adquisición de datos del equipo denominado Torre de Enfriamiento con el su respectivo análisis, logrando mejorar las condiciones de funcionamiento y práctica, con la implementación de los dispositivos necesarios para ello y con un mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, logrando un funcionamiento adecuado y de mayor enfoque a la realidad de los fenómenos termodinámicos.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El equipo “Torre de Enfriamiento”, ha superado su tiempo de vida útil, y los errores propios de dicha condición hacen que las prácticas sean menos confiables, esto sin contar con la dificultad y poca fiabilidad que existe en el sistema utilizado para la toma de los datos que determinan el comportamiento Termodinámico del equipo.

Nuestro propósito es realizar el análisis técnico, mecánico y eléctrico, verificar el estado de las partes, piezas y accesorios que conforman la torre, realizar los mantenimientos correspondientes y automatizar el sistema de adquisición de datos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la simulación del proceso exergético y automatización del sistema de adquisición de datos de la torre de enfriamiento ubicada en el laboratorio de termodinámica de la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear un modelo pedagógico virtual del funcionamiento y flujo energético de la torre de enfriamiento.
- Realizar mantenimiento correctivo y preventivo del equipo para garantizar su futuro funcionamiento.
- Reemplazar y/o reparar los accesorios y partes que no funcionen.
- Automatizar la adquisición de los parámetros principales en la toma de datos para la realización de las prácticas futuras.

1.5 ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN

Investigar las especificaciones, capacidad y condiciones de funcionamiento del equipo “Torre de enfriamiento”, para evaluar la eficiencia del funcionamiento.

Analizar las posibles pérdidas de energía del equipo, para crear una modelación didáctica, de las prácticas que en este equipo se realizan.

Cubrir el objetivo del proyecto implementando, reparación y adición de elementos faltantes, dañados e inexistentes respectivamente.

Este proyecto busca en primer lugar mejorar la calidad en la educación por medio de una explicación virtual interactiva, por otro lado, una mejor realización

de la práctica realizada en la torre de enfriamiento, se mejorará el estado del equipo actual buscando optimizar los recursos invertidos por la institución en mejoramiento de equipo interno.

Se ha de recordar que el equipo para la práctica actualmente ha cumplido con su vida útil, con lo cual se hace necesario y se justifica la implementación de este proyecto ya que ayudará a mejorar, controlar el equipo en lo que respecta a su proceso energético a fin de evitar pérdidas y mejorar su eficiencia, todo esto actualizando la torre con tecnología de última generación como por ejemplo Sensores, Micro controladores, para así obtener un proceso digital de adquisición de datos y facilitar información más precisa y detallada en la realización de las prácticas futuras por los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica.

Cabe recalcar que este proyecto, por la importancia que tiene para mejorar los procesos enmarcados en el plan estratégico de la ESPE, es decir Docencia, Investigación y extensión que se desarrollan en el Laboratorio de Termodinámica del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, gozara del apoyo económico del Vicerrectorado de Investigación y Extensión el cual tiene entre sus objetivos apoyar este tipo de proyectos de implementación en los Laboratorios, con lo cual queda explícitamente demostrada su importancia

Dentro del desarrollo del presente proyecto se quiere conseguir los puntos siguientes:

Creación de la simulación virtual interactiva del funcionamiento de torre de enfriamiento, con la utilización de software como Autodesk 3Ds Max 9, Autocad 2008, Mathcad 14, TCB, Dark Basic, Adobe Premier Pro y otros

Mantenimiento correctivo y preventivo del equipo, para lo cual se realizará el desmontaje del equipo y análisis de cada parte dentro del aspecto funcional, determinando posibles fallas y pérdidas de energía dentro del proceso

Implementación de dispositivos y reemplazo de partes averiadas y que no puedan ser corregidas en el mantenimiento del ítem anterior.

Automatización de la adquisición de datos del proceso energético, para lo cual se implementará dispositivos sensoriales que permitan adquirir información digital de la variación de energía en el proceso en cada fluido dentro del equipo.

1.6 TEORÍA SOBRE TORRES DE ENFRIAMIENTO

En las torres de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de refrigeración mediante la transferencia de calor y materia al aire que circula por el interior de la torre.

A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado "relleno". El agua entra en la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores. De esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico.

El relleno sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio entre el agua y el aire. Una vez establecido el contacto entre el agua y el aire, tiene lugar una sesión de calor del agua hacia el aire.

Este proceso se produce debido a dos mecanismos: la transmisión de calor por convección y la transferencia de vapor desde el agua al aire, con el consiguiente enfriamiento del agua debido a la evaporación.

En la transmisión de calor por convección, se produce un flujo de calor en dirección al aire que rodea el agua a causa de la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos.

La tasa de enfriamiento por evaporación es de gran magnitud en las torres de enfriamiento; alrededor del 90 % es debida al fenómeno difusivo. Al entrar en

contacto el aire con el agua se forma una fina película de aire húmedo saturado sobre la lámina de agua que desciende por el relleno.

Esto es debido a que la presión parcial de vapor de agua en la película de aire es superior a la del aire húmedo que circula por la torre, produciéndose una sesión de vapor de agua (evaporación). Esta masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido. Este calor latente es cedido al aire, obteniéndose un enfriamiento del agua y un aumento de la temperatura del aire.

La diferencia de temperaturas del agua a la salida y la temperatura húmeda del aire se llama «acercamiento» o “aproximación”, ya que representa el límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua.

La teoría del proceso de transferencia de calor en una torre de enfriamiento, es la que desarrolló Merkel. Este análisis se basa en la diferencia del potencial de entalpía como fuerza impulsora.

Se supone que cada partícula de agua está rodeada por una película de aire y que la diferencia de entalpía entre la misma y el aire circundante proporciona la fuerza impulsora para el proceso de enfriamiento.

En la figura siguiente se ilustran las relaciones del agua y el aire y el potencial impulsor que existe en una torre de contra flujo, en donde el aire fluye en sentido paralelo, pero siguiendo una dirección opuesta al flujo del agua.

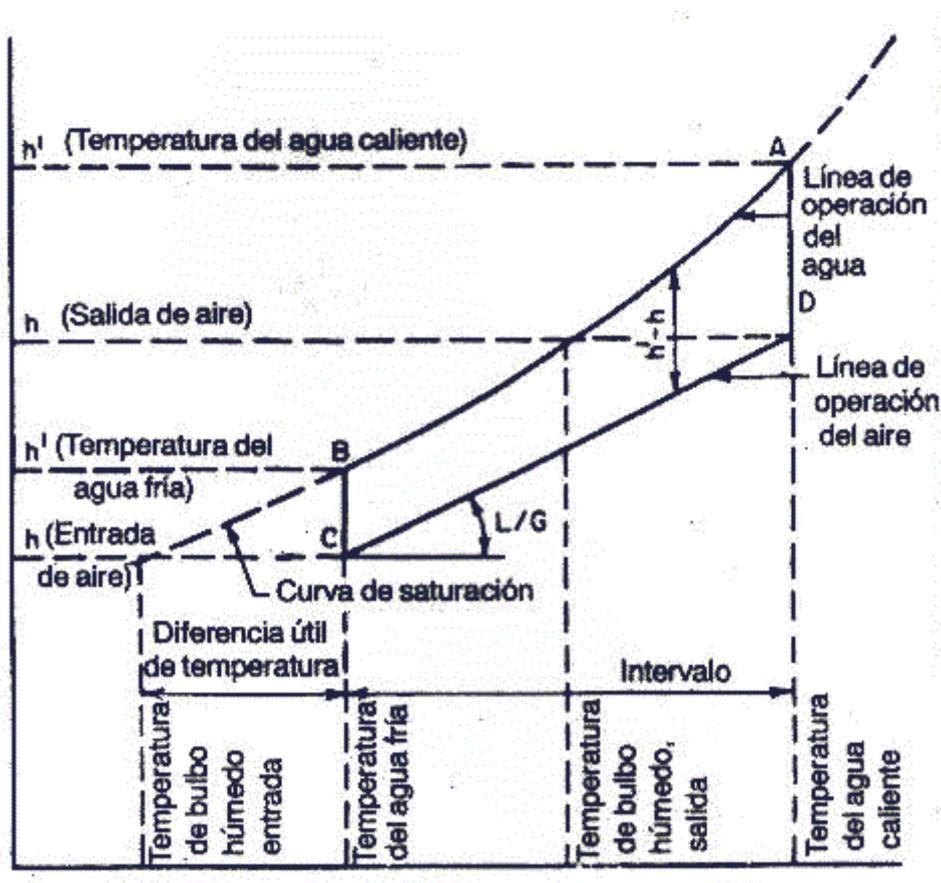


Figura 1.2 Relación Agua- Aire y potencial impulsor¹

La línea de operación del agua está representada por la línea AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y salida.

La línea de operación del aire principia en C, verticalmente por debajo de B, y en un punto que tiene una entalpía correspondiente a la temperatura de entrada de bulbo húmedo.²

La línea BC, representa la fuerza impulsora inicial ($h' - h$). El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas.

¹ Extracto Torres de Refrigeración ed. Ceac pag 8, .

² Monografías de climatización y ahorro energético. Miranda y Rufes, p13

1.6.1 PRINCIPIOS

Los procesos de enfriamiento del agua se cuentan entre los más antiguos que se conocen. Algunos de estos procesos son lentos, como el enfriamiento del agua en la superficie de un estanque.

El proceso de transferencia de calor comprende:

- La transferencia de calor latente debido a la evaporación de una porción pequeña de agua.
- La transferencia de calor sensible debido a la diferencia de temperatura entre el agua y el aire.

La posible eliminación teórica de calor por libra de aire circulado en una torre de enfriamiento depende de la temperatura y el contenido de humedad del aire. La temperatura de bulbo húmedo es un indicador del contenido de humedad del aire. Por tanto, esta es la temperatura teórica más baja a la que puede enfriarse el agua.

1.6.2 ELEMENTOS Y PARTES CONSTITUTIVAS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

- Soporte de la Torre
- Reservorio de Agua
- Panel de control Eléctrico
- La torre propiamente dicha
- Mallas internas de la torre
- Acrílico
- Chimenea de la Torre
- Motor eléctrico
- Ventilador

- Tubería y mangueras para los fluidos (Aire, Agua)
- Caja de cableado eléctrico
- Caja de Breakers
- Caja de resistencias
- Diferentes Instrumentos de medición

1.6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

La forma más simple y usual de clasificar las torres de enfriamiento es según la forma en que se mueve el aire a través de éstas. Según este criterio, existen torres de circulación natural y torres de tiro mecánico. En las torres de circulación natural, el movimiento del aire sólo depende de las condiciones climáticas y ambientales. Las torres de tiro mecánico utilizan ventiladores para mover el aire a través del relleno.

1.6.3.1 Torres de circulación natural

Se clasifican, a su vez, en torres atmosféricas y en torres de tiro natural.

Una torre de tiro natural es aquella en la que el aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno (Figura 1.3).

La diferencia de densidades entre el aire húmedo caliente y el aire atmosférico es el principal motivo por el cual se crea el tiro de aire a través de la torre.

La diferencia de velocidades entre el viento circulante a nivel del suelo y el viento que circula por la parte superior de la chimenea también ayuda a establecer el flujo de aire. Por ambos motivos, las torres de tiro natural han de ser altas y, además, deben tener una sección transversal grande para facilitar el movimiento del aire ascendente. La velocidad media del aire a través de la torre suele estar comprendida entre 1 y 2 m/s.

Estas torres tienen bajos costos de mantenimiento y son muy indicadas para enfriar grandes caudales de agua. Al igual que las torres atmosféricas, no tienen partes mecánicas. Las torres de tiro natural no son adecuadas cuando la

temperatura seca del aire es elevada, ya que ésta debe ser siempre inferior a la del agua caliente.

No es posible conseguir un valor de acercamiento pequeño y es muy difícil controlar exactamente la temperatura del agua. En las torres de tiro -natural no se pueden utilizar rellenos de gran compacidad, debido a que la resistencia al flujo de aire debe ser lo más pequeña posible.

Estas torres son muy utilizadas en centrales térmicas; muy pocas veces son aplicables a plantas industriales debido a la fuerte inversión inicial necesaria.

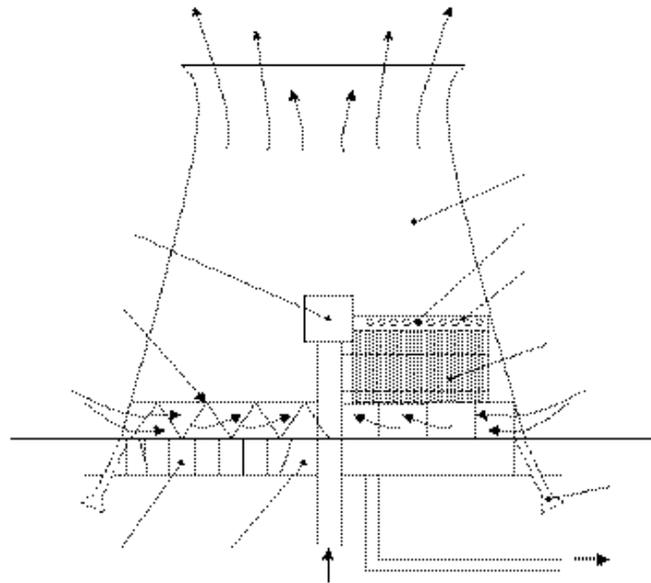


Figura 1.3 Esquema de una torre de tiro natural. ³

1.6.3.2 Torres de tiro mecánico

Las torres de tiro mecánico proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado. Se trata de torres compactas, con una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural.

³ Fundamentos de transferencia de calor, Donald kern, edición segunda.

En estas torres se puede controlar de forma precisa la temperatura del agua de salida, y se pueden lograr valores de acercamiento muy pequeños (hasta de 1 o 2 °C, aunque en la práctica acostumbra a ser de 3 o 4 °C). Si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire, el tiro es forzado. Cuando el ventilador se ubica en la zona de descarga del aire, se habla de tiro inducido.

1.6.3.3 Torres de tiro forzado

En las torres de tiro forzado el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre (Figura 1.4). Estas torres son, casi siempre, de flujo a contracorriente. Son más eficientes que las torres de tiro inducido, puesto que la presión dinámica convertida a estática realiza un trabajo útil. El aire que se mueve es aire frío de mayor densidad que en el caso de tiro inducido.

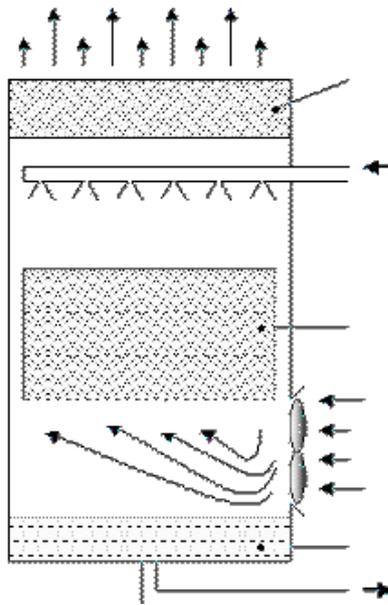


Figura 1.4 Esquema de una torre de tiro forzado

Esto también significa que el equipo mecánico tendrá una duración mayor que en el caso de tiro inducido, ya que el ventilador trabaja con aire frío y no saturado, menos corrosivo que el aire caliente y saturado de la salida.

Como inconveniente debe mencionarse la posibilidad de que exista recirculación del aire de salida hacia la zona de baja presión, creada por el ventilador en la entrada de aire.

1.6.3.4 Torre de flujo a contracorriente y tiro inducido

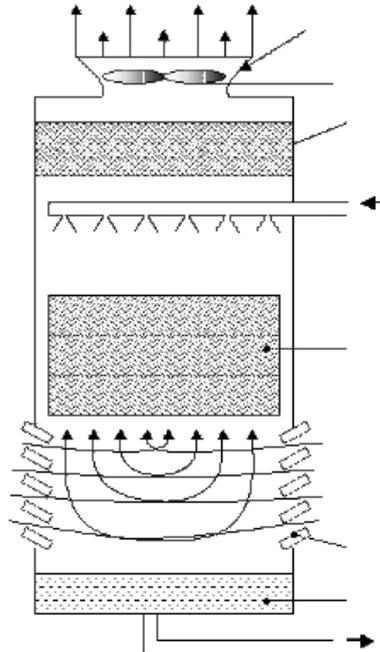


Figura 1.5 Torre de flujo a contracorriente y tiro inducido⁴

Las torres de tiro inducido pueden ser de flujo a contracorriente o de flujo cruzado.⁵

El flujo a contracorriente significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tienen la misma dirección pero sentido opuesto (Figura 1.5).

La ventaja que tiene este tipo de torres es que el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco, lográndose un máximo rendimiento.

⁴ <http://www.termica.webhop.info/>,google,actualizacion,2008

⁵ I transferencia de calor de Yuns Cengel segunda edición pag 400-402

En estas torres, el aire puede entrar a través de una o más paredes de la torre, con lo cual se consigue reducir en gran medida la altura de la entrada de aire.

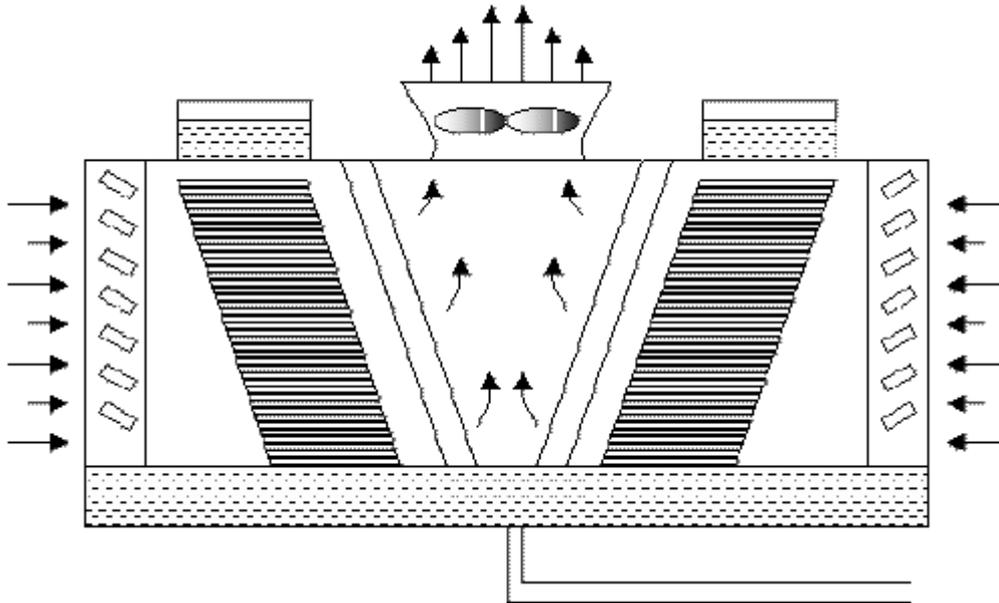


Figura 1.6 Torre de flujo cruzado (tiro inducido)⁶

Existe el riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre. La resistencia del aire que asciende contra el agua que cae se traduce en una gran pérdida de presión estática y en un aumento de la potencia de ventilación en comparación con las torres de flujo cruzado.

En las torres de flujo cruzado, el aire circula en dirección perpendicular respecto al agua que desciende (Figura 1.6). Estas torres tienen una altura menor que las torres de flujo a contracorriente, ya que la altura total de la torre es prácticamente igual a la del relleno.

La principal desventaja de estas torres es que no son recomendables para aquellos casos en los que se requiera un gran salto térmico y un valor de acercamiento pequeño, puesto que ello significará más superficie transversal y más potencia de ventilación, que en el caso de una torre de flujo a contracorriente.

⁶ TECNOLOGIA HOY. Número Abril - Mayo 1998, Caracas, Editorial D.A.D Producciones, pag. 4-10

1.6.4 FUNCIONAMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

1.6.4.1 Generalidades de torres de enfriamiento de agua

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared.

En el interior de las torres se monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría.

En las torres se colocan deflectores o eliminadores de gotas o niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la posible pérdida de agua.

El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible.

El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

Se recomienda el tratamiento del agua a enfriar, agregando álcalis, algicidas, bactericidas y floculantes; y, realizar un análisis periódico tanto de dureza como de iones cloro ya que éstos iones son causantes de las incrustaciones y de la corrosión en los elementos de la torre.

1.6.4.2 Operación de una torre de enfriamiento

Acondicionamiento del agua.- Los requisitos de acondicionamiento para una torre de enfriamiento consisten en la suma de las pérdidas de evaporación, pérdidas por arrastre y pérdidas a causa del viento.

Potencia del ventilador.- Cuando se lleva a cabo un análisis del costo de una torre de enfriamiento y los costos de operación de la misma, uno de los factores más significativos debe ser el establecimiento de la potencia del ventilador.

La potencia del ventilador de la torre de enfriamiento puede sufrir una reducción sustancial a causa de un decrecimiento en la temperatura de bulbo húmedo del ambiente, cuando se emplean motores de doble velocidad en los ventiladores.

Potencia de bombeo.- Otro factor importante en el análisis de la torre de enfriamiento, en especial para torres de tamaño mediano y grande, es la parte de la potencia de la bomba atribuida directamente a la torre de enfriamiento. Cuando se trata de torres de enfriamiento con boquillas de aspersion, la carga estática de bombeo será igual a la ascensión estática más la pérdida de presión de las boquillas.

Abatimiento de neblina y bruma.- Un fenómeno que ocurre con frecuencia en la operación de una torre de enfriamiento es la formación de neblina, que produce una bruma muy visible y con posibilidades muy altas de formación de hielo. La formación de neblina es ocasionada como resultado de la mezcla de aire caliente que abandona la torre, con aire ambiente de enfriamiento. En algunas ocasiones utilizan chimeneas en los ventiladores para reducir la neblina en la parte inferior de la torre.

En los últimos tiempos el aspecto ambiental ha recibido mayor atención, aunque aún existen personas que creen, en forma equivocada, que las descargas de las torres de enfriamiento son dañinas.

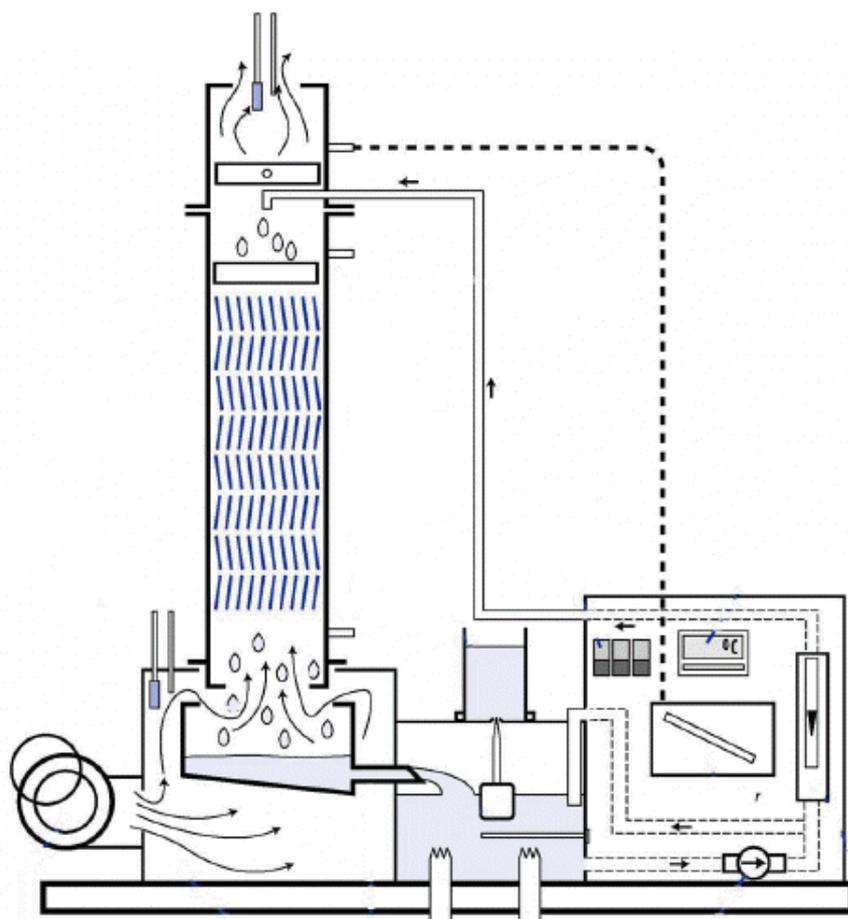


Figura 1.7 Esquema de la operación de una Torre de Enfriamiento

La evaporación como causa de enfriamiento.

El enfriamiento de agua en una torre tiene su fundamento en el fenómeno de evaporación.

La evaporación es el paso de un líquido al estado de vapor y solo se realiza en la superficie libre de un líquido, un ejemplo es la evaporación del agua de los mares.

Cuando el agua se evapora sin recibir calor del exterior es necesario que tome de sí misma el calor que necesita, esto origina que el agua se enfríe y por lo tanto que su temperatura disminuya.

1.6.4.3 Mecanismo de la evaporación

En la superficie del agua que esta en contacto con aire no saturado sucede lo siguiente:

1. Inicialmente el agua toma calor de sí misma para evaporarse y así se crea un gradiente de temperatura entre el seno del agua y la superficie de contacto.
2. El aire recibe humedad (vapor) y por lo tanto energía en forma de calor latente de vaporización.
3. Después el aire le proporciona energía al agua, la que se evapora cada vez más a expensas de la energía del aire que de sí misma, hasta establecerse un estado de equilibrio a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

Variables que influyen en la evaporación.⁷

En la superficie de contacto agua - aire el calor total que gana el aire (Q) esta dado por la relación:

$$Q = A h DT$$

Ecuación 1.1

Con la que se deduce que la evaporación depende de:

Las propiedades del sistema

- Presión total: La evaporación es más rápida a bajas presiones o en el vacío y más lenta a presiones altas.

⁷ Ingeniería térmica y de Fluidos Pedro Fernández Diez, edición 2003, pag. 5,

- Área de contacto (A). La masa de agua evaporada es proporcional a la superficie en la cual se efectúa la evaporación.
- Coeficiente de transferencia de calor (h) el cual depende entre otras variables, de la velocidad del aire. La evaporación se acelera a mayor velocidad de las corrientes de aire, el viento desplaza las capas de aire sobre la superficie de evaporación y arrastra consigo la humedad.
- Diferencia de temperatura (DT) entre el agua y el aire.

Efecto disfuncional de masa

- Humedad del aire: La evaporación es más rápida, cuanto más seco esté el aire o menos saturado de vapor.

Propiedades del agua.

- Presión de vapor.
- Conductividad térmica del agua (k). La alta conductividad térmica favorece la evaporación.

1.7 PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS DEL AIRE

El aire es un gas que envuelve la Tierra, está compuesto de una mezcla de varios gases, prácticamente siempre en la misma proporción.⁸

⁸ Termotecnia y Mecánica de fluidos dmn, Mecánica de fluidos y Termodinámica itn Carlos JRendon., edición 2000, pag 3-7

Tabla 1.1 Propiedades Psicrométricas del aire

Componente	Símb.	% Vol	% Peso
Nitrógeno	N ₂	78,08	75,518
Oxígeno	O ₂	20,94	23,128
Argón	Ar	0,0934	1,287
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,00315	0,46
Otros		0,0145	0,0178

T = 0 °C, p = 760 mm Hg

El aire que nos rodea es "aire húmedo", contiene **vapor de agua**⁹

La psicrometría estudia las propiedades de la mezcla aire-vapor, dentro de las propiedades del aire se habla de las propiedades del aire seco (as), del vapor de agua (va), y de la mezcla: el aire húmedo (ah)

1.7.1 AIRE SECO

El aire seco solo existe cuando se le retira el vapor de agua y los contaminantes al aire atmosférico. Se ha dicho que la composición del aire seco es relativamente constante, está compuesta de nitrógeno, con el 78%, oxígeno, con el 21%, y el restante 1% por: dióxido de carbono y pequeñas cantidades de hidrógeno, helio, neón, argón, kriptón, xenón y ozono.

1.7.1.1 Propiedades del aire seco:

• El volumen:
$$V_{as} \left[\frac{m^3}{kg.as} \right] = \frac{R_{as} [29,27 \text{ m/K}] T[K]}{p_{as} [kg/m^2]}$$

Ecuación 1.2

⁹ www.diagramas.com.edu, prima.com, actualización 2008

- La entalpía: $h_{as} = 0,24 (T - T_a) \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right]$

Ecuación 1.3

- El calor específico; $f(T, p)$, a 760 mm.Hg: $c_{pas} = 0,24 \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg K}} \right]$

Ecuación 1.4

Se referencia a 0°C y 760 mm.Hg siendo T la temperatura de bulbo seco en °C

$$h_{as} = 0,24 T \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right]$$

Ecuación 1.5

1.7.2 AIRE HÚMEDO

El aire atmosférico que envuelve a la tierra es una mezcla de aire seco y vapor de agua, a la que se le llama aire húmedo. La cantidad de vapor de agua en el aire seco varía de un lugar a otro y de acuerdo a las condiciones atmosféricas locales. Esta variación es entre el 1 al 3%. El contenido de vapor de agua es mayor en aquellos lugares cercanos a cuerpos de agua grandes, como: lagos, ríos, y el mar, y menor en regiones áridas. ⁵

1.7.2.1 Propiedades del vapor de agua

- El volumen: $V_{va} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg.va}} \right] = \frac{R_{va} [47,1 \text{ m/K}] T[\text{K}]}{p_{va} [\text{kg/m}^2]}$

Ecuación 1.6

- El calor específico: $c_{pva} = 0,46 \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg K}} \right]$

Ecuación 1.7

• La entalpía:
$$h_{va} = (595 + 0,46 T) w \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right]$$

Ecuación 1.8

W es la humedad específica del aire (Kg. va / Kg. as)

595 el calor latente de evaporación [Kcal./Kg.]

1.7.2.2 Propiedades de la mezcla

• El volumen:
$$V_{ah} = V_{as} = V_{va}$$

Ecuación 1.9

• La presión total:
$$p_{ah} = p_{as} + p_{va}$$

Ecuación 1.10

• La entalpía:
$$h_{ah} = h_{as} + h_{va} = (0,24 T) + [(595 + 0,46 T) w] \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right]$$

Ecuación 1.11

Aire saturado: $p_v = p_{sat}(T)$

Ecuación 1.12

Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{actual} = p_{sat}$

Ecuación 1.13

Humedad específica (x): es la cantidad de vapor de agua por masa de aire, [Kg. vapor agua / Kg. aire seco]

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

Ecuación 1.14

Humedad relativa (ϕ , HR): la relación entre p_v y p_{sat} en %

$$\phi = HR = \frac{p_v}{p_{vs}} 100$$

Ecuación 1.15

Saturación adiabática: aporte de agua hasta la saturación en una cámara térmicamente aislada

$$h_s = h_0 + (w_s - w_0) h'_1$$

Ecuación 1.16

h'_1 (la del agua de aporte)

Temperatura de bulbo húmedo: es la T_{sat} adiabática

1.7.2.3 Temperatura de bulbo seco

La temperatura de bulbo seco del aire es la temperatura que se mide con un termómetro ordinario, un termómetro de vidrio con mercurio, con el bulbo seco. Cuando se hace esta medición es necesario cubrir al termómetro de la radiación directa producida por el sol para no afectar la lectura de la temperatura.

1.7.2.4 Temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo húmedo del aire es aquella que se mide con un termómetro ordinario con el bulbo cubierto por un pabilo humedecido con agua limpia, haciéndole circular aire. El aire circulado evaporará parte del agua del pabilo para tratar de saturarse; el calor necesario para que se evapore el agua es tomado del agua restante del pabilo que al permanecer húmedo, disminuirá su temperatura hasta un límite. A este límite se le llama temperatura de "bulbo húmedo".

TB (Taire), Temp. Bulbo seco.

TBH (Tagua) Temp. Bulbo húmedo.

TBS = TBH \Rightarrow aire saturado.

$T_{BS} > T_{BH} \Rightarrow$ aire no saturado

$(T_{BS} - T_{BH})$ en tablas \Rightarrow HR

Si $(T_{BS} \gg T_{BH}) \Rightarrow$ HR baja

Si $(T_{BS} \approx T_{BH}) \Rightarrow$ HR alta

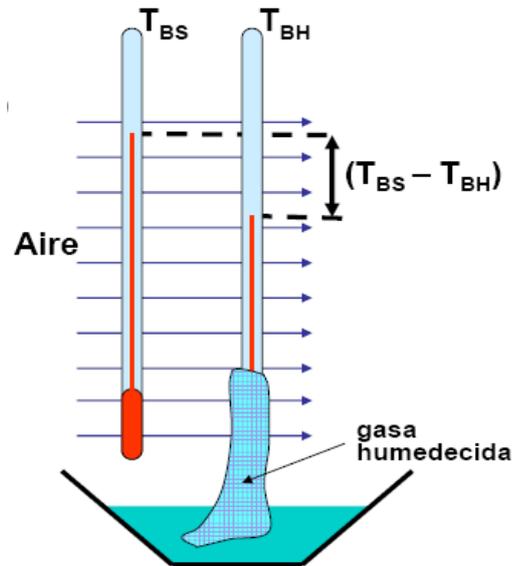


Figura 1.8 Esquema de Temperatura bulbo seco y bulbo húmedo⁵

1.7.2.5 Temperatura de punto de rocío

Es la temperatura que alcanza el aire húmedo cuando se enfría a presión constante hasta saturarse, por debajo de la cual se condensa el vapor de agua persistiendo las condiciones de saturación.

1.7.2.6 Presión atmosférica estándar

La presión atmosférica es la suma de la presión del aire seco y la presión del vapor de agua contenida en el aire. La presión atmosférica estándar es de 101.325 kPa (1.01325 bar) en el sistema internacional y de 14.69 psi en el sistema inglés. El valor de la presión atmosférica disminuye conforme se eleva sobre el nivel del mar. Esto se debe a que la atmósfera está menos densa y pesa menos por lo que se reduce su presión.

Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{\text{actual}} = p_{\text{sat}}$

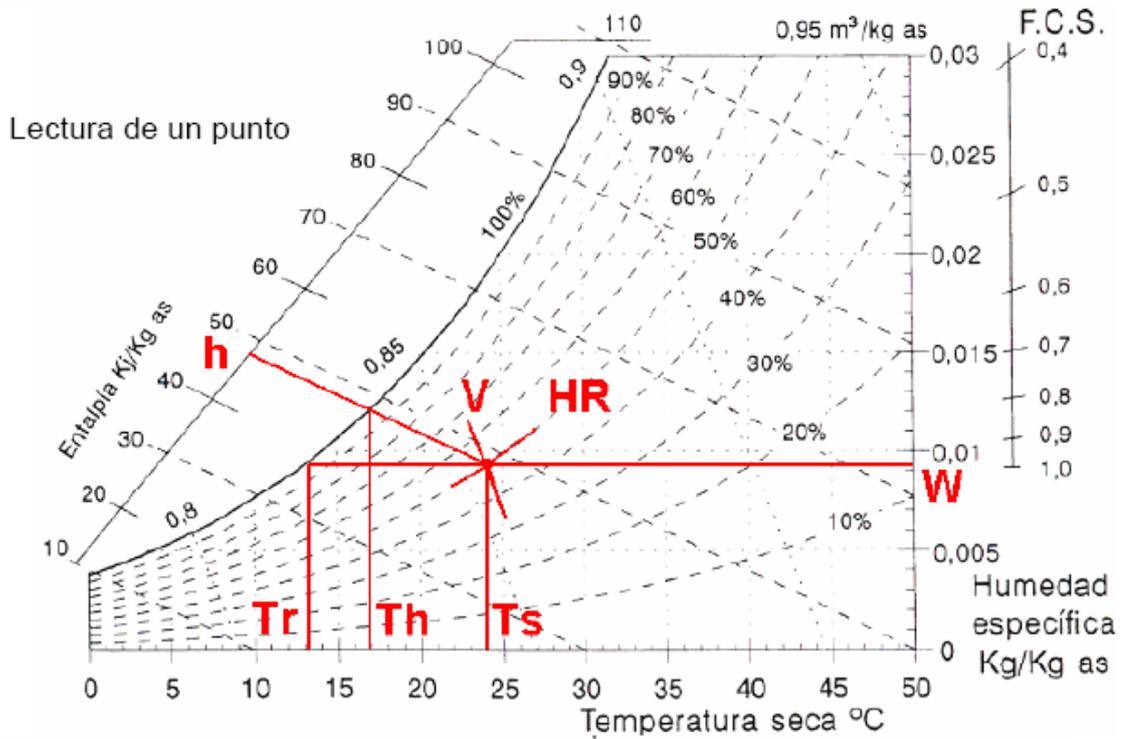


Figura 1.9 Aire húmedo a nivel del mar si su T_s es 30°C y T_h 23°C

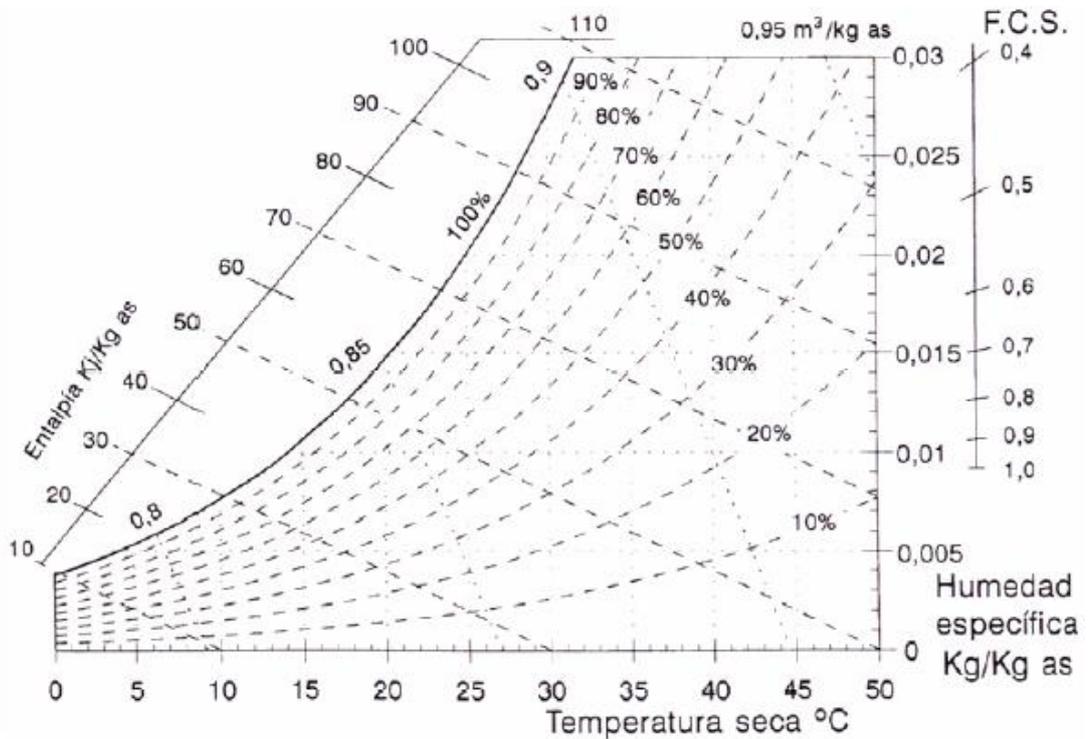


Figura 1.10 Diagrama Psicrométrico de aire 1

1.7.2.7 Humedad Relativa

La humedad relativa es la relación entre la presión parcial ejercida por el vapor de agua en cualquier volumen de aire y la presión parcial que ejercería el vapor de agua, si este estuviera saturado a la temperatura del bulbo seco del aire.

1.7.2.8 Diagramas Psicrométricos

Son empleados para resolver los problemas del aire húmedo

Hay que considerar la presión (altitud)

Existen diferentes tipos

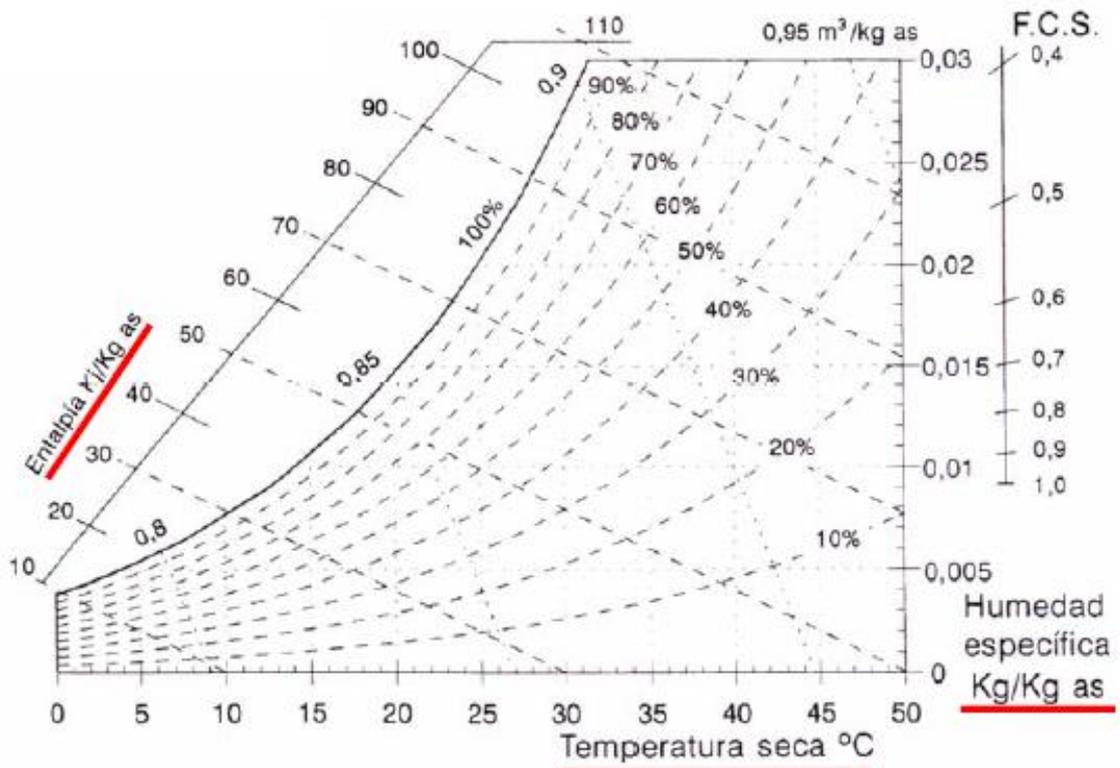


Figura 1.11 Diagrama Psicrométrico de aire 2

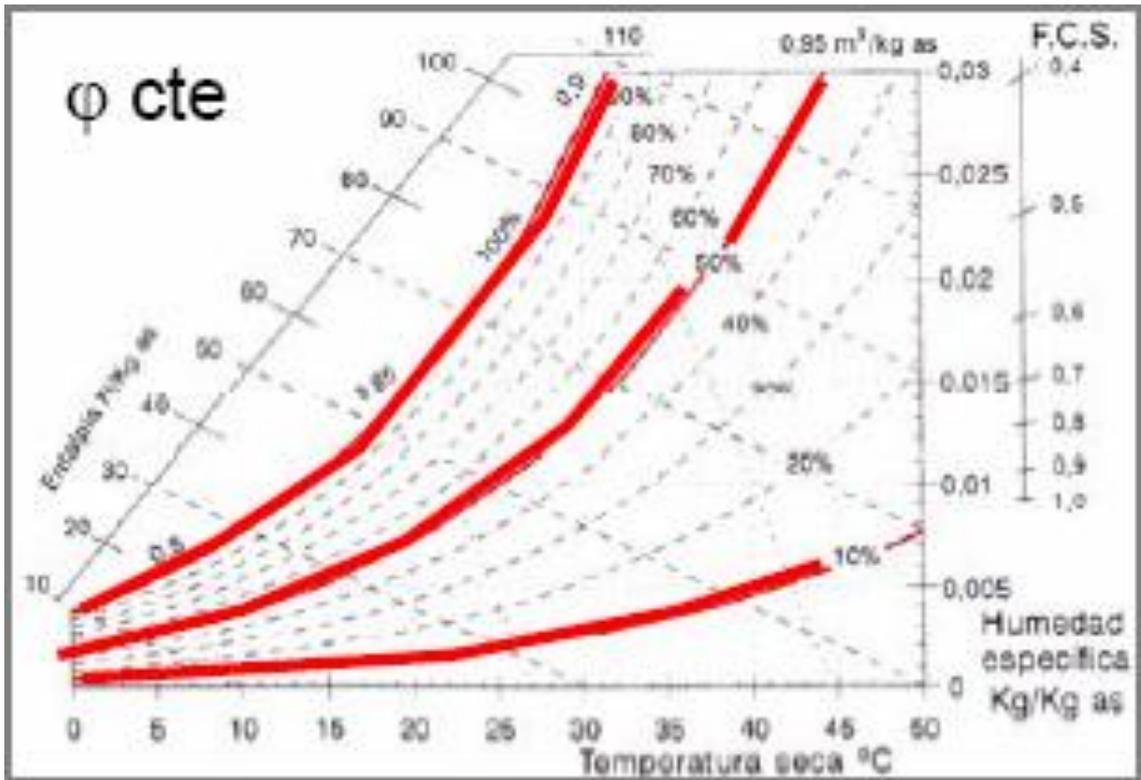


Figura 1.12 Diagrama Psicrométrico 3

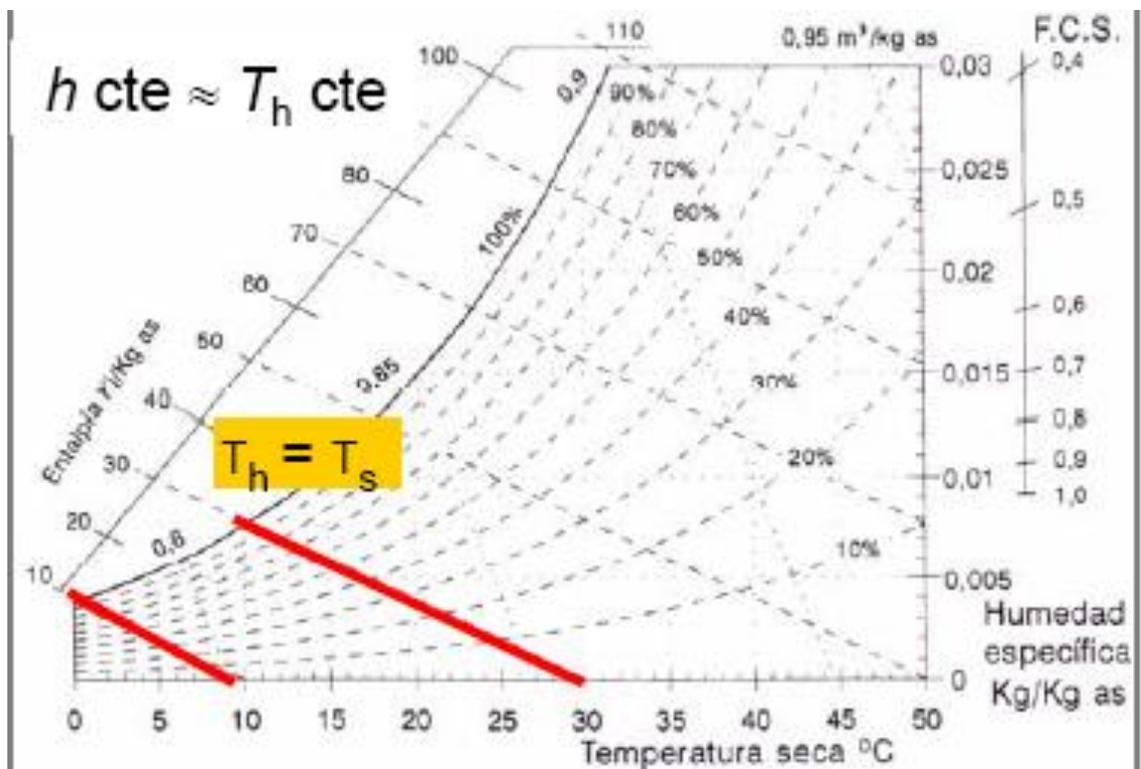


Figura 1.13 Diagrama psicrométrico h cte~Th cte

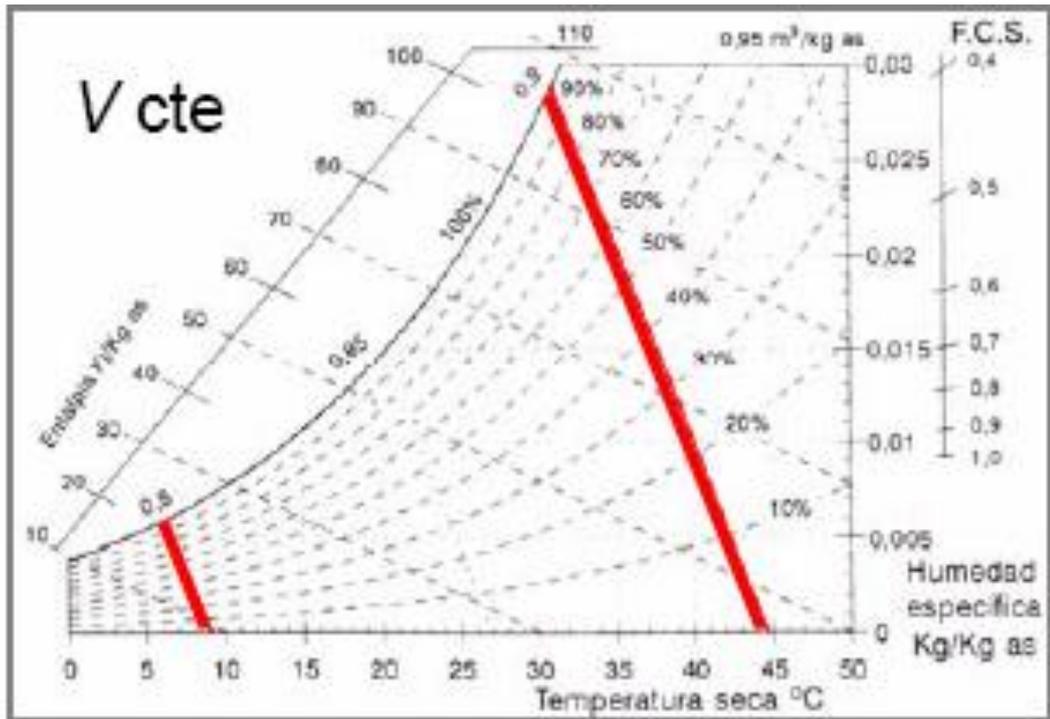


Figura 1.14 Diagrama Psicrométrico Vcte

1.8 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA¹⁰

1.8.1 ASPECTOS GENERALES

El estudio de las propiedades no solo del agua sino de cualquier otra sustancia se lo realiza utilizando los llamados diagramas termodinámicos.

Estos representan en forma gráfica las propiedades termodinámicas de sustancias reales.

Los diagramas más comunes que se emplean son:

¹⁰ Cengel, Apuntes de Termodinámica.

1.8.1.1 Diagrama P-V (diagrama de Clapeyron)

Este es uno de los más comunes. Tiene las siguientes propiedades de interés: el área bajo la curva representa el trabajo sin trabajo de flujo. En un ciclo cerrado, si el ciclo se recorre a favor de los punteros del reloj, el trabajo intercambiado es positivo (ciclo motriz).

Si se recorre en contra de los punteros del reloj, el trabajo intercambiado es negativo (ciclo que absorbe trabajo).

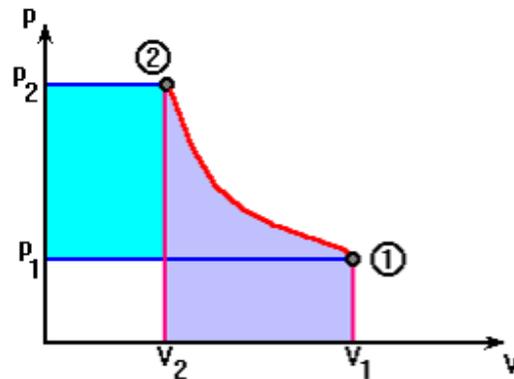


Figura 1.15 Diagrama P vs. V de Clapeyron

1.8.1.2 Diagrama T-S (Temperatura-Entropía o Diagrama Entrópico)

Es muy empleado, pues (si las evoluciones son reversibles) el área encerrada por el ciclo o bajo la curva representa los calores intercambiados.

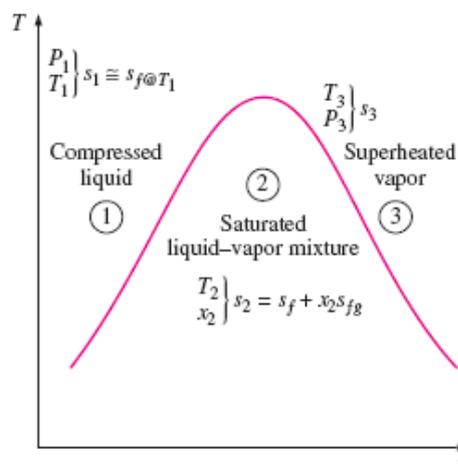


Figura 1.16 Diagrama T-S¹¹

¹¹ Transferencia de calor de Mills segunda edición

1.8.1.3 Diagrama H-S (Entalpía-Entropía o Diagrama de Mollier)

Permite representar con facilidad evoluciones reales y estudiar las variaciones de entalpía. Esto último es clave al momento de estudiar intercambios de calor y trabajo basándose en el primer principio.

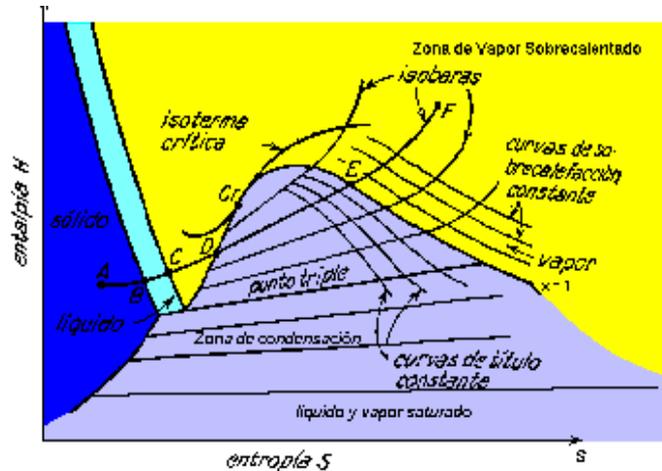


Figura 1.17 Diagrama H-S, Agua y Vapor del agua (Diagrama de Mollier)

1.8.1.4 Diagramas P-V-T o en tres dimensiones

Los diagramas P-V-T o en tres dimensiones son aquellos que muestran el valor y la variación de diferentes propiedades de una sustancia en una misma figura, esto se da gracias a que las variables están relacionadas entre si.

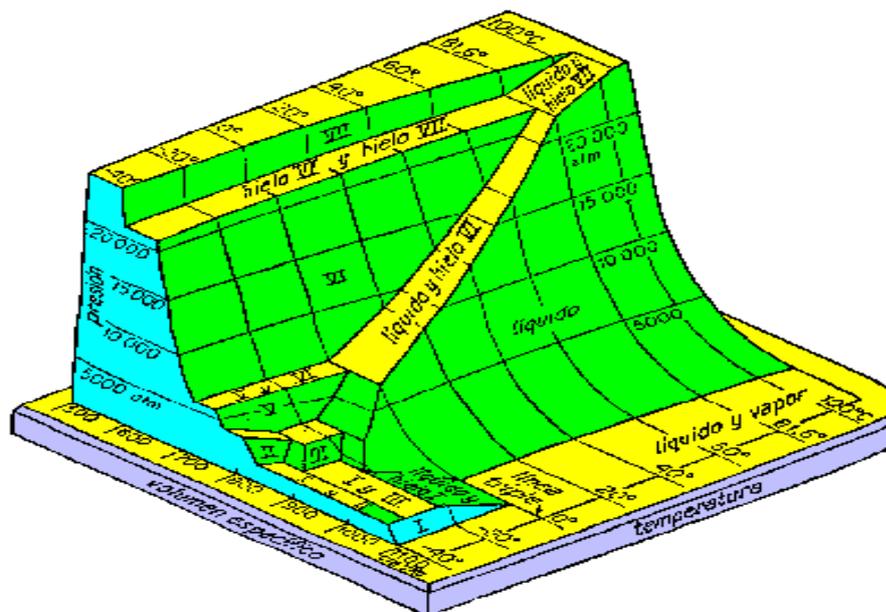


Figura 1.18 Propiedades del Agua en estado Sólido

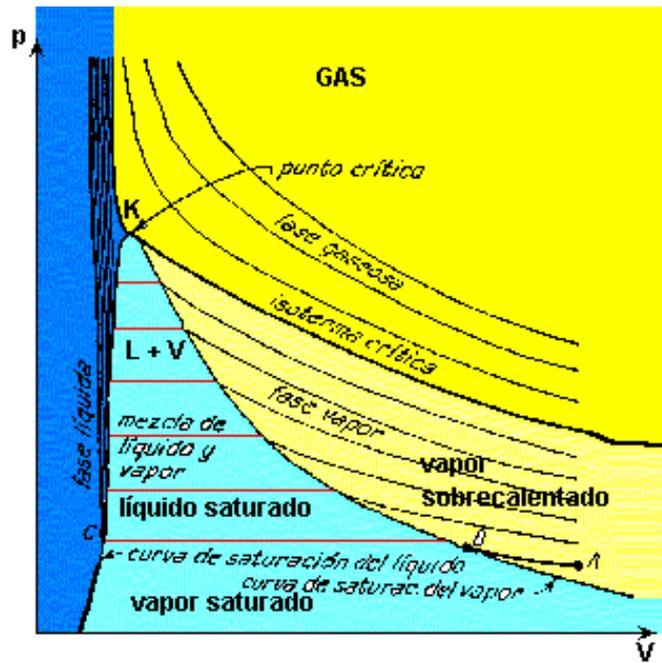


Figura 1.19 Esquema de un sistema con cambio de fase (p-v)

La curva de cambio de fase está en negro. Se define una campana celeste que es la zona donde se produce el cambio de fase.

A la izquierda (en azul) está la zona de líquido saturado y a la derecha la zona de vapor sobrecalentado (color damasco). Las líneas que aparecen son isotermas. De ellas destaca la isoterma crítica. Cuando el vapor de agua está sobre esa temperatura crítica (K), por mucho que se comprima el vapor, este no condensa. Esto define la zona amarilla de Gas.

1.8.2 CAPACIDAD CALÓRICA

La capacidad calórica de un cuerpo es la razón de la cantidad de calor que se le cede a dicho cuerpo en una transformación cualquiera con la correspondiente variación de temperatura, depende de la masa del cuerpo, de su composición química, de su estado termodinámico y del tipo de transformación durante la cual se le cede el calor.

$$Q = C.\Delta T$$

Ecuación 1.17

Q=calor

C=capacidad calorífica

Delta T= variación de temperatura

1.8.2.1 CALOR ESPECÍFICO

Es la cantidad de calor medida en calorías, que se requiere para elevar la temperatura de un gramo de una sustancia un grado centígrado.

El calor específico es representado algunas veces por medio del número de unidades termales británico necesarias para elevar la temperatura de una libra de una sustancia un grado Fahrenheit.

El calor específico del agua es una caloría por grado; esto es, que una caloría de calor debe ser sustituida para que un gramo de agua eleve su temperatura un grado centígrado.

$$c=C/M$$

Ecuación 1.18

c = calor específico

C= capacidad calorífica

M= masa

1.9 PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción

1.9.1 TRANFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION

1.9.1.1 Transmisión De Calor Por Conducción En Régimen Estacionario Y Flujo Unidireccional

La conducción es el único mecanismo de transmisión del calor posible en los medios sólidos opacos; cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura, siendo el calor transmitido por conducción Q_k , proporcional al gradiente de temperatura dT/dx , y a la superficie A , a través de la cual se transfiere, Figura 1.19 es decir:

$$Q_k \cong A \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 1.19

En donde T es la temperatura y x la dirección del flujo de calor.

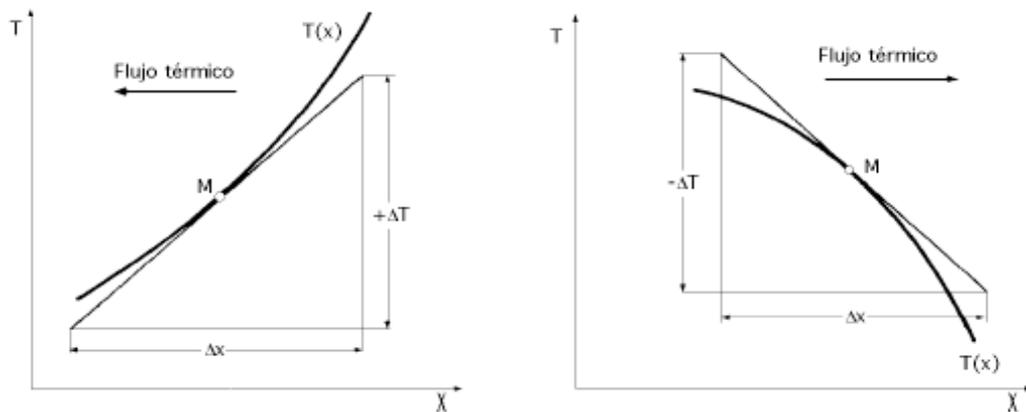


Figura 1.20 Signos para la transmisión del calor por conducción

El flujo real de calor depende de la conductividad térmica k , que es una propiedad física del cuerpo, por lo que la ecuación anterior se puede expresar en la forma:

$$Q_k = -k A \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 1.20

En la que si la superficie A de intercambio térmico se expresa en m^2 , la temperatura en grados Kelvin, la distancia x en metros y la transmisión del calor en W , las unidades de k serán $W/m^{\circ}K$.

El signo (-) es consecuencia del Segundo Principio de la Termodinámica, según el cual, el calor debe fluir hacia la zona de temperatura más baja. El gradiente de temperaturas es negativo si la temperatura disminuye para valores crecientes de x , por lo que si el calor transferido en la dirección positiva debe ser una magnitud positiva, en el segundo miembro de la ecuación anterior hay que introducir un signo negativo.¹²

1.9.1.2 Conductividad Térmica

La conductividad térmica k es una propiedad de los materiales que, excepto en el caso de los gases a bajas temperaturas, no es posible predecir analíticamente; la información disponible está basada en medidas experimentales.

En general, la conductividad térmica de un material varía con la temperatura, pero en muchas situaciones prácticas se puede considerar con un valor medio constante, si el sistema tiene una temperatura media, lo que proporciona resultados bastante satisfactorios.

En la Tabla 1.2 se relacionan los valores típicos de la conductividad térmica de algunos metales, sólidos no metálicos, líquidos y gases, que nos dan una idea del orden de magnitud con que se presenta en la práctica.

¹² Transferencia de calor Incropera cuarta edición, pag.

Tabla 1.2 Conductividad Térmica de algunos materiales

Material	k (W/m°K), a 300°K
Cobre	386
Aluminio	204
Vidrio	0,75
Plástico	0,2-0,3
Agua	0,6
Aceite de motores	0,15
Freón (líquido)	0,07
Aire	0,026

En muchos materiales el valor de **k** no es constante, sino que varía con la temperatura y con la composición química de los mismos. Cuando sólo depende de la temperatura, se puede poner el valor de **k** en la forma:

$$k = k(T) = k_0 (1 + \beta T) \quad \beta$$

Ecuación 1.21

Siendo **k (T)** el valor de la conductividad a la temperatura de referencia, una constante, (coeficiente de dilatación). En tal caso la integración de la ecuación de Fourier proporciona:

$$Q_k = - \int_{T_1}^{T_2} A k_0 (1 + \beta T) dT = \frac{k_0 A}{L} \left\{ T_1 - T_2 + \frac{\beta}{2} (T_1^2 - T_2^2) \right\} = \frac{k_m A}{L} (T_1 - T_2)$$

Ecuación 1.22

En la que k_m es el valor de **k** a la temperatura $\frac{T_1 + T_2}{2}$

Tabla 1.3 Valores de k'/k

T/Tk	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	1
k'/k	38	33	27	19,3	15,5	12	9,3	4,3	1

1.9.1.3 Conductividad Térmica De Gases Y Vapores

Se muestran algunas conductividades térmicas de gases y vapores, observándose su variación con la temperatura.

Tabla 1.4 Valores de C y n° de la formula de Sutherland

Fluido	C	$\eta_0 = (\text{Kg seg/m}^2)$
Aire	114	0,166
Oxígeno	128	0,18
Hidrógeno	74	0,083
Nitrógeno	110	0,16
Anhídrido carbónico	260	0,137
Monóxido de carbono	—	0,16
Vapor de agua	673	0,087

1.9.2 TRASFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN¹³

Cuando un fluido a TF se pone en contacto con un sólido cuya superficie de contacto está a una temperatura distinta TpF el proceso de intercambio de energía térmica se denomina **convección**. Desarrollaremos una visión general del fenómeno, planteando las ecuaciones básicas que se utilizan en los cálculos.

Existen dos tipos de convección:

- a) Convección libre o natural
- b) Convección forzada

¹³ Procesos de transferencia de calor de De Witt segunda edición.

1.9.2.1 Convección Natural

La fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a unas fuerzas ascensionales.

El fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades, sin ninguna influencia de fuerza motriz exterior; ejemplos típicos son la transmisión de calor al exterior desde la pared o el tejado de una casa en un día soleado sin viento.

La convección en un tanque que contiene un líquido en reposo en el que se encuentra sumergida una bobina de calefacción, el calor transferido desde la superficie de un colector solar en un día en calma, etc.

1.9.2.2 Convección Forzada

Es aquella que tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad u_F sobre una superficie que se encuentra a una temperatura T_{pF} , mayor o menor que la del fluido T_F .

Como la velocidad del fluido en la convección forzada u_F es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

Independientemente de que la convección sea natural o forzada, la cantidad de calor transmitida Q_c , se puede escribir (Ley de Newton): en la que:

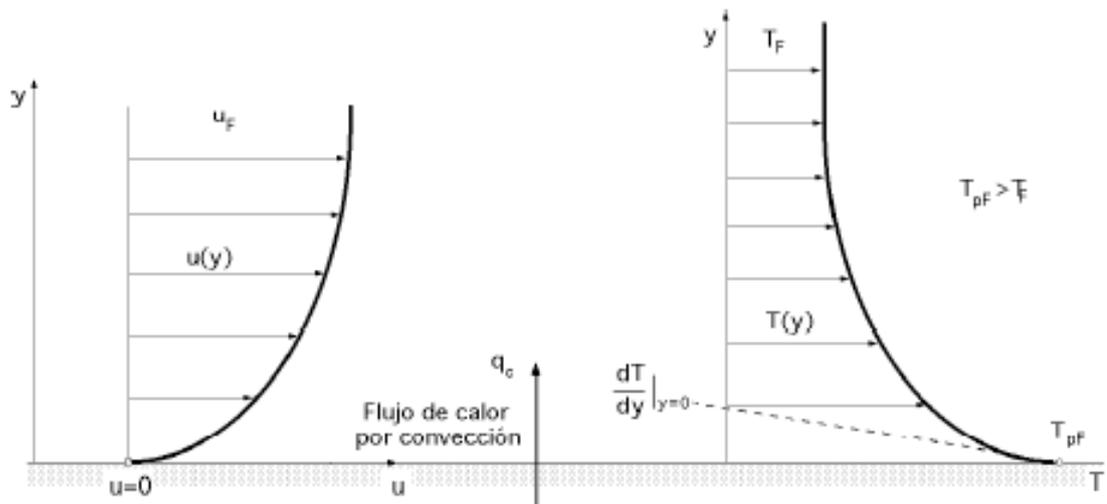


Figura 1.21 Temp. Y velocidad, placa plana en convección forzada

Donde **hcF** es la conductancia convectiva térmica unitaria o coeficiente de transmisión del calor por convección en la interfase líquido-sólido, en $W/m^2\text{°K}$ a es el área superficial en contacto con el fluido, en m^2 **TpF** es la temperatura de la superficie. **TF** es la temperatura del fluido no perturbado.

Tabla 1.5 Coeficientes de transmisión de calor por convección

Tipo de convección y fluido	h_c ($W/m^2\text{°K}$)
Convección natural, aire	5-25
Convección natural, agua	20-100
Convección forzada, aire	10-200
Convección forzada agua	50-10.000
Agua en ebullición	3.000-100.000
Vapor de agua en condensación	5.000-100.000

En la Tabla 1.5 se relacionan algunos valores aproximados de los coeficientes de transmisión de calor por convección, incluyendo la vaporización (ebullición) y la condensación, consideradas usualmente como una parte del área de la convección.

$$Q_c = h_{cF} A (T_{pF} - T_F)$$

Ecuación 1.23

Para todos los gases, un aumento de la temperatura implica que la densidad disminuya y la viscosidad aumente.

Para todos los líquidos, un aumento de la temperatura implica que la densidad y la viscosidad disminuyan.

Se ha verificado que en la convección natural, si el fluido es un líquido, la velocidad crece al principio con la distancia a la placa, debido a que la viscosidad disminuye más rápidamente que la densidad, que lo hace más lentamente, fenómeno que se invierte desde la zona de velocidad máxima hasta el resto del fluido; la fuerza ascensional decrece a medida que la densidad del fluido se aproxima a la del fluido de los alrededores, por lo que la velocidad alcanza, en primer lugar, un máximo y, posteriormente, se aproxima a cero lejos de la superficie caliente.

Para la distribución de temperaturas en la convección natural y en la forzada tiene una forma similar; en ambos casos, el mecanismo de la transmisión del calor en la interfase (fluido/sólido) corresponde a la conducción.

1.9.2.3 El coeficiente de transmisión de calor por convección forzada ¹⁴

Este coeficiente de transmisión de calor por convección forzada, es el que depende, en general, de la densidad, de la viscosidad y de la velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico), es decir:

$$h_{cF} = f(\rho, \eta, u_F, k, c_p)$$

Ecuación 1.24

¹⁴ TECNOLOGIA HOY. Número Febrero – Marzo 1998, Caracas, Editorial D.A.D Producciones,.

En la convección forzada la velocidad viene impuesta al sistema por una bomba, ventilador, etc, y se puede medir directamente,

$$u_F = \frac{Q}{\Omega}$$

Ecuación 1.25

En la convección natural, la velocidad es de la forma: $u_F = f(\Delta T, \beta, g)$, es decir, depende de:

- La diferencia de temperaturas ΔT entre la superficie y el fluido
- Del coeficiente de dilatación térmica del fluido β que determina el cambio de densidad por unidad de diferencia de temperatura
- Del campo de fuerzas exteriores que, en general, es la gravedad

El número a dimensional que caracteriza la convección natural es el número de Grashoff, que es el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas de viscosidad, de la forma:

$$Gr = \frac{g \beta}{\nu^2} \Delta T L^3$$

Ecuación 1.26

Para la convección natural en régimen laminar el nº de Rayleigh es:

$$Ra = Gr Pr < 10^7$$

Para la convección natural en régimen turbulento el nº de Rayleigh es:

$$Ra = Gr Pr > 10^9$$

El número a dimensional se caracteriza por no tener unidades y en la convección forzada es una característica el número de Reynolds, que es el cociente entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad, de la forma:

$$Re = \frac{u_F L}{\nu} \Rightarrow \begin{cases} \text{Régimen laminar por el interior de tuberías: } Re < 2000 \\ \text{Régimen turbulento por el interior de tuberías: } Re > 8000 \end{cases}$$

Ecuación 1.27

1.9.2.4 Número de Prandtl

El número de Prandtl es un número adimensional que puntualiza al fluido clasificándolos, en primera aproximación, en cuatro grandes grupos⁸

- Gases: $Pr = 1$
- Líquidos (agua, aceites calientes, etc): $Pr > 1$
- Aceites a bajas temperaturas: $Pr > 1000$
- Metales líquidos: $Pr \ll 1$

La transmisión de calor por convección se puede tratar también dentro de la estructura de una red de resistencias térmicas, en la forma:

$$R_c = \frac{1}{h_c A}$$

Ecuación 1.28

Y esta resistencia, en una interfase superficie-fluido, se puede incorporar fácilmente a una red térmica en la que participen otras formas de transmisión de calor.¹⁵

¹⁵ Procesos de transferencia de calor, Donald Kern

CAPÍTULO II

2 ESTADO ACTUAL DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La torre de enfriamiento que existe en el laboratorio de termodinámica del DECEM, ya ha cumplido con su vida útil, es necesario reconocer el trabajo de mantenimiento permanente que se le ha dado, por parte del personal encargado de dicho laboratorio, mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, que ha servido para que el equipo esté todavía operable y que sus partes y piezas estén en un estado aceptable teniendo en cuenta las condiciones y tiempo de de operación.

Este capítulo describirá el estado actual de la torre de enfriamiento, esto es de vital importancia, ya que permitirá tener un panorama claro de la condición en que se encuentra cada parte y pieza de la torre en enfriamiento

El levantamiento técnico se ha dividido en tres etapas; de acuerdo a la función, así por ejemplo tenemos el sistema mecánico, el sistema eléctrico, y sistema térmico.

2.1 LEVANTAMIENTO TÉCNICO - MECÁNICO

Al realizar el levantamiento técnico mecánico se revisa primeramente el soplante de aire centrífugo de una sola etapa, y la persiana para control de aire en entrada, se pudo observar que está totalmente balanceado, se concluye que el estado es operable.

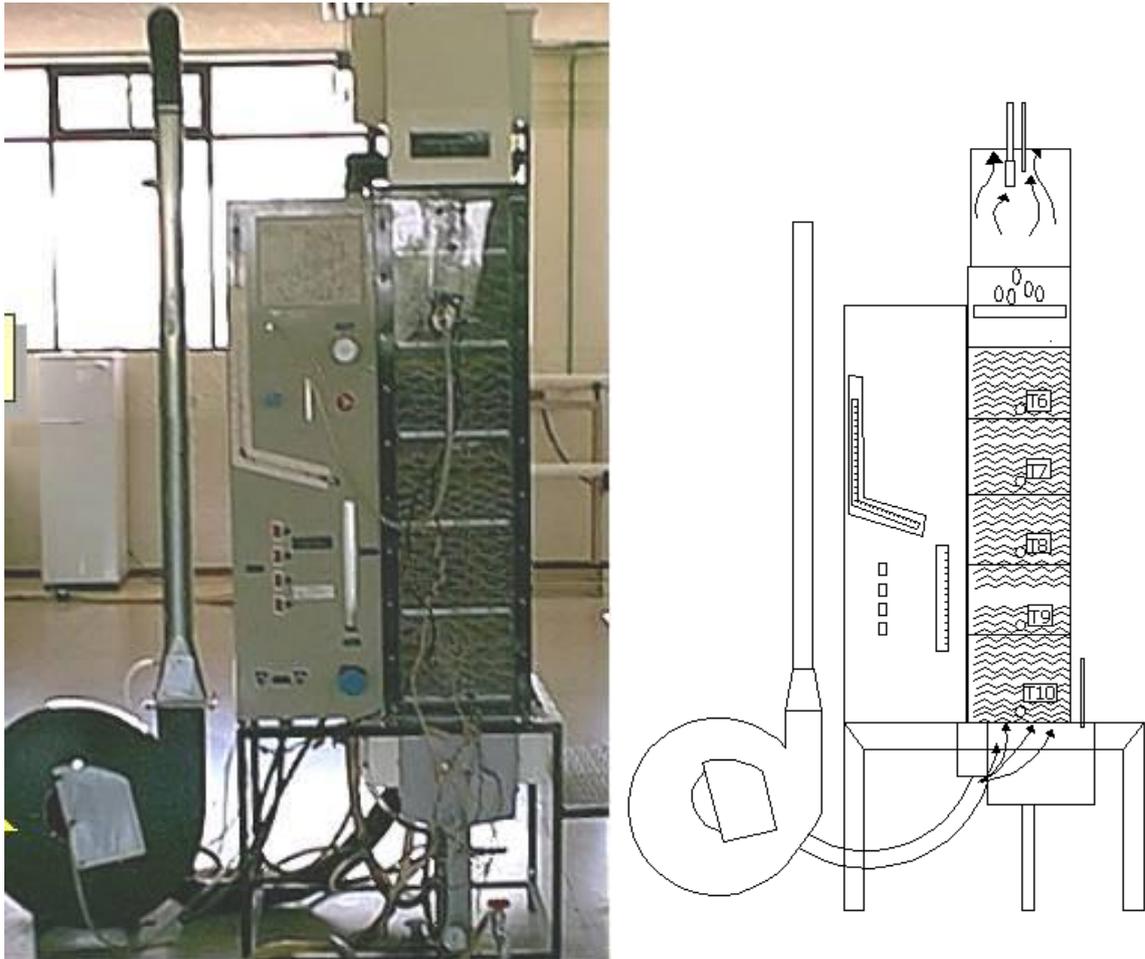


Figura 2.1 Fotografía y Esquema de la torre de Enfriamiento

Se continuó con la tubería que conduce el aire hacia la torre, se inspeccionó y se constató que la tubería está en buen estado, pero para estar óptima necesita limpieza especialmente las mangueras que conducen el agua de alimentación y de descarga.

Luego se desmontó la parte superior de la torre desconectando las conexiones de agua y quitando los pernos de la torre propiamente dicha, se observó que se encuentra en correcto estado aunque, es necesaria una limpieza especialmente en la capa reductora de arrastre, y las cavidades superiores.



Figura 2.2 Detalle de la capa reductora de arrastre



Figura 2.3 Cavidades superiores de la torre

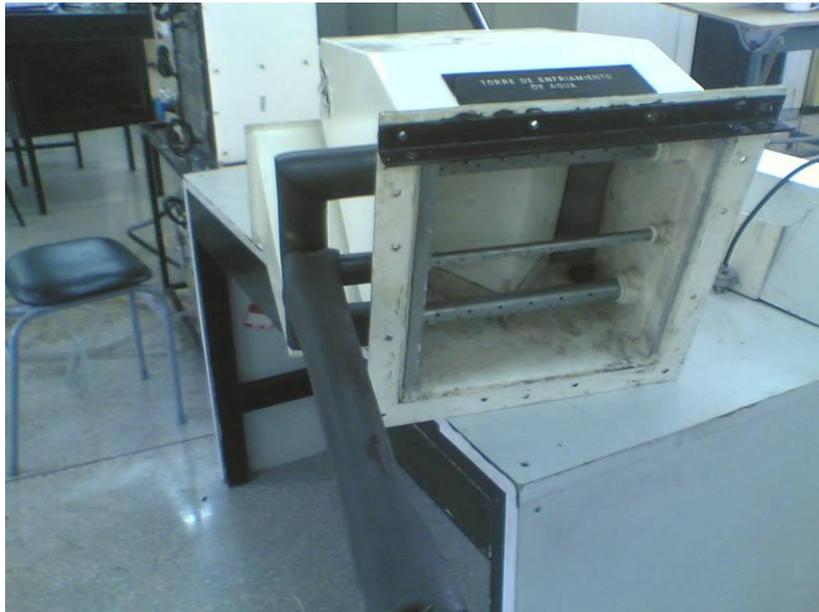


Figura 2.4 Chimenea o parte superior de la torre

Se pudo constatar que la manguera que conecta los rociadores de agua y la caja de resistencias esta en muy mal estado y se recomienda su reemplazo

Como siguiente paso, se retiro el acrílico frontal de la torre para tener acceso a las láminas internas y verificamos que el acrílico frontal presenta manchas y ralladuras, puesto que el sistema entero va a cambiar se recomienda sustituir dicho acrílico por uno nuevo que se ajuste a las necesidades del nuevo sistema de adquisición de datos.

Esto se debe especialmente a que los sensores que se han pensado instalar dentro de la torre, no requieren conexiones frontales de ningún tipo. La comunicación de los sensores se realizará por un orificio en la parte posterior de la torre



Figura 2.5 Acrílico Frontal de la Torre

Se tuvo acceso a las láminas metálicas internas y se pudo verificar que están en muy buen estado, totalmente operables



Figura 2.6 Láminas metálicas y Acrílico Frontal de la Torre

Para seguir con la inspección se desmontó el sistema de mangueras que llevan el agua desde la red y se observó que están gastadas y manchadas por el tiempo que llevan operando en el equipo, se recomienda su cambio total; como conclusión es necesario cambiar todas las mangueras conectoras de la torre.



Figura 2.7 Detalle de mangueras y parte posterior de la torre

Se comprobó el estado de la válvula reguladora de caudal de agua y observamos que pese a sus años de funcionamiento, se encuentran en un estado aceptable y que pueden seguir operando con efectividad.

En general el sistema mecánico de la Torre de enfriamiento se encuentra en un estado bueno y operable pero se recomienda una limpieza profunda de todos los subsistemas para que se eviten ineficiencias que sin duda afectan al desempeño de las prácticas en el laboratorio.

2.2 LEVANTAMIENTO TÉCNICO-ELÉCTRICO

La revisión del estado eléctrico de La torre comenzó con la verificación de la alimentación trifásica de la máquina y se encontró que el cableado y las conexiones están operables al 100%.

Luego revisamos las conexiones que van al motor de 4hp y notamos que la placa protectora de dicha conexión no estaba bien sujeta por la pérdida de un tornillo, pero esa fue la única novedad con el motor eléctrico.



Figura 2.8 Detalle de la conexión trifásica del motor

Después se desmontó primera caja de conexión de la torre y se verificó el estado de los contactos, su estado sigue dentro de lo reglamentario para su operación normal pero con pequeñas muestras de desgaste y suciedades normales de acuerdo al uso que tienen, se recomienda limpieza.

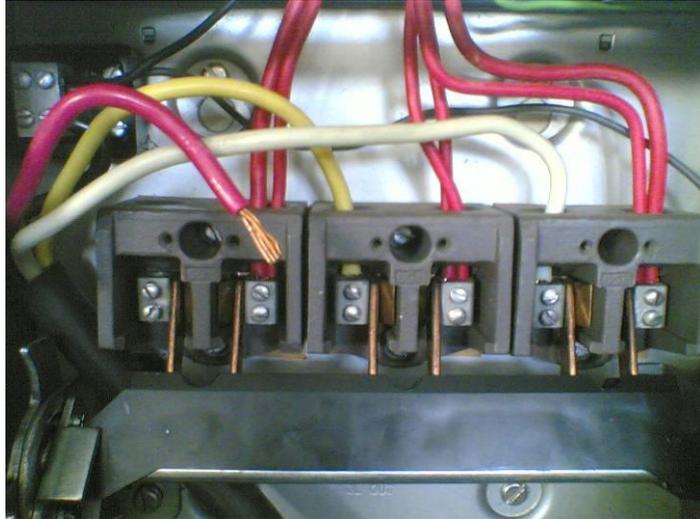


Figura 2.9 Contactos de la primera caja de revisión

Luego se verificó la segunda caja donde se encuentran otros contactos y los fusibles de 20 Amperios, y se observó que tanto los cables como los contactos están en muy buen estado, pero para una revisión posterior se recomienda la compra de nuevos fusibles, siempre necesarios para cumplir con el mantenimiento preventivo.

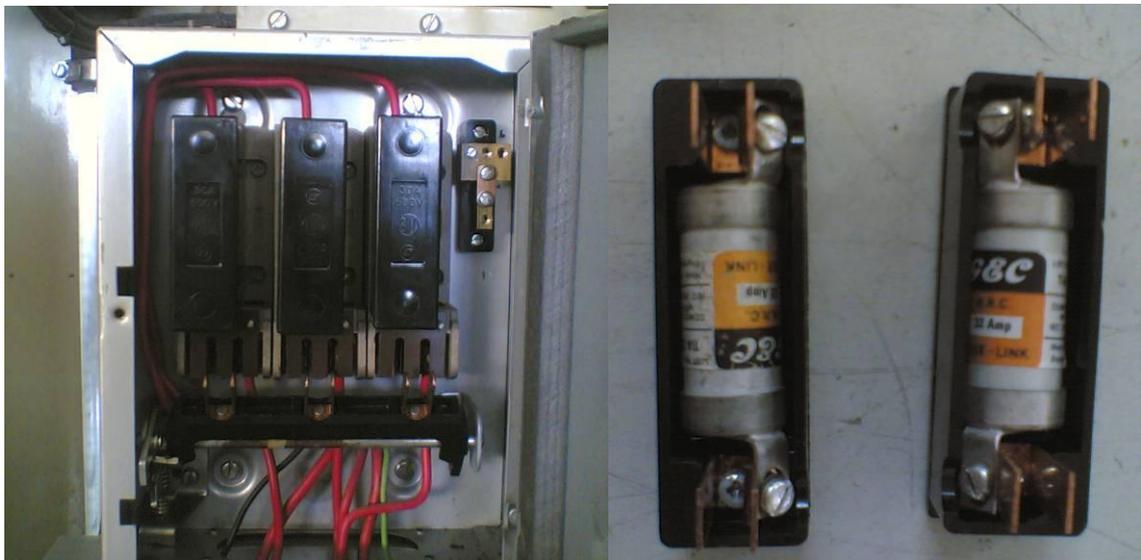


Figura 2.10 Contactos de la segunda caja y fusibles

Después se accedió a la tercera caja en donde se encuentran los contactos de los switch (cada uno con su fusible de seguridad) que activan cada una de las 4 resistencias, y en la parte inferior se encuentra el solenoide, se verifico el estado de las conexiones, la mayoría soldadas, y no se observó alguna anomalía o desgaste excesivo de dichas conexiones.

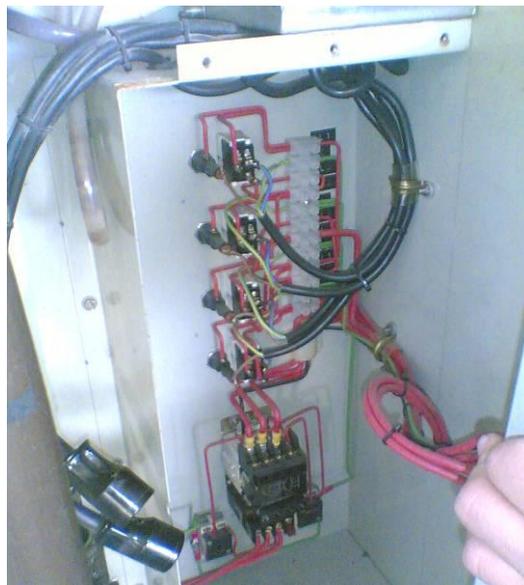


Figura 2.11 Contactos de la Tercera caja de switch y fusibles

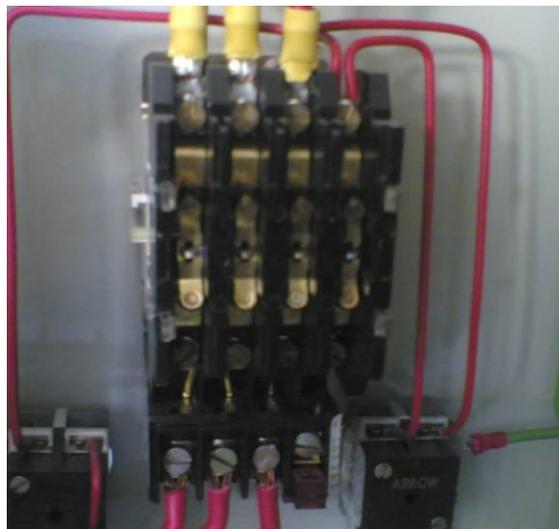


Figura 2.12 Detalle del solenoide

Como siguiente paso se procedió a desmontar la caja de las resistencias para poder maniobrar mejor dentro de la misma y tener mejor acceso a las resistencias



Figura 2.13 Parte posterior de la torre sin la caja de resistencias

Después de desarmar la caja de resistencias se presentó un panorama nada alentador, encontramos suciedad, óxido, partículas sólidas, desgaste y lo más importante, el colapso de uno de los conductos que llevan resistencias en su interior, y la directa exposición nada favorable de una de las resistencias con el agua

Se investigó con el señor laboratorista desde cuándo existía alguna anomalía en el proceso de calentamiento de agua y nos comentó que se presumía el daño por una descarga de voltaje producida en una tormenta eléctrica, muy común en la zona, motivo por el cual se produjo la ruptura e inutilidad de la tercera resistencia en el sistema.



Figura 2.14 Estado de los conductos y resistencias

Se recomienda el cambio del sistema de calentamiento de agua, remplazando todos los conductos de cobre y resistencias internas además de la reducción del ancho de los conductos ya que hacen contacto con las paredes de la caja lo que perjudica la transferencia de calor hacia el agua, ya que ese calor se pierde por conducción primero hacia las paredes laterales de la caja un luego al ambiente.

Cabe destacar que los conectores posteriores de la caja se encuentran en perfecto estado por lo que no es necesario su remplazo.

En general el estado eléctrico de la máquina esta bien exceptuando la caja de resistencias a la cual es necesario realizar cambio de partes y piezas, pero además se recomienda una limpieza de todos los contactos eléctricos con la ayuda de un disolvente de impurezas y oxido.

2.3 LEVANTAMIENTO TÉCNICO-TÉRMICO

Debido a las fallas Mecánicas y eléctricas expuestas anteriormente, el sistema térmico de la torre de enfriamiento Hilton, no cuenta con las condiciones operativas necesarias para funcionar correctamente.

La tercera resistencia esta explosionada por lo cual no se obtienen datos verdaderos, es así como el estado térmico del equipo es critico, es necesario un mantenimiento correctivo urgente, que facilite conseguir un comportamiento termodinámico normal, lo que permitirá un desarrollo pedagógico acorde con las exigencias modernas de enseñanza práctica.

CAPÍTULO III

3 ADQUISICIÓN DE DATOS

3.1 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El objetivo básico de los "Sistemas de Adquisición de Datos" (S.A.D) es la obtención de los datos en un computador personal o cualquier otro medio que permita la visualización y almacenamiento de dichos datos, para una posterior utilización de los mismos ya sea con fines docentes, científicos, de almacenamiento o control.

3.1.1 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El proceso se lleva a cabo de acuerdo a una serie de pasos o etapas bien definidas, así por ejemplo tenemos:

1. El fenómeno Físico
2. Los transductores (Sensores)
3. El acondicionamiento de las señales
4. El dispositivo de Adquisición de los datos
5. El computador personal

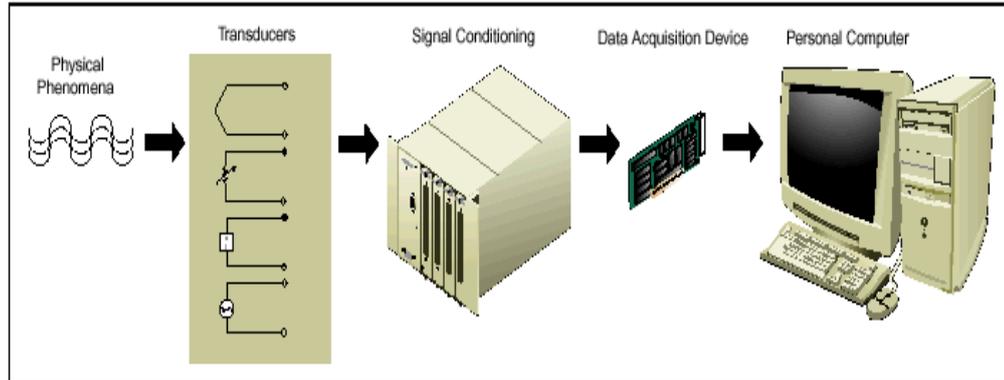


Figura 3.1 Sistema de Adquisición de Datos

El período de adquisición de datos tiene como objetivo fundamental transformar la señal en un formato que acepta la computadora o el sistema de control.

Además en la adquisición de datos podemos: procesar, almacenar, analizar y desplegar la información ingresada.

Consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora o PLC. Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

Los componentes de los sistemas de adquisición de datos, poseen sensores, también llamados transductores, adecuados que convierten cualquier parámetro de o magnitud física en una señal eléctrica, que se adquiere por el hardware de adquisición de datos (DAQ).

Los datos adquiridos se visualizan, analizan, y almacenan en un ordenador, ya sea utilizando el proveedor de software suministrado u otro software. Los controles y visualizaciones se pueden desarrollar utilizando varios lenguajes de programación de propósito general como Visual BASIC, C++, Fortran, Java, Lisp, Pascal. Los lenguajes especializados de programación utilizados para la adquisición de datos incluyen **EPICS**, utilizada en la construcción de grandes

sistemas de adquisición de datos, **LabVIEW**, que ofrece un entorno gráfico de programación optimizado para la adquisición de datos, y **MATLAB**. Estos entornos de adquisición proporcionan un lenguaje de programación además de bibliotecas y herramientas para la adquisición de datos y posterior análisis.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital para enviarla al ordenador, se puede también tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica, en este caso el elemento que hace la transformación es una tarjeta o módulo de Adquisición de Datos de salida, o tarjeta de control. La señal dentro de la memoria del PC la genera un programa adecuado a las aplicaciones que quiere el usuario y luego de procesada es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.¹⁶

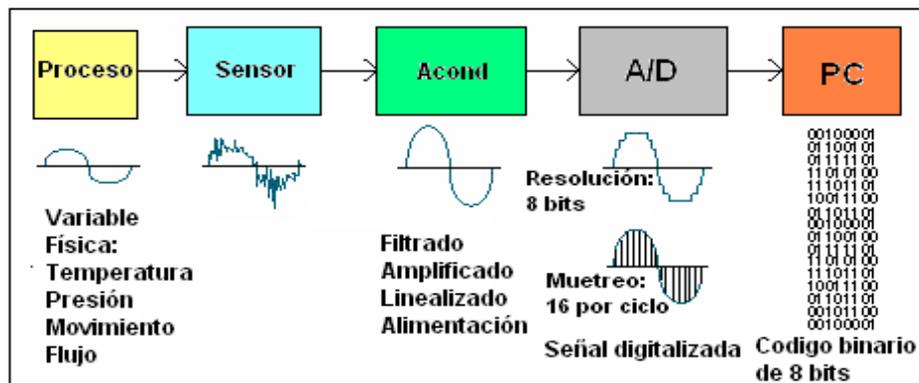


Figura 3.2 Proceso de Adquisición de Datos

3.1.1.1 Transductor

Un transductor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, frecuencia, el cambio en los valores de resistencia o temperatura, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos medibles en la adquisición de datos por hardware.

¹⁶ Diapositivas Ing. Luis Echeverria, apuntes de clase.

3.1.1.2 DAQ Hardware

Por lo general son las interfaces entre la señal y un PC. Podría ser en forma de módulos que pueden ser conectados al computador a los puertos (paralelo, serie, USB, etc) o ranuras de las tarjetas conectadas a (PCI, ISA, AGP) en la placa madre.

Por lo general, el espacio en la parte posterior de una tarjeta PCI es demasiado pequeño para todas las conexiones necesarias, de modo que una ruptura de caja externa es obligatoria.

Las tarjetas DAQ a menudo contienen múltiples componentes (multiplexores, ADC, DAC, TTL-IO, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM). Estos son accesibles a través de un bus por un micro controlador, que puede ejecutar pequeños programas. El controlador es más flexible que una unidad lógica dura cableada, pero más barato que un CPU de modo que es correcto para bloquear con simples bucles de preguntas. ¹⁶



Figura 3.3 DAQ (Hardware)

El Driver software que normalmente viene con el DAQ hardware o de otros proveedores, permite que el sistema operativo reconozca los DAQ y los programas de acceso a las señales que el DAQ reconoce. Un buen conductor ofrece un alto y bajo nivel de acceso.

3.1.2 DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS

En la etapa de conversión analógica a digital (A/D) (Figura 3.4) se deben considerar varios factores, tales como:

La señal de entrada (normalmente analógica y eléctrica)

Tasa de muestreo (numero de muestras por segundo (S/s))

Resolución (El número de bits de la representación binaria)

Rango (La diferencia que debe existir entre el mayor y el menor valor)

Ganancia (Otra forma de amplificación) ¹⁶

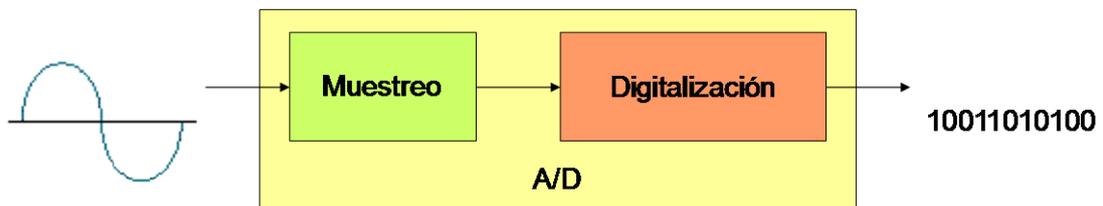


Figura 3.4 Conversión analógica a digital (A/D)

3.1.2.1 Tasa de muestreo

Durante la conversión A/D la muestra analógica (continua en el tiempo) es “retaceada” mediante un proceso de muestreo. Durante un intervalo de tiempo se toman solo ciertos valores de la señal. La frecuencia a la que se muestrea se mide en muestras/segundo (S/s)

Los elementos A/D pueden digitalizar una o varias señales a la vez. Los puntos de entrada para cada señal se conocen como canales.

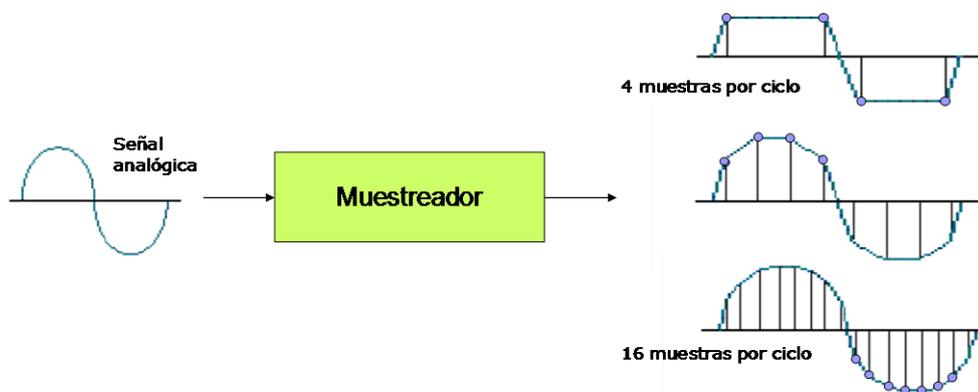


Figura 3.5 Retaceado de la muestra analógica

3.1.3 ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS VIA PLC

Un PLC o “autómata” es un dispositivo electrónico programable por el usuario que se utiliza para controlar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales.

3.1.3.1 Usos

- Reemplazar la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, cilindros, neumáticos e hidráulicos, etc.
- Reemplazar temporizadores y contadores electromecánicos.
- Actuar como interfase entre una PC y el proceso de fabricación.
- Efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
- Controlar y comandar tareas repetitivas y peligrosas.
- Regulación de aparatos remotos desde un punto de la fábrica.

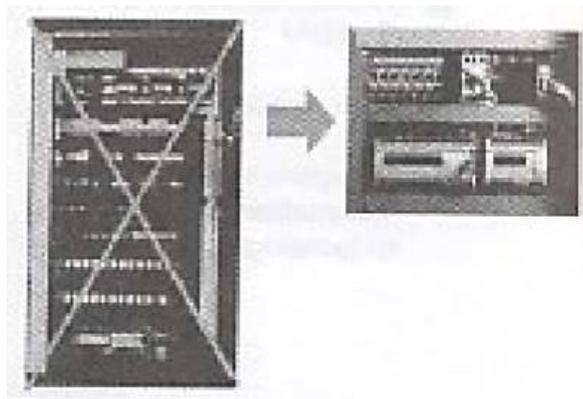


Figura 3.6 Interfase de Entradas y Salidas

3.1.3.2 Beneficios

- Menor cableado, reduce los costos y los tiempos de parada de planta.
- Reducción del espacio en los tableros.
- Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio
- Flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del proceso.

3.1.3.3 Principios básicos

Para introducirnos en el mundo del PLC (Programmable Logic Controller) o controlador Lógico Programable, se puede comenzar tratando de entender que hace un PLC en lugar de entender que es:

Básicamente un PLC es el cerebro de un proceso industrial de producción o fabricación, reemplazando a los sistemas de control de relés y temporizadores cableados.

Se puede pensar en un PLC como una computadora desarrollada para soportar las severas condiciones a las que puede ser sometida en un ambiente industrial, así sea en una planta cervecera sólo por nombrar algunos ejemplos

Un controlador lógico programable o PLC está compuesto por dos elementos básicos: la CPU, (Central Processing Unit) o Unidad Central de Procesamiento y la interfase de Entradas y Salidas, como se indica en la Figura 3.6

En la Figura 3.7 se puede observar un esquema simplificado que representa las partes principales de una CPU: El procesador, la memoria y la fuente de alimentación. Este conjunto de componentes le otorgan la inteligencia necesaria al controlador la CPU lee la información en las entradas provenientes

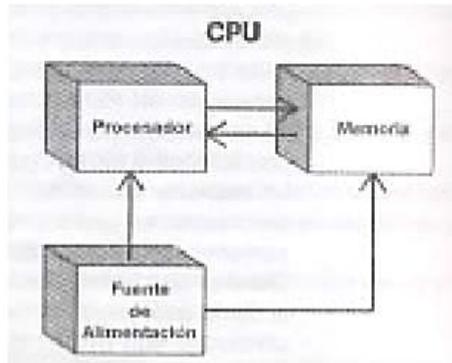


Figura 3.7 CPU

El proceso de lectura de Entradas, ejecución del programa y control de las Salidas se realiza en forma repetitiva y se conoce como SCAN o scanning. Finalmente la fuente de alimentación suministra todas las tensiones necesarias para la correcta operación de la CPU y el resto de los componentes. Entrando en el campo de la aplicación, se puede analizar con el diagrama en bloques que se muestra más adelante (Figura 3.8).

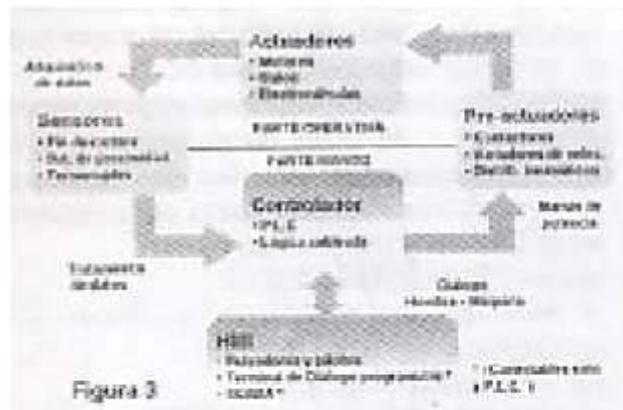


Figura 3.8 Diagrama en bloques

En él se puede apreciar la vinculación del PLC con todos los elementos de campo que intervienen en un proceso, sensores, actuadores, pre-actuadores y diálogo hombre-máquina.

Llevando el diagrama a un ejemplo práctico, se podría plantear la solución para una aplicación de bombeo a presión constante:(Figura 3.9).

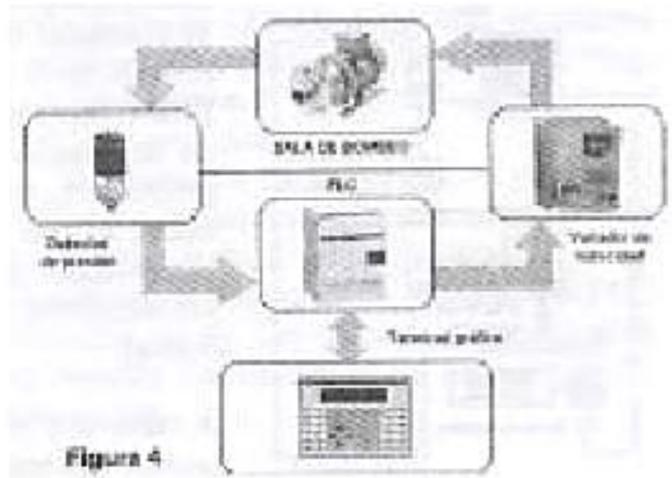


Figura 3.9 Aplicación de bombeo

Se establece una presión de trabajo para el sistema que debe mantenerse constante. Para ello debe medirse la presión en algún punto de la instalación.

En función del valor medido, el PI-C debe determinar la velocidad de referencia para el variador de velocidad, que en consecuencia modificará la velocidad del motor, determinando que la bomba varíe su caudal y presión.

También intervienen los elementos de diálogo hombre - máquina, en este caso se trata de un terminal gráfico que permite ingresar el valor de presión deseada.

El programa de aplicación se realiza a partir de una terminal de mano o de un software apropiado para PC.

El lenguaje empleado es sencillo y al alcance de todas las personas

El PLC es un controlador programable que dispone de una arquitectura muy parecida a la del computador, diseñado para trabajar en ambientes industriales, como controlador en tiempo real. La programación de estos dispositivos en la actualidad se la puede realizar de diferentes maneras siendo la más utilizada el diagrama escalera, común en los montajes de control cableado eléctrico.

La estructura interna del PLC es muy similar a la de un computador. A modo general, el PLC se compone bloques básicos sincronizados, en su funcionamiento entre ellos (Figura 3.10)⁹

- Sistema de Entradas y Salidas (I/O).
- Unidad central de procesamiento (CPU)
- Memoria.
- Fuente de alimentación.
- Dispositivo de programación.

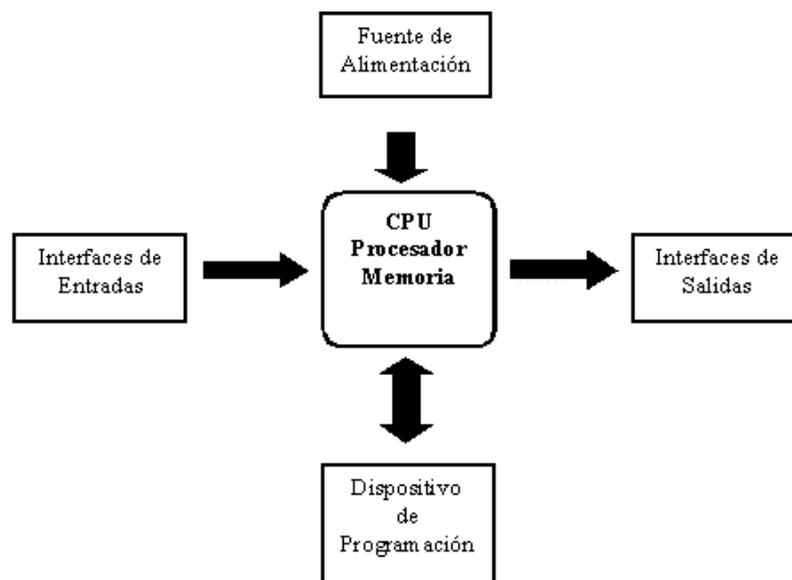


Figura 3.10 Estructura interna del PLC

Como primer paso es ingresar el programa a través del dispositivo adecuado (un cargador de programa o PC) y éste es almacenado en la memoria de la CPU.

La CPU, que es el "cerebro" del PLC, procesa la información que recibe del exterior a través de la interfaz de entrada y de acuerdo con el programa, activa una salida a través de la correspondiente interfaz de salida.

Evidentemente, las interfaces de entrada y salida se encargan de adaptar las señales internas a niveles de la CPU. Por ejemplo, cuando la CPU ordena la

activación de una salida, la interfaz adapta la señal y acciona un componente (transistor, relé, etc.).

Esto lo realiza de forma cíclica (Figura 3.11) de tal forma que, la CPU lee el estado de las entradas. A continuación ejecuta la aplicación empleando el último estado leído. Una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se actualizan las salidas. El tiempo de ciclo depende del tamaño del programa, del número de E/S y de la cantidad de comunicación requerida.

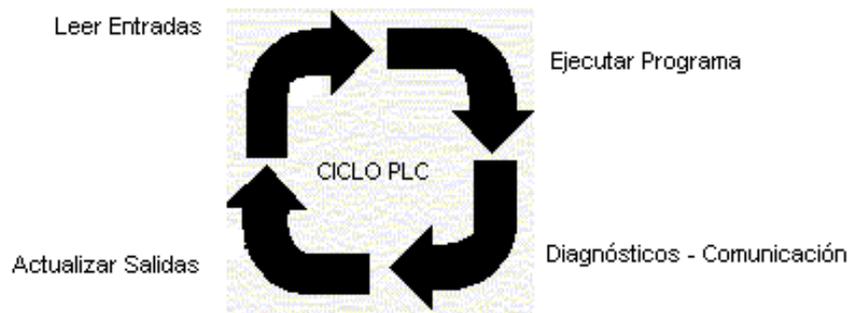


Figura 3.11 Ciclo del PLC

Externamente un PLC puede presentarse en forma compacta ó modular. Se utilizan varios criterios para categorizar a un PLC, uno de ellos lo constituye el número de entradas y salidas. De acuerdo a este parámetro los PLC's son: micro, pequeños, medianos o grandes (Tabla. 3.1) cuyo número de entrada salida es:

Tabla 3.1 Parámetros de PLC's

Tipo	No. De entradas / salidas
Micro	Hasta 32
Pequeño	Hasta 256
Mediano	Hasta 1024
Grande	Desde 1024 en adelante

Por lo general los micro-PLC's son compactos mientras que el resto de unidades son modulares.

Los dispositivos compactos vienen como unidades autónomas con el procesador, entradas y salidas y a veces la fuente de alimentación en un paquete.

Este tipo de PLC es por lo general más pequeño, su precio es reducido y es más sencillo de instalar, sin embargo el número de entradas y salidas es fijo y pocos controladores compactos tienen capacidad de expandir sus Entradas y Salidas.

3.1.4 ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS VÍA MICROPROCESADOR

Los grandes avances en el campo de los microordenadores (PC's), cada vez más rápidos y fiables y también más baratos, ha permitido su utilización en el control de sistemas a pequeña escala a precios competitivos.

La utilización del ordenador en sistemas de control posibilita además tareas de tratamiento de datos y supervisión.

En cuanto a la primera, destacar las amplias posibilidades que presenta el tratamiento digital de la información (almacenamiento, configuración representación gráfica, etc.).

Respecto a las tareas de supervisión, resaltar que permiten la comprobación de límites de tolerancia de las variables del proceso y, en su caso, activar las correspondientes alarmas.

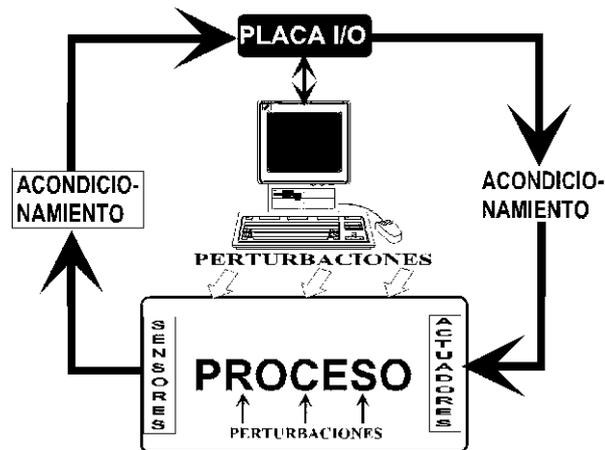


Figura 3.12 Diagrama de bloques del control por ordenador

En la Figura 3.12 se muestra el diagrama de bloques de un sistema que utiliza el ordenador

Siguiendo el esquema propuesto nos encontramos en primer lugar los sensores, en contacto con las magnitudes del proceso a medir, estos convierten los parámetros físicos (temperatura, humedad, etc.) en señales eléctricas de tensión o corriente, con alta o baja impedancia de salida, pudiendo producir señales diferenciales de salida con ruido en modo común, etc.

La señal producida por el sensor debe adaptarse, en su caso, a la naturaleza y margen de entrada que precisa la tarjeta o placa de "Entrada/Salida" (I/O, Input/Output), además de poder ser enviada a ésta a grandes distancias. Esta función la realizan los acondicionadores de señal.

En algunas aplicaciones es necesario que exista un aislamiento galvánico entre las señales que provienen de los sensores y las que se conectan al ordenador.

Los ordenadores únicamente procesan información de tipo digital, es decir, tanto las señales que puede recibir del exterior (de los sensores) como las que puede enviar hacia el exterior (a los actuadores) son de tipo digital.

3.1.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA ÓPTIMO A UTILIZAR

La torre de enfriamiento Hilton cuenta con sistemas manuales de medición y presentación de datos, por lo que se realiza la automatización de sistema de adquisición o toma de datos, se han evaluado entre las mejores opciones teniendo en cuenta la versatilidad en las comunicaciones entre sensores y la Tarjeta de adquisición de datos, que tengan la capacidad requerida.

El equipo operara a 220 voltios consta de un motor trifásico y con una frecuencia 60 Hz, los circuitos eléctricos son completamente autónomos y no requieren de instalación de interruptores adicionales, posee cuatro resistencias de 1.5k, con un flujo mínimo de 350 Kg./h de agua limpia, y debe tener una presión no menos de 1.5 bar

Por lo antes expuesto el sistema óptimo a utilizar es:

ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS VÍA MICROPROCESADOR

3.2 SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA SELECCIONADO

Existen varios tipos de software que se pueden utilizar para lograr la comunicación y adquisición de los datos estos se dividen en dos grupos: los de aplicación y los de programación.

Los de aplicación son programas que nos permiten capturar y visualizar los datos y el proceso en si, como es el caso del LabVIEW, MATLAB etc. En tanto que los de programación consisten en generar un nuevo programa que debe ser realizado en Visual Basic, Visual C el mismo que debe ser orientado a satisfacer las necesidades del proceso. Teniendo en cuenta que exista comunicación entre los sensores y el DAQ.

En este caso el software esta orientado a capturar y visualizar los datos y el proceso en si, eso por esto que se analizó varios software de aplicación.

3.2.1 TIPOS DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

El computador sólo entiende un lenguaje conocido como código binario o código máquina, consistente en ceros y unos.

Existen dos tipos de lenguajes claramente diferenciados; los lenguajes de bajo nivel y los de alto nivel.

Los lenguajes más próximos a la arquitectura hardware se denominan lenguajes de bajo nivel y los que se encuentran más cercanos a los programadores y usuarios se denominan lenguajes de alto nivel.

3.2.1.1 Lenguajes de bajo nivel

Son lenguajes totalmente dependientes de la máquina, es decir que el programa que se realiza con este tipo de lenguajes no se pueden migrar o utilizar en otras maquinas.

El lenguaje maquina: este lenguaje ordena a la máquina las operaciones fundamentales para su funcionamiento. Consiste en la combinación de 0's y 1's para formar las ordenes entendibles por el hardware de la maquina. Este lenguaje es mucho más rápido que los lenguajes de alto nivel. La desventaja es que son bastantes difíciles de manejar y usar, además de tener códigos fuente enormes donde encontrar un fallo es casi imposible.

El lenguaje ensamblador: es un derivado del lenguaje maquina y esta formado por abreviaturas de letras y números llamadas mnemotécnicos.

Con la aparición de este lenguaje se crearon los programas traductores para poder pasar los programas escritos en lenguaje ensamblador a lenguaje

máquina. Como ventaja con respecto al código máquina es que los códigos fuentes eran más cortos y los programas creados ocupaban menos memoria.

Las desventajas de este lenguaje siguen siendo prácticamente las mismas que las del lenguaje ensamblador, añadiendo la dificultad de tener que aprender un nuevo lenguaje difícil de probar y mantener.

3.2.1.2 Lenguajes de alto nivel

Son aquellos que se encuentran más cercanos al lenguaje natural que al lenguaje máquina.

Están dirigidos a solucionar problemas mediante el uso de EDD's, que son las abreviaturas de Estructuras Dinámicas de Datos, algo muy utilizado en todos los lenguajes de programación. Son estructuras que pueden cambiar de tamaño durante la ejecución del programa. Nos permiten crear estructuras de datos que se adapten a las necesidades reales de un programa.

Estos lenguajes permiten al programador olvidarse por completo del funcionamiento interno de la máquina para la que están diseñando el programa.

3.2.2 SELECCIÓN DEL SOFTWARE ÓPTIMO A UTILIZAR

Al seleccionar el Software se debe tener en cuenta las tres etapas fundamentales las cuales son:

- HMI (Interfase Hombre Máquina)
- DAQ (Dispositivo de Adquisición de Datos)
- Protocolo de Comunicación

En la siguiente tabla se expresan los diferentes parámetros de decisión y el puntaje de cada software analizado.

Tabla 3.2 Decisión de software

Parámetros de decisión.	InTouch.	Lookout.	LabView.	Puntuje Max.
Programación Cómoda	8	7	9	10
Compatibilidad del DAQ con el PC	8	7	8	10
Fácil adquisición de los sensores	8	7	9	10
Accesibilidad (licencias)	9	8	10	10
Recursos gráficos	8	7	9	10
Comunicación con programas externos	8	6	8	10
Total	65	54	71	80

El software escogido para este proyecto es **LabVIEW Versión 8.0**

Al trabajar con la National Instruments se puede fácilmente controlar y visualizar el proceso, se utiliza el programa LabVIEW 8 (Figura 3.13), que es muy versátil y de fácil manejo para la programación (HMI), este programa maneja un entorno grafico el cual es muy didáctica, permite receftar los datos enviados desde los sensores instalados en la Torre de Enfriamiento Hilton al computador, de una manera sencilla e intuitiva.

Para la programación y manejo del DAQ utilizamos el software del mismo fabricante NI, el cual es LabVIEW (Figura 3.13) de tal forma que nos garantizará la compatibilidad y el correcto desempeño del mismo.

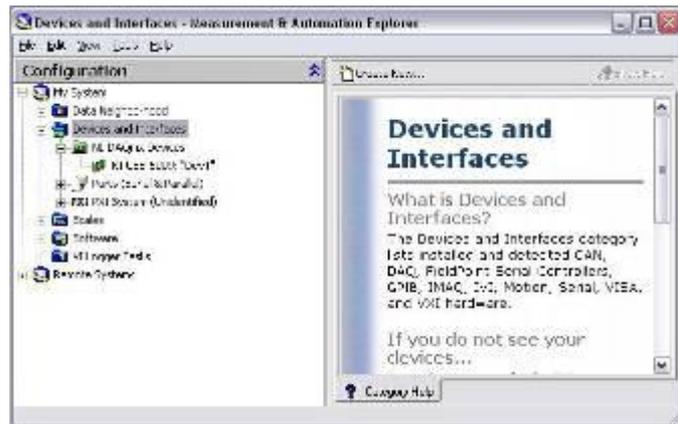


Figura 3.13 LabVIEW, Pantalla de Proyecto

3.2.3 SELECCIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Los ordenadores sólo entienden un lenguaje binario, es decir, los valores 1 o 0, cada uno de estos dos dígitos se llama bit. Una serie de bits forman un byte. La longitud de un byte es siempre la misma (8, 16, 32, 64 o 128 bits) y depende de la potencia de la computadora que lo procese. La comunicación entre ordenadores consiste en enviarse bytes de uno a otro. Este intercambio, que en principio parece muy sencillo, reviste una cierta complejidad en la práctica.

Los bytes viajan dentro del ordenador en paralelo (cada bit por un cable: tantos cables como bits tenga el byte) formando una especie de “autopista” denominada “bus de datos”. Sin embargo, para ir de un ordenador a otro suelen ir en serie, es decir, un bit detrás de otro.

De aquí que se precisen unos convertidores de datos paralelo/serie y serie/paralelo para poder llevar a cabo la comunicación. Además se ha de tener en cuenta la posibilidad de que los bits puedan ser alterados por las interferencias que hay en la línea (ruido), produciéndose un error en la comunicación

3.2.3.1 Protocolos de Comunicación

Son conjuntos de normas para el intercambio de información, consensuadas por las partes comunicantes. En términos informáticos, un protocolo es una normativa necesaria de actuación para que los datos enviados se reciban de forma adecuada.

Tenemos varios protocolos. Unos se ocupan de aspectos bastante primarios como, por ejemplo, el de asegurar que el orden de los paquetes recibidos concuerda con el de emisión. A un nivel algo superior hay protocolos para garantizar que los datos enviados por una computadora se visualicen correctamente en el equipo receptor. La informática moderna utiliza muchos protocolos distintos. Debido al auge de Internet, uno de los más empleados es el protocolo TCP/IP.

La norma publicada por la International Standards Organization y conocida como “**Modelo de 7 Niveles**”, recoge la estructura general común a todos los protocolos. La totalidad de los aspectos contemplados en la comunicación entre ordenadores queda clasificada en siete niveles. La idea es que los protocolos concretos desarrollados en cada uno de los niveles puedan entenderse para conseguir una comunicación eficaz. Estos Niveles son:

Nivel 1: Físico

Se refiere a la forma de transmitir cada 0 y 1 que conforman toda información digital que viaja de un punto a otro. Esto incluye la definición de un 1 y un 0 en cuanto a señales eléctricas.

Nivel 2: Enlace

Describe la forma de transportar de manera fiable los bits desde un nodo a otro en una red conmutada. Define conceptos tales como tramas, detección y corrección de errores y control de flujo.

Nivel 3: Red

Se centra en el establecimiento de una conexión punto a punto entre cliente y servidor. Es el nivel en el que se trata, por ejemplo, el direccionamiento y encauzamiento global.

Nivel 4: Transporte

Es el primero de los niveles encargados del funcionamiento punto a punto. Se ocupa del formato y su misión es asegurar que una secuencia recibida de bits se transforme en datos significativos. Este nivel supone la existencia previa de una conexión fiable.

Nivel 5: Sesión

Es el encargado de la diferenciación y control del diálogo para las aplicaciones que lo precisan. En el caso de la mayoría de las modernas aplicaciones informáticas (que se hallan divididas en componentes cliente y servidor), este nivel constituye un elemento inherente del propio diseño.

Nivel 6: Presentación

Proporciona un mecanismo de negociación de los formatos de representación (conocidos como sintaxis de transferencia) para un determinado contenido del mensaje.

Nivel 7: Aplicación

Recoge el resto de las necesarias funciones dependientes de la aplicación. Hay, en la práctica, otras muchas formas de estructurar y llevar a cabo las comprobaciones necesarias para que una computadora pueda dialogar con otra. El modelo de siete niveles constituye sin embargo un modelo útil y se utiliza con carácter general, especialmente en los niveles inferiores, cuyos protocolos son de normas más estables.

3.2.3.2 Tipos de Comunicación al PC.

Existen diferentes tipos de Protocolos, para diferentes tipos de servicios en la Red, el más empleado es el TCP/IP, pero hay otros que se emplean para

realizar diversas tareas, entre los cuales se pueden mencionar: FTP, HTTP, IPX/SPX, NFS, POP3 y SCP.¹⁷

El Protocolo TCP/IP o Transmisión Control Protocolo/Internet Protocolo es un conjunto de protocolos de comunicación creados para permitir la colaboración y la partición de recursos entre computadoras conectadas entre sí en la que está definida como red o Network. El IP define el enrutamiento de los paquetes de la Red.

TCP/IP constituye un tipo de lenguaje universal comprendido y utilizado por todas las máquinas que cooperan en Red. El TCP/IP es el protocolo común utilizado por las computadoras conectadas a Internet, ya que el protocolo se encargara de que la comunicación entre tantas las computadoras sea posible.

FTP (File transfer Protocol) o protocolo de transferencia de archivos tiene como objetivos alentar al uso remoto de las computadoras y transferir datos de una formas segura y óptima por computadora y transferir datos de una forma seguirá y óptima por computadora.

HTTP (Hyper Text Tranfer Proctocl) o Protocolo para la transferencia de Hipertextos es para todos los sistemas de información distribuidos que tengan la necesidad de mostrar la información y pasarla a través de una comunicación normal empleando este lenguaje.

IPX/SPX (Internetwork Packet Exchange, Sequence Packet Exchange es un protocolo empleado y registrado por la Compañía mundial de Redes Novell

NFS (Network file system) o Sistema de archivos de Red es un sistema distribuido para este archivo, se emplea en redes heterogéneas, solamente se ve el directorio cuando e l usuario está dentro de la Red, tiene varias ramas, las cuales solamente podrán ser observadas en el nivel en que se entra.

¹⁷ Libro de informática y libro de computación básica año 2005

POP3 es un protocolo netamente para la administración de correos en Internet.

SCP (Simple Communication Protocol) permite que el servidor y el usuario puedan tener múltiples conversaciones sobre TCP normal, lo que es necesario que este protocolo se monte sobre el SCP. Su servicio principal es el de control de diálogo entre el servidor y el usuario, administrando sus conversaciones y agilizarlas en un alto porcentaje.

Además de los Protocolos mencionados también existen otros como el SMTP que sirve para enviar y recibir correo electrónico; El SNMP que define mensajes relacionados al manejo de la red; el HTTP para transmitir información en WWW; el PPP que se emplea para conectar PC a Internet; el DNS para manejar nombres sobre direcciones de Redes.

3.2.3.3 Opciones de Interfases

Las interfases de comunicación son los medios físicos por los que se transmiten los datos, en la actualidad tenemos muchas interfases las principales están expuestas a continuación:

RS-232 (Recommended Standard 232)

También conocido como puerto serie y como puertos COM (Figura 3.14), son uno de los primeros puertos de comunicación incorporados al computador.

Arquitectura de comunicación de datos externa usada en PCs, notebooks, handhelds/palmtops y otros dispositivos



Figura 3.14 Puerto COM (RS-232)

Puerto Paralelo

El puerto paralelo (Figura 3.15) más conocido como puerto de impresora, o como puerto LPT, envía un byte o más de datos a la vez por diferentes hilos, más una serie de bits de control, creando un bus de datos; este se comporta diferente al puerto serie, que hace el envío BIT a BIT y por el mismo hilo.



Figura 3.15 Puerto Paralelo (LTP)

PCI (Peripheral Component Interconnect)

Es de una arquitectura de comunicación de datos interna de 64 bits (actualmente implementada como de 32 bits) usada en PCs.

Es necesario abrir la carcasa de la PC para su instalación. Se debe contar con ranura PCI disponible.



Figura 3.16 Puerto PCI

ISA (Industry Standard Architecture)

Arquitectura de comunicación de datos interna de 16 bits usada en PCs. Es necesario abrir la carcasa de la PC para su instalación. Se debe contar con ranura ISA disponible.

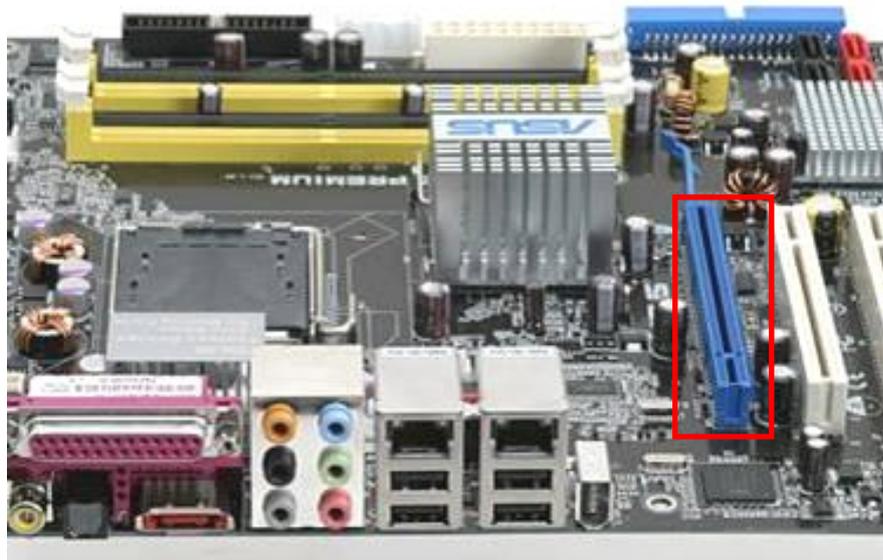


Figura 3.17 Puerto ISA

USB (Universal Serial Bus: Comunicación Serial Universal)

El puerto USB (Universal Serial Bus) (Figura 3.18) fue creado en el año 1.996 por un grupo de 7 empresas (IBM, Intel, Compaq, Microsoft, NEC, Digital Equipment Corporation y Northern Telecom) para buscar una respuesta a los límites de conectividad de los ordenadores, así como al límite de velocidad que tienen los puertos RS-232 y los puertos paralelos LPT.



Figura 3.18 Puerto USB

El puerto USB tiene entre sus ventajas, además de una mayor velocidad de transmisión, el que a través del mismo puerto se pueden alimentar periféricos de bajo consumo (incluso un escáner, un disco duro externo, etc.).

También es posible conectar en teoría hasta 127 periféricos al mismo puerto (con concentradores alimentados intermedios), aunque en este caso hay que contar los concentradores como periféricos.

Tabla 3.3 Tipos de Computador e Interfases usadas

Tipos de Computadora	Espectrofotómetros	Convertidores A/D	Interfases
de Escritorio - PCs	USB2000		USB, RS-232
	S2000	ADC1000-ISA	ISA
		ADC1000-USB	USB, RS-232
		ADC2000-PCI	PCI
	PC2000-ISA		ISA
	PC2000-PC/104		PC/104
	S1024DW	ADC1000-USB	RS-232
HR2000		USB, RS-232	
Portátiles - Notebooks	USB2000		USB, RS-232
	S2000	ADC1000-USB	USB, RS-232
	S1024DW	ADC1000-USB	RS-232
	HR2000		USB, RS-232
de Mano - Handheld/PalmTop con Windows CE	Palm-SPEC		RS-232
	USB2000		RS-232
	S2000	ADC1000-USB	RS-232
	S1024DW	ADC1000-USB	RS-232
	HR2000		RS-232
PLCs y otros dispositivos que soportan protocolo RS-232	USB2000		RS-232
	S2000	ADC1000-USB	RS-232
	S1024DW	ADC1000-USB	RS-232
	HR2000		RS-232

3.2.3.4 Selección del tipo de comunicación óptimo

El protocolo más óptimo entre el DAQ y el computador es el TCP/IP, con el cual el programa desarrollado en el computador será transmitido hacia el PLC.

Es el protocolo más utilizado para la transmisión y recepción de datos alrededor del mundo

La interfase óptima que permite una comunicación universal es el puerto USB, además, el cable de comunicación del DAQ tiene ese dispositivo físico de comunicación (Figura 3.19)

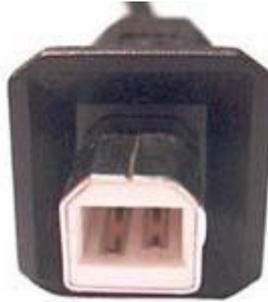


Figura 3.19 Interfase de comunicación Óptima

3.3 SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN DE DATOS ADQUIRIDOS EN EL PC

El software de visualización de datos adquiridos en el PC no es sino; la interfase grafica entre el Hombre y la Máquina o más conocida en el mundo de la informática como HMI.

Este software se desarrolla o programa de acuerdo a las necesidades específicas de cada proyecto, en este caso, el acondicionamiento y calibración de las señales de salida de los sensores serán realizadas virtualmente mediante el las herramientas, rutinas y sub.-rutinas del software de control LabVIEW

3.3.1 DISEÑO DE LA PLANTILLA DE VISUALIZACIÓN

A continuación se detallan los pasos para la construcción de una plantilla de visualización básica con ayuda del programa LabVIEW 8

3.3.1.1 Abrir LabVIEW:

Inicio >> Todos los Programas >> National Instruments >> LabVIEW



Figura 3.20 LabVIEW 8

3.3.1.2 Generar un Nuevo VI

En el Diagrama de Bloques (Pantalla de Color Blanco) Clic derecho con el ratón para desplegar la paleta de funciones.

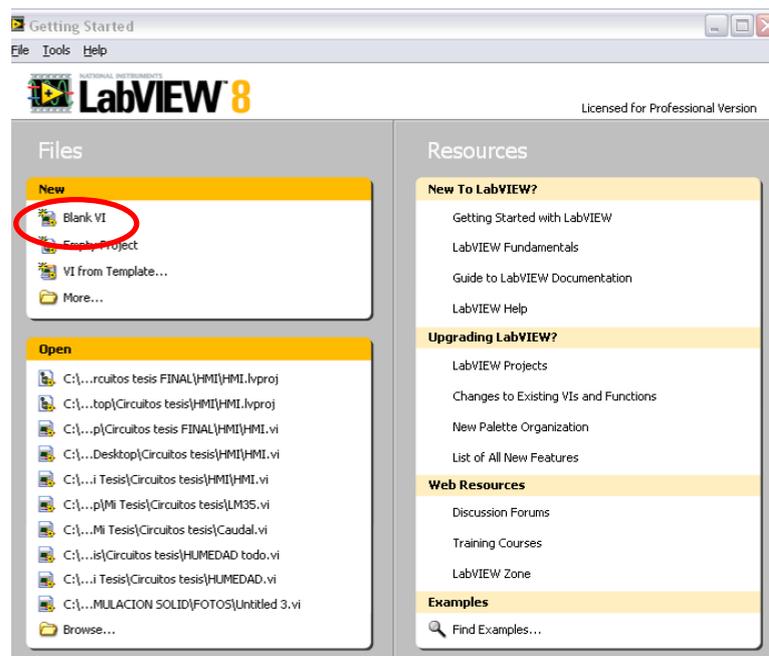


Figura 3.21 Generando un VI

3.3.1.3 DAQ Assistant

Navegar hasta la paleta de Express y luego Input, seleccionar DAQ Assistant.



Figura 3.22 Seleccionar un asistente para DAQ

3.3.1.4 Configuración del DAQ ASSISTANT

Configurar paso a paso la adquisición de datos como se muestra a continuación.

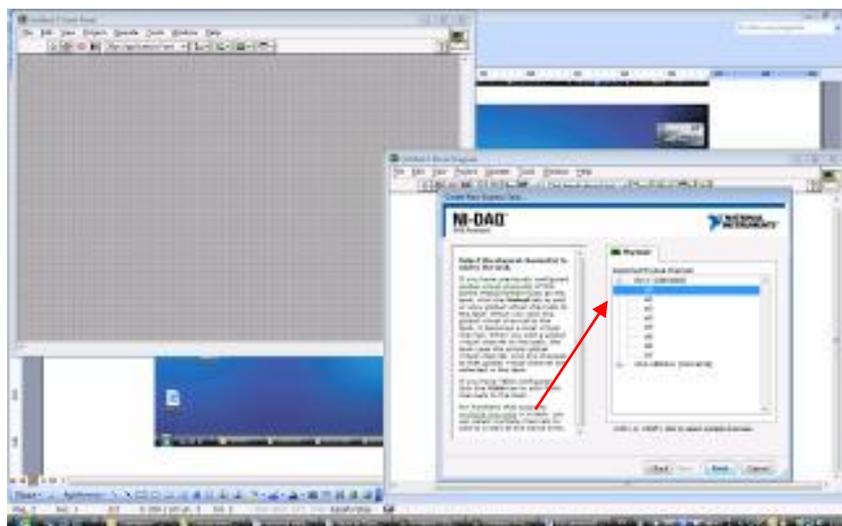


Figura 3.23 Seleccionando el canal correcto

Puede ser otro canal, este es solo un ejemplo

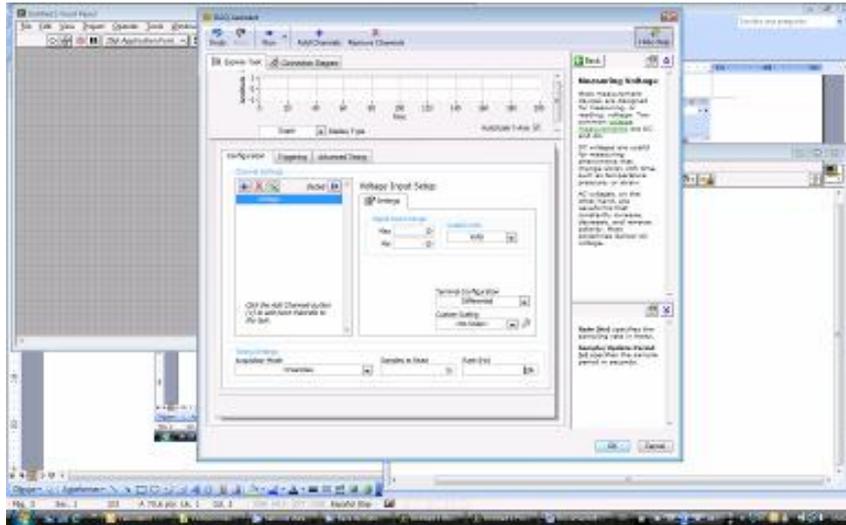


Figura 3.24 Configurando el DAQ

3.3.1.5 Lazo de repetición While.

Navegar a la paleta de Programming >> Structures >> While Loop
 Dibujarlo sobre la función DAQ Assistant



Figura 3.25 Lazo de repetición While

3.3.1.6 Mostrar los datos adquiridos

Posicionar el cursor sobre el Terminal de salida del DAQ Assistant y picar con el botón secundario del ratón, luego elegir: Create >> Graph Indicador

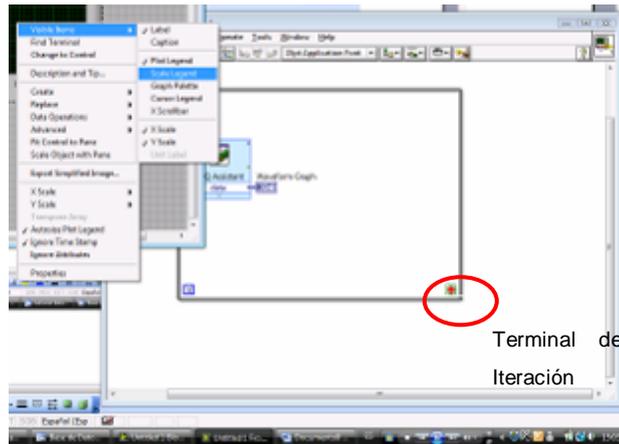


Figura 3.26 Representación Gráfica de los Datos

Sobre el indicador gráfico que se ubica en panel frontal (pantalla gris) picar con el botón secundario y en Visible Ítems activar Scale Legend y Graph Palette.

3.3.1.7 Botón STOP

Colocar un botón de Stop en el Terminal de Iteración del While Loop

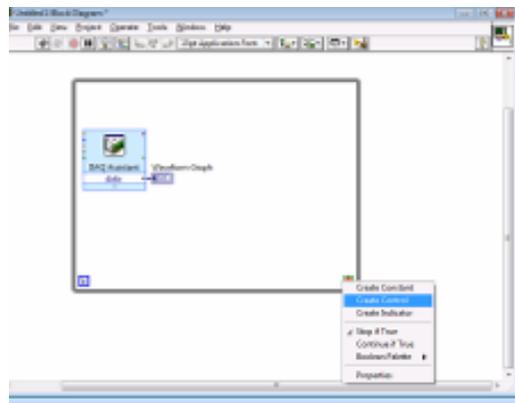


Figura 3.27 Botón Stop de la iteración

3.3.1.8 Correr el programa

Picar con el botón principal en el botón Run del panel frontal

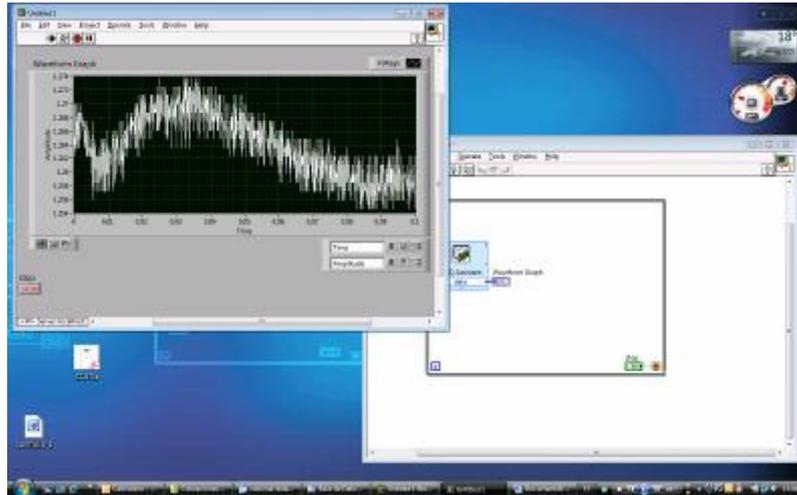


Figura 3.28 Visualización de datos

3.3.2 SUBROUTINAS Y RECURSOS DE PROGRAMACIÓN UTILIZADOS

La programación en LabVIEW es intuitiva, se utilizan subrutinas y tareas ya programadas existentes en el software

Ya que LabVIEW utiliza una programación gráfica, facilita el ordenamiento y desarrollo de una aplicación, cualquiera sea esta.

Para la programación completa del HMI de la Torre de Enfriamiento, se deben tomar en cuenta muchos más factores que los antes expuestos, a continuación se detallan los más relevantes

3.3.2.1 Programación por tareas

La programación fue manejada por partes y los procesos se transformaron en tareas separadas, esto nos permite evitar errores en la corrida del programa.

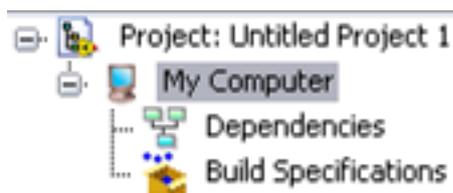


Figura 3.29 Proyecto en LabVIEW

3.3.2.2 DAQ Assistant

Se utilizaron dos DAQ Assistant uno para los datos analógicos y otro para los datos digitales, cada uno transformado a tarea.



Figura 3.30 Tarea DAQ Assistant

3.3.2.3 DAQmx READ

Para leer los datos adquiridos por el PC gracias al DAQ utilizamos subrutina: DAQmx READ que nos permite leer los datos del DAQ Assistant, esta subrutina se debe configurar de conformidad con las características de los datos que se requieran leer.

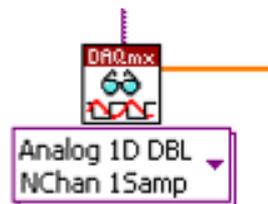


Figura 3.31 DAQmx READ, Lectura de datos

3.3.2.4 Arreglo de señales

Al tener que desarrollar un programa con un gran número de datos se utilizó un arreglo informático, esta subrutina ya viene incorporada en LabVIEW, el arreglo nos permite juntar, ordenar y acceder a los datos de manera eficiente, es importante programar las cosas en orden para evitar errores.

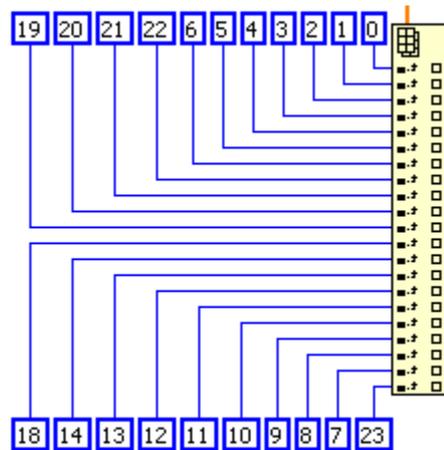


Figura 3.32 Arreglo de las señales

3.3.2.5 Cuadro de programación escrita

También se utilizaron cuadros de programación escrita, esto fue para poder integrar la corrección de temperatura a los datos de los sensores de humedad relativa, estos módulos de programación escrita permiten realizar cualquier operación básica entre las señales de datos.

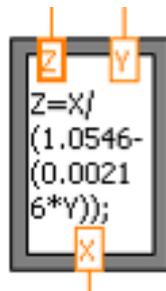


Figura 3.33 Corrección de temperatura a los datos de humedad

3.3.2.6 Comparación de datos

Para el control del rango de datos de los sensores de humedad se utilizaron herramientas de comparación en donde se indican los límites inferior y superior de los datos.

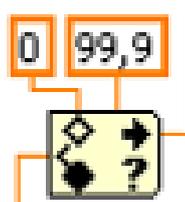


Figura 3.34 Comparación y Rango de datos

3.3.2.7 Indicadores

Se utilizaron varios indicadores numéricos y gráficos para presentar y representar los datos.

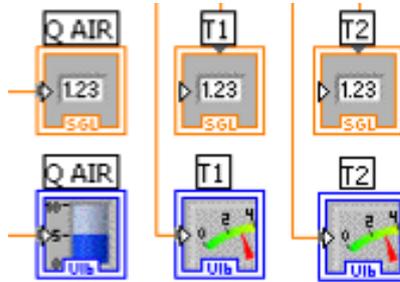


Figura 3.35 Controles Gráficos y Numéricos

3.3.2.8 Programación Resultante

Después de juntar, ordenar y unir las subrutinas y recueros de programación, el resultado es el siguiente:

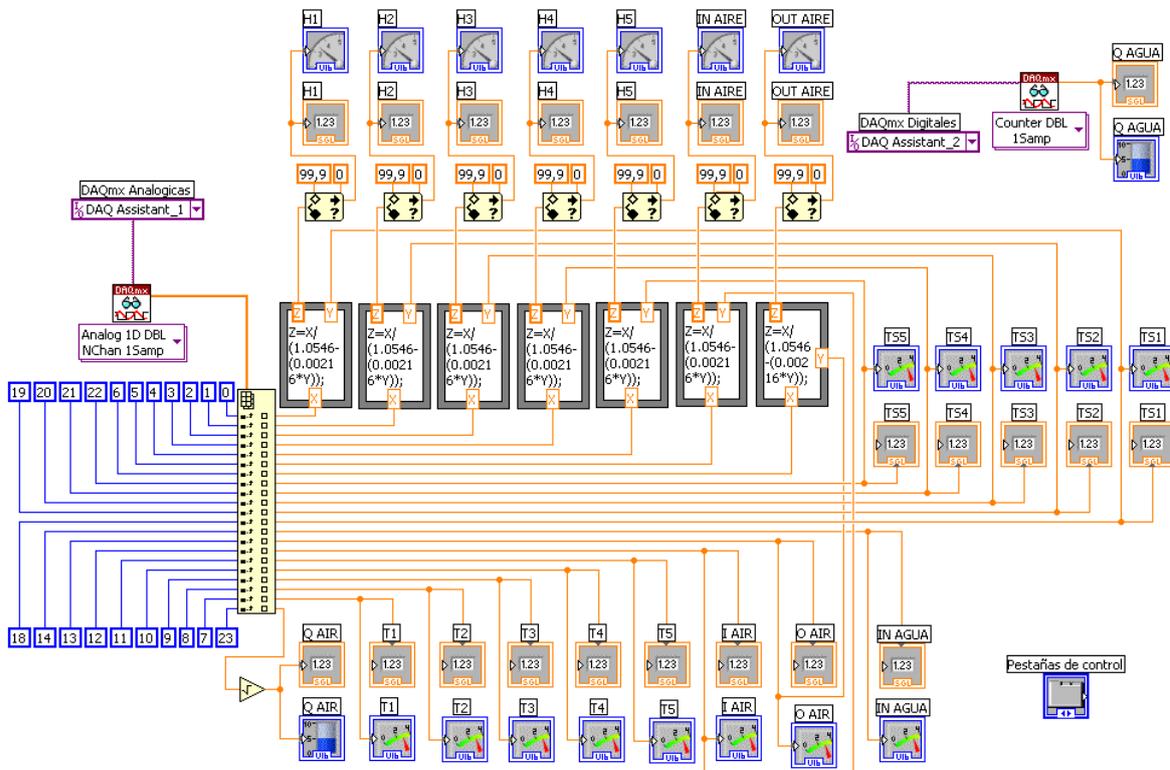


Figura 3.36 Programación gráfica del HMI

3.3.3 CARACTERÍSTICAS ESTÉTICAS

Las características estéticas del programa son muy importantes ya que se debe mostrar la información de manera clara y formal, para lo cual el realizó un diseño de la pantalla en tres etapas.

3.3.3.1 Detalle De Localización

La primera etapa es un detalle de la localización de los sensores, esto se lo realizó nombrando cada zona de interés, así se puede mostrar de una manera pedagógica y sencilla, en que parte de la torre se están tomando los datos.

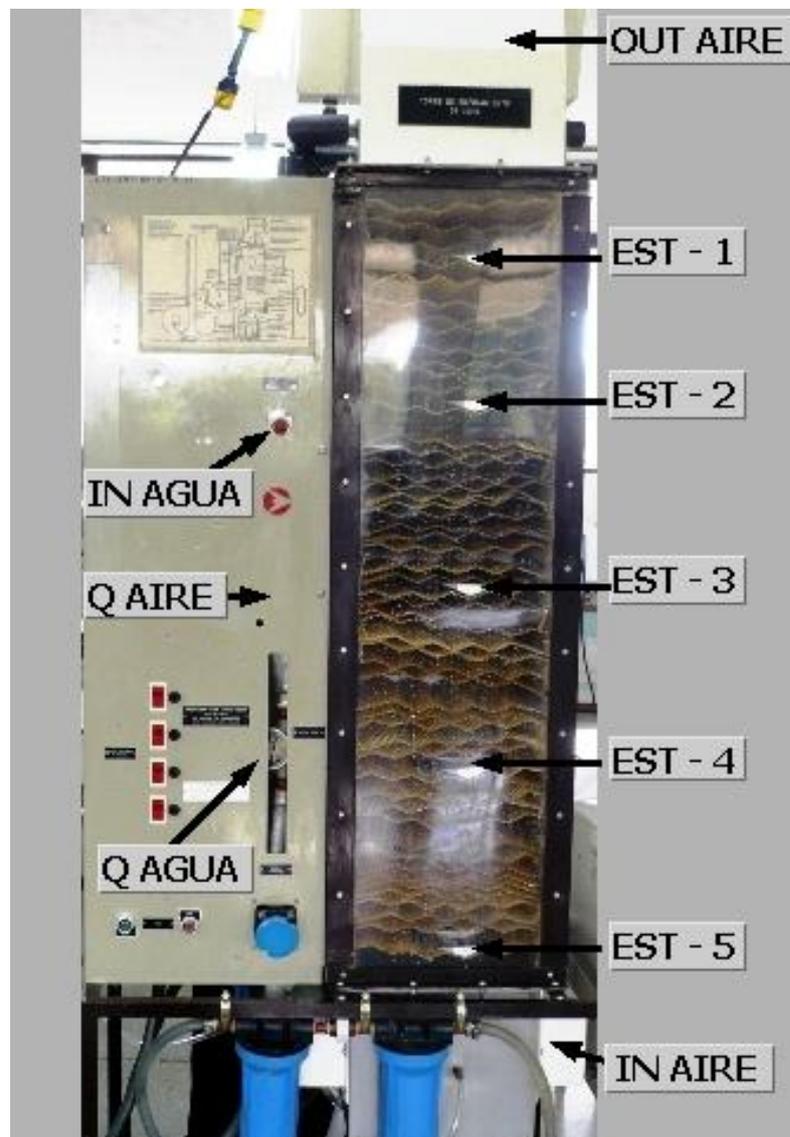


Figura 3.37 Localización de los puntos determinantes

3.3.3.2 Instrumentacion Virtual

La segunda etapa constituye un conjunto de controles que nos muestran la información arrojada por los sensores, de manera grafica y numérica. Estos controles constituyen la digitalización y tecnificación de los antiguos instrumentos de medición, la ventaja es que ya no son entes físicos y podemos manejarlos a voluntad, esto representa el control virtual del proceso

Cabe destacar que estos instrumentos virtuales han sido ordenados en un arreglo por pestañas lo que permite la optimización del espacio en la pantalla

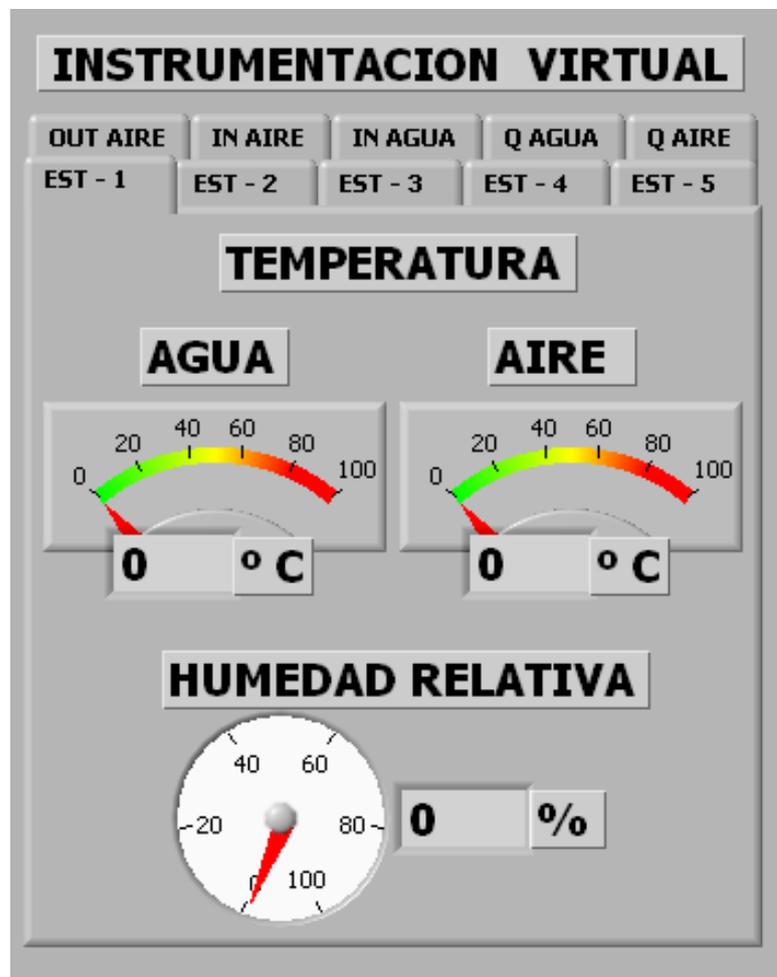


Figura 3.38 Instrumentación virtual ordenada por pestañas

3.3.3.3 Tabla Resumen de Datos

La tercera etapa es una tabla resumen de todas las mediciones realizadas al proceso, también se incluyen las unidades de medición.

TABLA RESUMEN DE DATOS			
IN AGUA (° C)	Q AGUA (Lts/min)	Q AIRE (m ³ /h)	
0,0	0,0	0,0	
UNIDADES	Temperatura (° C)	Humedad (%)	
ENTIDADES	AGUA	AIRE	
OUT AIRE		0,0	0,0
Estacion 1	0,0	0,0	0,0
Estacion 2	0,0	0,0	0,0
Estacion 3	0,0	0,0	0,0
Estacion 4	0,0	0,0	0,0
Estacion 5	0,0	0,0	0,0
IN AIRE		0,0	0,0

Figura 3.39 Resumen de de datos

3.3.3.4 Estética Resultante

El resultado de juntar las tres etapas en una misma pantalla es la Interfase Hombre – Máquina o HMI

Estéticamente el programa queda de la siguiente forma



Figura 3.40 Estética resultante del programa

3.3.4 CONFIGURACIÓN DE LA RECEPCIÓN DE DATOS

Una de las ventajas más importantes de utilizar LabVIEW, es la rapidez y facilidad con que se puede configurar la recepción de datos.

El DAQ ASSISTANT ofrece las herramientas necesarias para configurar correctamente los datos, definiendo los siguientes parámetros para cada señal independientemente.

3.3.4.1 Configuración del Terminal

Es el Tipo de conexión física de cada sensor que puede ser:

Diferencial (Conexión a tierra independiente) o

Referencial (Conexión a tierra compartida).

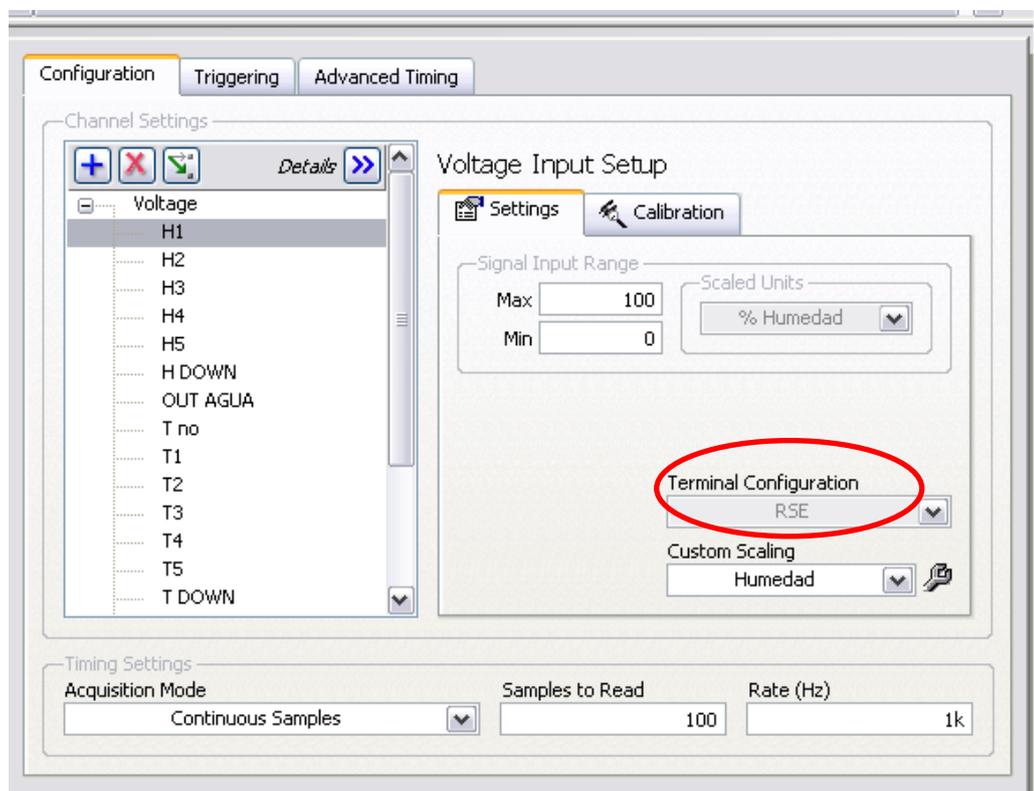


Figura 3.41 Configuración de cada Terminal

3.3.4.2 Escala

Se respetan las escalas proporcionadas por los fabricantes de cada sensor. Estas se introducen directamente en el DAQ ASSISTANT.

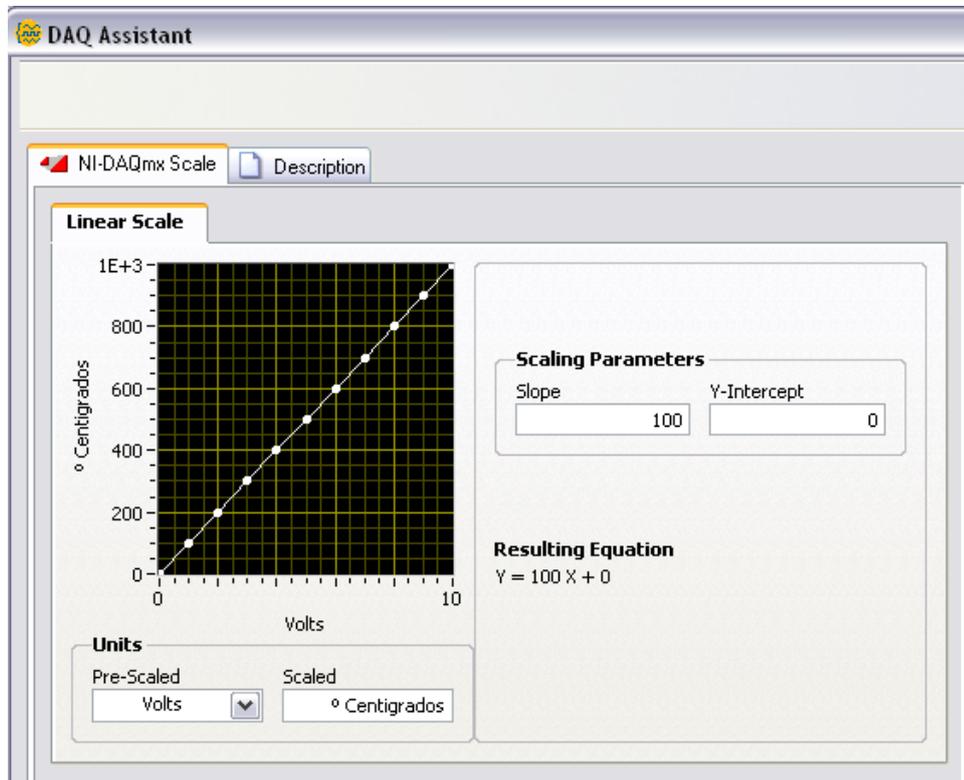


Figura 3.42 Escala sensor de Temperatura

Las escalas quedan grabadas como entes externos cuando se realiza un proyecto en LabVIEW.

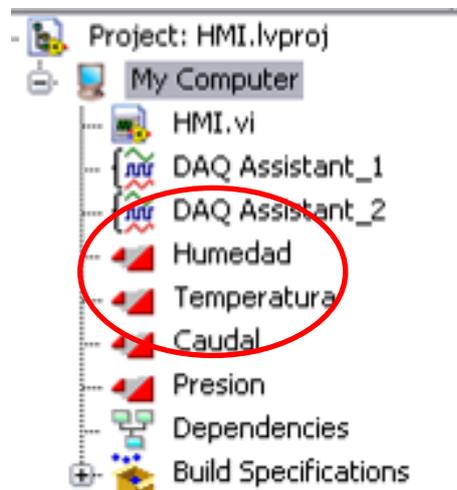


Figura 3.43 Escalas en el proyecto

3.3.4.3 Rango de amplitud de señal

Son los límites mínimo y máximo de la amplitud que deben tener las señales.

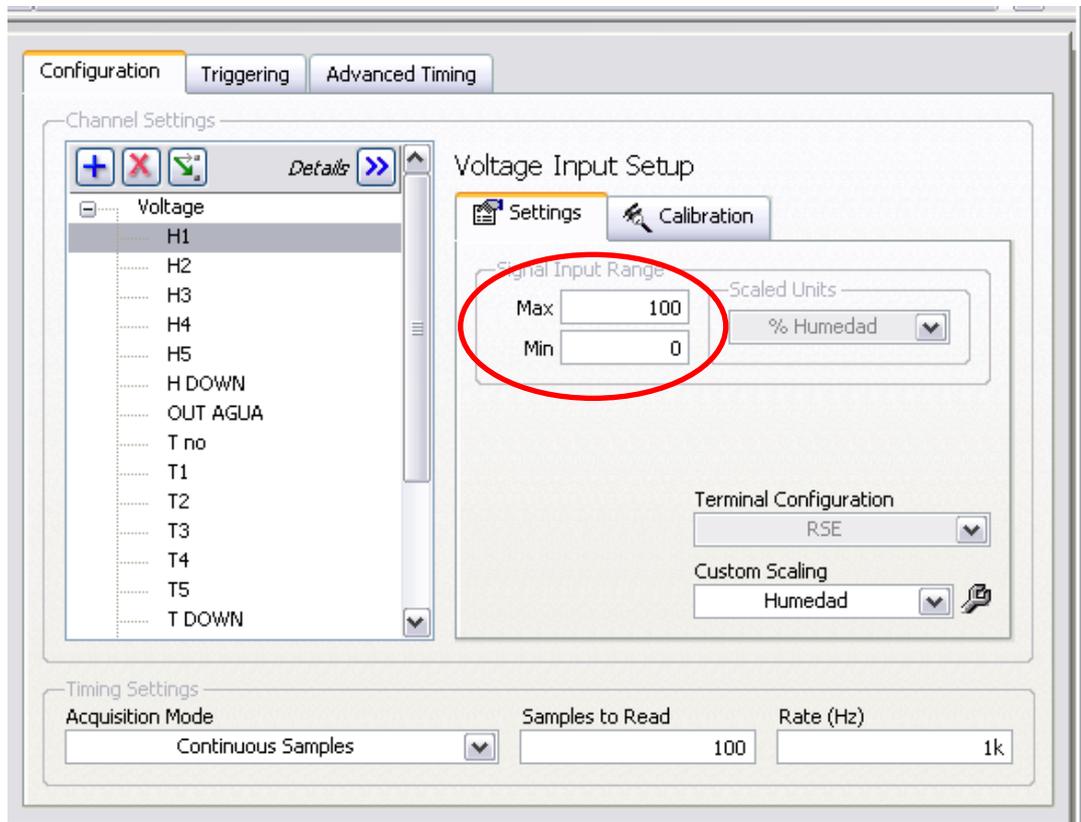


Figura 3.44 Rango de Amplitud de Señal

3.4 FASE DE PRUEBAS DE RECEPCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

Después del mantenimiento e instalación de partes y piezas mecánicas defectuosas, de la instalación y configuración del sistema electrónico de control de datos (Sensores, DAQ, Interfase de comunicación, HMI)

Se realizan las pruebas de la recepción y la visualización de los datos

Las entidades electrónicas cuando están enlazadas entre si, se des-configuran fácilmente, por eso es necesario respetar el orden de los parámetros configurables como tipo de dato, rangos, canales de comunicación, etc., para no tener problemas que pueden ser de cualquier índole, hasta que se encuentre la secuencia de configuración correcta.

Los principales inconvenientes que fueron en la programación, específicamente con errores en la construcción del HMI, estos se producían en su mayoría por incompatibilidad entre operaciones internas (programación gráfica no realizada por tareas independientes).

Es por eso que se optó por realizar la programación basándose en tareas independientes, en donde las subrutinas no dependen de otras evitando así los errores concatenados.

La determinación del formato correcto de cada dato también es fundamental, se deben tomar en cuenta las características del fenómeno físico y la capacidad del sensor de transformar esa magnitud física, en una señal eléctrica.

Todo esto sin olvidarse de la compatibilidad, que es necesaria entre esas señales y la tarjeta de adquisición de datos.

Todas estas configuraciones se deben realizar durante las pruebas de la recepción y visualización

3.4.1 SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN ÓPTIMA

La velocidad de transmisión de los datos, esta limitada por la velocidad de respuesta de cada sensor y también por la velocidad de lectura y transmisión que tiene la tarjeta de adquisición de datos (DAQ)

Ya que la configuración de los datos, que son adquiridos desde los sensores a través del DAQ, se realiza por medio de un Asistente virtual (DAQ ASSISTANT) es ahí donde podemos configurar el número de muestras y la velocidad de actualización o velocidad de transmisión de los datos.

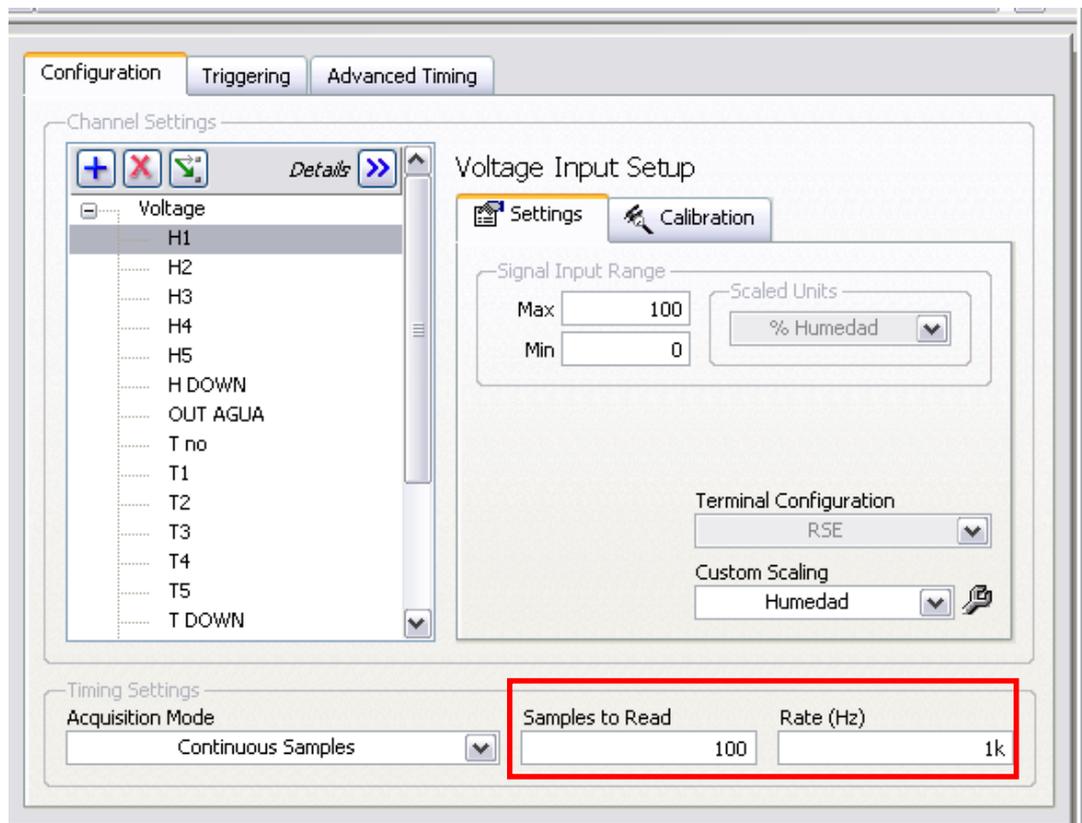


Figura 3.45 Velocidad de transmisión y actualización de los datos

3.4.2 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Se ha conseguido adquirir los datos de cada uno de los sensores.
- Las conexiones eléctricas se han simplificado al máximo y se ha evitado el tener fuentes externas de alimentación energética.

- Se ha configurado adecuadamente los datos ajustando las señales según las características específicas de la torre de enfriamiento.
- Se ha conseguido presentar los datos de forma clara y ordenada, respetando las características estéticas requeridas por la ESPE.

CAPITULO IV

4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1 DETERMINACIÓN DE SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Aunque es habitual emplear indistintamente los términos 'sensor' y 'transductor' hay que tener en cuenta que no son lo mismo. Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir.

Un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica.¹⁸

Por lo que concepto de transductor es más amplio, ya que un transductor puede incluir, por ejemplo, un sensor y un acondicionador de señal o un conversor analógico-digital. Por ejemplo, una posible solución para medir la altura del agua de un depósito sería utilizar un flotador como sensor primario

¹⁸ Apuntes Ing. Luis Echeverria

(convertiría el nivel de agua del depósito en un desplazamiento) y un potenciómetro como transductor (convertiría el desplazamiento en una variación de resistencia)

Tabla 4.1 Ejemplos de transductores

Magnitud Física	Transductor	Características
Posición (Lineal o Angular)	Potenciómetro	Analógico
	Encoder	Digital
	Sincro y Resolver	Analógico
Pequeños desplazamientos	Transformador diferencial	Analógico
	Galga Extensiométrica	Analógico
Velocidad (Lineal o Angular)	Dinamo tacométrica	Analógico
	Encoder	Digital
	Detector inductivo u óptico	Digital
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Sensor de velocidad + calculador	Digital
Fuerza y Par	Galga Extensiométrica	Analógico
Temperatura	Termopar	Analógico
	Resistencias PT100	Analógico
	Termistores CTN	Analógico
	Termistores CTP	Todo-Nada
	Bimetales	Todo-Nada
Sensores de Presencia o Proximidad	Inductivos	Analógico o Todo-Nada
	Capacitivos	Todo-Nada
	Ópticos	Analógico o Todo-Nada

Aquellos efectos físicos que provocan un cambio en alguna de las características eléctricas de un material o dispositivo, pueden utilizarse para realizar la transducción de la magnitud física causante de la variación.

Las variaciones eléctricas que pueden darse son: generación de tensión o intensidad por parte del dispositivo, o modificaciones en la resistencia, capacidad o inductancia del mismo.

- **Generación de Tensión o Intensidad**

Al aplicar la magnitud física sobre el dispositivo, éste genera una tensión o intensidad dependiente del nivel de dicha magnitud, sin necesidad de alimentación eléctrica. Por ejemplo los termopares generan una tensión dependiente de la temperatura a la que está sometido.

- **Variación de la Resistencia**

La Resistencia de un dispositivo es la medida de la oposición que este ofrece a ser atravesado por una corriente eléctrica. La resistencia es dependiente de la longitud, la sección y la conductividad o resistividad del material, un elemento comúnmente usado es el potenciómetro, como un transductor resistivo (Figura 4.1).

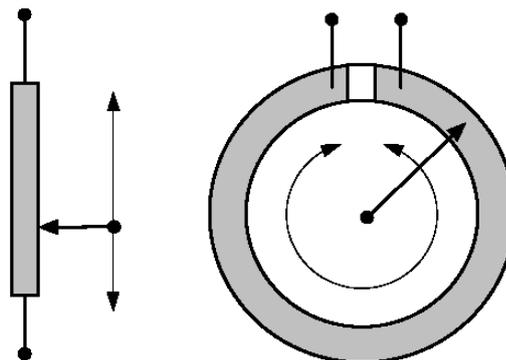


Figura 4.1 Potenciómetro

- **Variación de la Capacidad**

Dos conductores separados por un dieléctrico (aislante) constituyen un Condensador. La capacidad de dicho condensador es dependiente del área enfrentada de los conductores, de la distancia a la que se encuentran y de la constante dieléctrica (Figura 4.2).

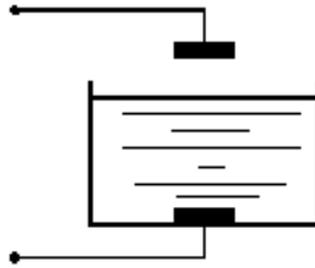


Figura 4.2 Condensador

- **Variación de la Inductancia**

La Inductancia de un dispositivo indica la magnitud del flujo magnético que lo atraviesa cuando circula por el una corriente eléctrica. Esta magnitud es dependiente número de espiras del conductor. Si la corriente circula por el mismo conductor se habla de auto-inductancia, y si lo hace por otro conductor acoplado se denomina inductancia mutua (Figura 4.3).

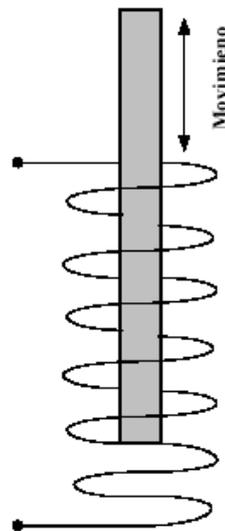


Figura 4.3 El transformador Diferencial Variable Lineal (LVDT)

Los componentes, accesorios necesarios para optimizar y automatizar la adquisición de los datos se detallan a continuación

HIH-4030-001S

Características:

- Relación lineal voltaje de salida vs. %RH
- Voltaje de alimentación 4 - 5.8 V
- Rango de Humedad 0 %RH a 100 %RH
- Precisión de -3.5 %RH a 3.5 %RH (a 25°C)
- Tiempo de respuesta 5 seg.

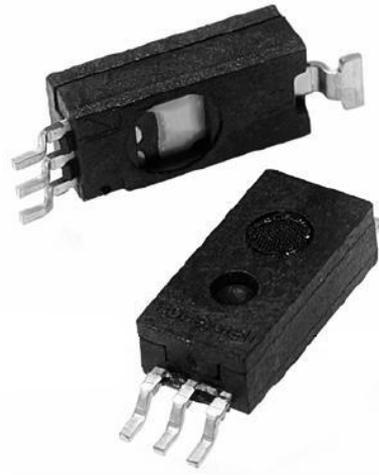


Figura 4.5 Sensor de Humedad HIH-4030-001S

4.1.3 SENSOR DE CAUDAL

Marca:

OMEGA

Procedencia:

Estados Unidos

Modelo:

FPR204-PC-PS

Características:

- Transmisor con salida de pulsos
- FNPT = 1/2"
- Presión Máxima = 200 PSI

- Rango de Flujo = 0.5 a 10 GPM, 1.135 to 11.35 m³/h



Figura 4.6 Sensor de Caudal FPR204-PC-PS

4.1.4 SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Marca:

OMEGA

Procedencia:

Estados Unidos

Modelo:

PX139-001D4V

Características:

- Voltaje de alimentación: 5 Vdc @ 2 mA
- Salida: 0.25 a 4.25 Vdc
- Rango de medición: ± 1 PSI
- Span: 4 V ± 0.1 V
- Linealidad e Histeresis: $\pm 0.1\%$ FS
- typical, 0.5% max (0.5% typ. 1% max para ± 0.3 psi range)
- Balance a cero: 2.25 ± 0.1 Vdc diff.; 0.25 ± 0.1 Vdc abs.
- Temperatura de almacenamiento: -40 a 125°C (-40 a 257°F)
- Rango de compensación de temperatura: 0 a 50°C (32 a 122°F)



Figura 4.7 Sensor Diferencial de Presión PX139-001D4V

4.1.5 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ)

Marca:

NATIONAL INSTRUMENTS

Procedencia:

Estados Unidos

Modelo:

USB-6218

Características:

- 32 entradas analógicas (16 bits, 250 kS/s)
- 2 salidas analógicas (16 bits a 250 kS/s), 8 entradas digitales, 8 salidas digitales, dos contadores de 32 bits
- Aislamiento CAT I de 60 V para seguridad y precisión mejoradas; conectividad de señal integrada
- NI signal streaming para transferencia de datos bidireccional a alta velocidad en USB; la versión OEM está disponible
- Compatible con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- El software de NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW Signal Express LE para registro de datos



Figura 4.8 Tarjeta de Adquisición de Datos USB-6218

4.2 DETERMINACION DE ACTUADORES.

Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control.

Ya que nuestro proyecto esta orientado a la automatización del sistema de adquisición de datos más no al sistema de control específicamente, no se requirieron más actuadores.

4.2.1 TIPOS DE ACTUADORES:

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador. Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

Actuadores más usados.

- Cilindros neumáticos e hidráulicos. Realizan movimientos lineales.
- Motores (actuadores de giro) neumáticos e hidráulicos. Realizan movimientos de giro por medio de energía hidráulica o neumática.
- Válvulas. Las hay de mando directo, motorizadas, electro neumáticas, etc. Se emplean para regular el caudal de gases y líquidos.
- Resistencias calefactoras. Se emplean para calentar.
- Motores eléctricos. Los más usados son de inducción, de continua, sin escobillas y paso a paso
- Bombas, compresores y ventiladores. Movidos generalmente por motores eléctricos de inducción.

El único tipo de actuador presente en la Torre de Enfriamiento es el Motor Eléctrico



Figura 4.9 Motor Eléctrico

4.3 DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Con la información anterior ya podemos determinar con certeza los componentes de nuestro sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición y presentación de variables en la Torre de enfriamiento está compuesto de la siguiente forma:

4.3.1 COMPONENTES FÍSICOS

Es necesario destacar la dificultad de conseguir sensores que posean las características correctas para transformar los fenómenos físicos, en señales de salida del mismo tipo (Volts), y que al mismo tiempo posean interfases de conexión iguales.

En este caso después de realizar exhaustivas averiguaciones, muchas cotizaciones y varias importaciones, se logro respetar estas dos condiciones fundamentales para simplificar al máximo el sistema electrónico de adquisición y presentación de datos.

La entrada de corriente continua que alimenta a todos los sensores (+ Vcc, Cable rojo) proviene de la misma tarjeta de adquisición de datos, gracias a esto no fue necesaria la instalación de una fuente de alimentación externa para el sistema de datos, optimizando aun más el sistema.

4.3.1.1 Fenómenos físicos

Los fenómenos físicos determinantes en este equipo son: Temperaturas del aire y del agua en diferentes puntos, Humedad del aire, Caudal de agua, Caudal de Aire

La medición del caudal de aire no es directa, se realiza por medio de una placa orificio, que nos permite determinar el caudal conociendo la variación de presión producida por la placa y considerando una escala de acuerdo con las condiciones específicas del equipo, en el capítulo siguiente se detallan dichas condiciones.

4.3.1.2 Sensores o transductores

En este caso se utilizan:

13 sensores de temperatura, 6 para agua y 7 para aire,
7 sensores de humedad relativa,
1 Sensor de Caudal, y
1 sensor de presión diferencial

Los sensores se instalan en puntos claves, que determinan el comportamiento termodinámico del equipo.

4.3.1.3 Cableado

Ya que la interfase física de alimentación y salida eléctrica de los sensores utilizados son las mismas en cada sensor (a pesar de ser sensores diferentes), se pudo respetar el esquema de colores universal:

ROJO: Entrada de energía + 5 Volts (Corriente Continua)

VERDE: Datos de salida de los sensores (Volts)

NEGRO: Conexión a Tierra

4.3.1.4 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)

Es el módulo o tarjeta donde están conectados todos los sensores, permite adquirir todas las señales que remiten los sensores, la tarjeta junta las señales y las trasmite en un mismo paquete de datos

4.3.1.5 Interfase de comunicación

Es la interfase de comunicación entre el DAQ y el PC, en este caso se utiliza un cable USB, de no más de 2 metros de longitud, esto es para no inferir en la velocidad y capacidad de transmisión de las señales.

4.3.2 COMPONENTES VIRTUALES

Los componentes no-físicos aquí llamados virtuales son esencialmente las configuraciones y programaciones necesarias para el acondicionamiento y presentación de las señales arrojadas por los sensores, adquiridas por nuestro modulo o tarjeta de adquisición de datos, y presentadas en la pantalla del PC

El detalle de estos componentes fue explicado en el anterior capítulo.

4.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Una vez que se realizó la programación del HMI, fueron necesarias varias actualizaciones, con forme se realizaban ajustes estéticos y de programación

El desarrollo del software se realizó ajustándose a las necesidades descubiertas en las pruebas preliminares.

Fueron necesarias versiones del programa de configuración presentación de los datos a continuación unos ejemplos

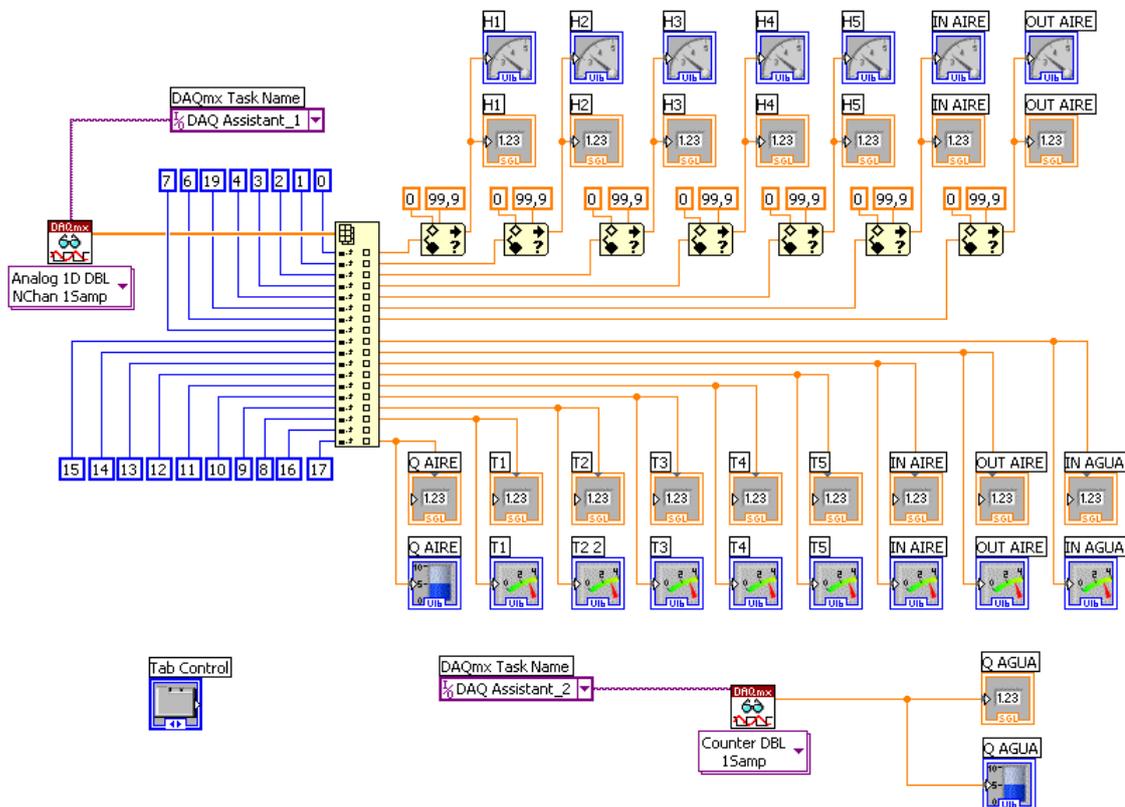


Figura 4.10 Programación HMI-TORRE v. 1.0



Figura 4.11 Estética HMI-TORRE v. 1.0

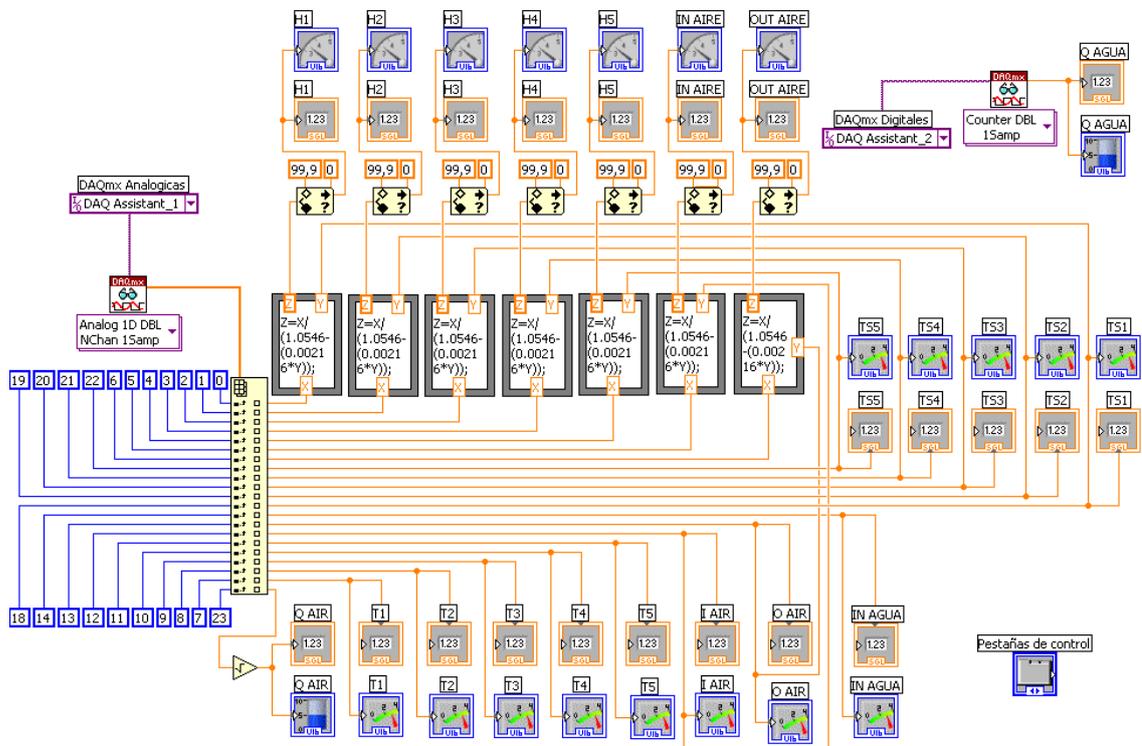


Figura 4.12 Programación HMI-TORRE v. 2.0 (Final)

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO

TORRE DE ENFRIAMIENTO



LABORATORIO TERMODINAMICA

DE.C.E.M.

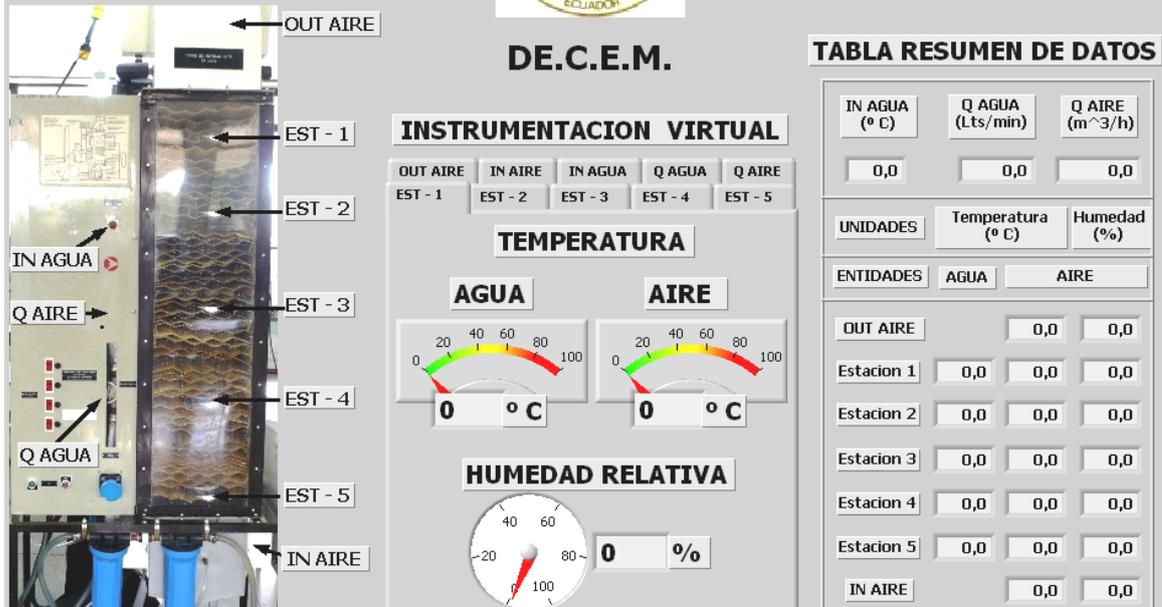


Figura 4.13 Estética HMI-TORRE v. 2.0 (Final)

4.5 INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO

4.5.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Antes de la ejecución e instalación del sistema de adquisición de datos fue necesario realizar un mantenimiento correctivo, esto debido al estado del equipo, las principales actividades realizadas se detallan a continuación:

- Se contrata una empresa para la reparación de la caja de resistencias, las 4 resistencias fueron cambiadas



Figura 4.14 Resistencias reparadas

- Remoción de las partículas sólidas y sedimentos adheridos a la caja y a las resistencias



Figura 4.15 Limpieza de la Caja y de las resistencias

- Se realiza el cierre y sello de la caja



Figura 4.16 Cierre y sello de la caja de resistencias

- Instalación de la caja de calentadores o resistencias en su lugar correspondiente atrás del panel de control eléctrico

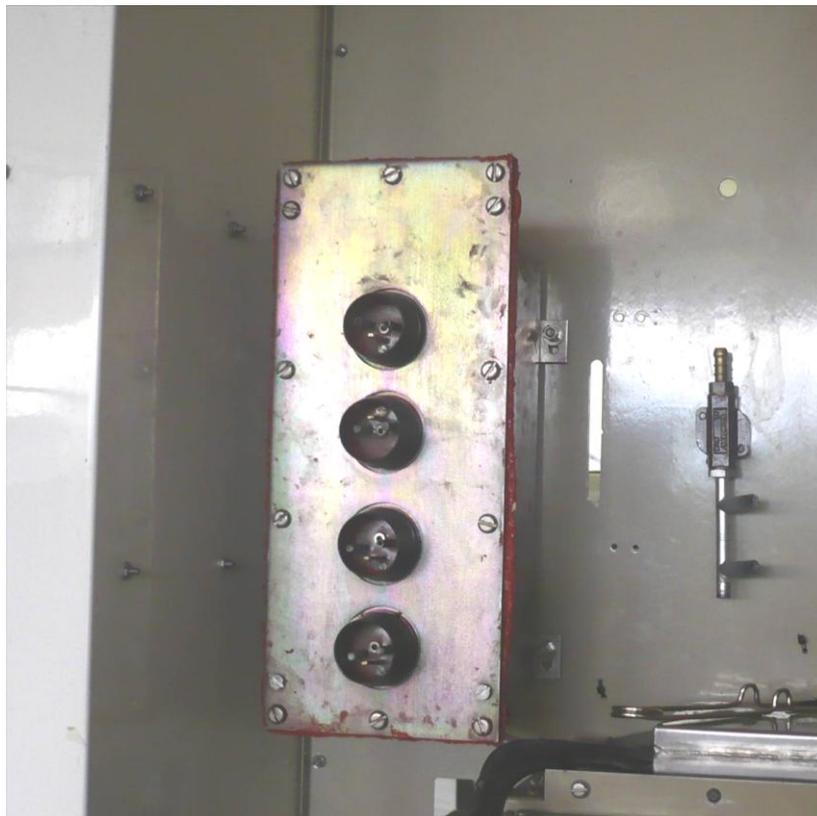


Figura 4.17 Instalación de los calentadores

- Se cambia toda la tubería de agua por mangueras nuevas del mismo diámetro y calibre, se revisa que no existan fugas de ningún tipo.



Figura 4.18 Cambio de Mangueras

- Se retiran los instrumentos de medición antiguos; sistema del cañón psicrométrico, Válvulas innecesarias, termocuplas, termómetros, acrílico, rotámetro, etc.



Figura 4.19 Sistema de Cañón Psicrométrico

- Instalación del sistema de purificación de agua, fue necesario instalar este sistema de filtros en serie ya que la calidad de agua del laboratorio es insuficiente, posee demasiados elementos químicos que dañan a los delicados sensores, los sedimentos se adhieren a los sensores y modifican las señales e incluso los pueden dañar permanentemente.



Figura 4.20 Sistema de purificación de agua

4.5.2 SISTEMA DE DATOS

El procedimiento de instalación del moderno sistema de generación, adquisición, procesamiento y presentación de datos, es el siguiente

- Se prueban los datos de cada sensor, con la ayuda de un protocolo, de la DAQ y de un software que ejecuta una utilidad del DAQ llamada Test

Panels, que permite escoger el canal y ver en tiempo real, la señal adquirida, el programa es **Measure & Automation**¹⁹.

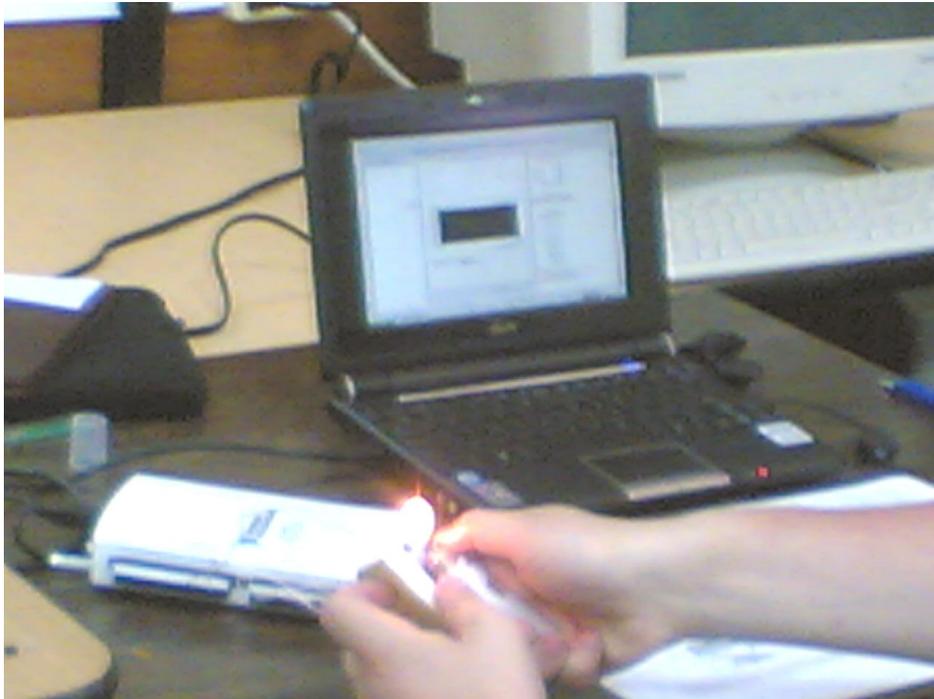


Figura 4.21 Pruebas de cada sensor

- Se realiza el alargamiento de los pines de conexión, se sueldan las tres conexiones de cada sensor y se realiza el aislamiento de las juntas

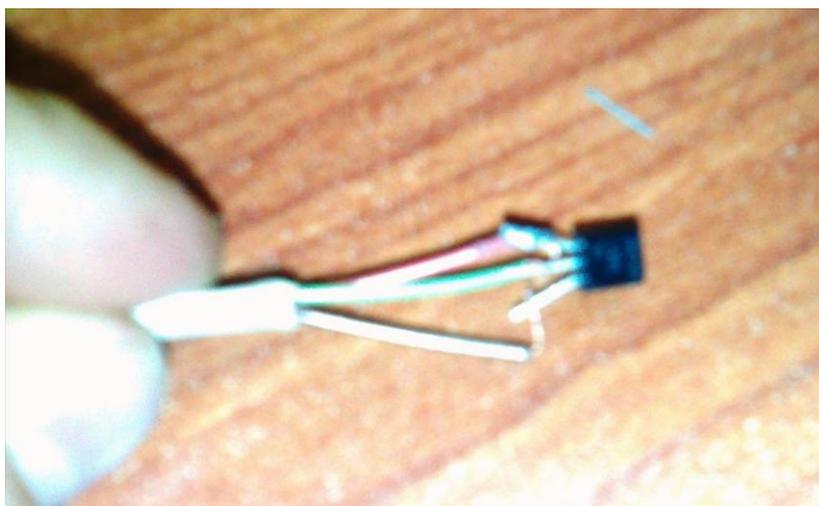


Figura 4.22 Soldando las Conexiones

¹⁹ Programa de National Instruments, adquirido con la compra del DAQ.

- El aislamiento de las conexiones de los sensores se realizo con silicona normal de temperatura media (caliente, Transparente, 60°C), y para sensores expuestos a mayores temperaturas se utilizo silicona para alta temperatura (Fría, Roja, 300 °C), además se colocaron tubos termo retractables que conformaron la ultima capa del recubrimiento



Figura 4.23 Aislamiento de las juntas

- Se realiza el encapsulamiento en los sensores de humedad y temperatura (Aire) que van dentro de la torre, ya que las condiciones humedad son muy hostiles ahí dentro. El encapsulamiento se realiza con Silicona, tubo termo retractable y una protección externa de acrílico



Figura 4.24 Encapsulamiento sensores de humedad

Aquí es necesario comentar que por problemas presupuestarios no se pudieron conseguir sensores de humedad de uso industrial que ya poseen un encapsulamiento de fábrica, lo que garantiza un correcto desempeño en condiciones hostiles.

El precio de estos sensores es hasta 15 veces mayor que los sensores adquiridos para este proyecto. Se recomienda el cambio de los sensores de uso normal por unos de uso industrial si en el futuro se presentan problemas.

- Se colocan los sensores dentro de la torre, cada uno en su lugar correspondiente se asegura su posición



Figura 4.25 Instalación y sujeción de los sensores en cada estación

- También se coloca el sensor de caudal en lugar de rotámetro y el sensor de presión diferencial.



Figura 4.26 Sensor de caudal

- Luego es necesario conectar cada sensor con la tarjeta o modulo de adquisición de datos, para tener orden en las conexiones se adjunta a la DAQ un modulo de conexiones para los cables rojo (Alimentación) y negro (Tierra)



Figura 4.27 Modulo de conexiones

- Se realiza una abertura en la parte posterior de la torre para poder conectar el cableado interno con la DAQ, También se instala una caja que será la caja de control de las conexiones eléctricas del sistema, donde también esta el sensor de presión diferencial



Figura 4.28 Conexiones al DAQ



Figura 4.29 Caja de conexiones

CAPITULO V

5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de funcionamiento son esenciales para analizar, verificar, comprobar y validar el estado completo de la torre de enfriamiento.

Es necesario encender el equipo y analizar cada uno de los sistemas que lo componen, de esta manera se puede garantizar su correcto funcionamiento

Antes de proceder a las pruebas del equipo es necesario detallar las características que definen el equipo.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE

5.1.1 UTILIDAD Y SERVICIO

La utilidad principal de la torre de enfriamiento es enfriar el agua caliente mediante el contacto a contra flujo con una corriente de aire, con la variación de los diferentes parámetros (temperaturas, caudales, velocidad, etc.) podemos determinar la mejor eficiencia del proceso.

5.1.2 REQUERIMIENTOS

5.1.2.1 Eléctricos

La torre de enfriamiento demanda una alimentación eléctrica de 220V, 3 fases, 60 Hz.

El sistema de datos requiere corriente alterna de 110 a 220V 1 fase, 60Hz, para el computador personal

5.1.2.2 Materiales

Se necesita un flujo controlado mínimo de agua (agua limpia) de 350 Kg. / h (77 Gal. / h). El agua de alimentación debe tener una presión no menos de 1.5 Bar (22 PSI)

5.1.2.3 Accesorios

Para funcionar el equipo necesita los siguientes accesorios:

1. 2 Filtros de agua
2. Tarjeta de adquisición de Datos de 32 Entradas
3. Computador Personal (Instalados, Drivers y HMI)
4. 13 Sensores de temperatura
5. 7 Sensores de humedad
6. 1 Sensor de Presión Diferencial
7. 1 Sensor de caudal
8. Cable USB a, USB b (Interfase de comunicación)

Para la práctica se ha dispuesto de estos elementos pero en caso de daño o des-configuración se deben seguir los pasos detallados en el manual de Mantenimiento

5.1.2.4 Infraestructura

El equipo no necesita de una infraestructura extra

Para la adquisición de datos, solo es necesaria la caja de control de conexiones donde se encuentra la tarjeta de adquisición de datos. Y el sensor de presión.

5.1.2.5 Seguridad

Las tres líneas principales del circuito (neutro y fases) de calentamiento de agua deberán estar protegidas por fusibles.

Los indicadores de funcionamiento de las resistencias eléctricas deberán estar en perfecto estado, se deben prender, para saber con seguridad con que cargas se está trabajando.

Para que el sensor de caudal tenga un buen funcionamiento debe estar abierta la válvula de ingreso de agua.

El motor del soplante de aire está protegido por un fusible automático el cual ante una sobrecarga de trabajo se desconecta.

El soplante de aire podrá entrar en funcionamiento en los siguientes cinco minutos, de lo contrario se debe revisar y/o cambiar el fusible.

5.2 PRUEBAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN DIVERSOS CASOS.

Para las pruebas de transferencia de calor se ha clasificado en dos casos:

Variando el caudal de aire o agua

Variando el calor

Es importante resaltar que el objetivo de realizar los diferentes casos es para obtener una mayor diversidad de datos, y llegar a la conclusión de que la

automatización del equipo tiene un buen grado de confiabilidad y que a pesar de que el equipo ya cumplió con su vida útil, el mantenimiento que se le ha dado a lo largo de los años ha contribuido para que aun se puedan realizar prácticas en este equipo.

5.2.1 VARIANDO EL CAUDAL DE AIRE Y/O AGUA

En este caso el caudal de agua y/o aire se debe variar, el comportamiento térmico también varía dependiendo de la cantidad de agua y aire que intervengan en el proceso de transferencia de calor.

5.2.1.1 Procedimiento

- Se abre totalmente la pestaña del soplante de aire y se abre completamente la válvula de agua.
- Se esperan 5 minutos entre cada toma de datos para q se estabilice el equipo.
- Se apaga una resistencia y se disminuye el caudal de agua para q la T Entrada se acerque a 38 °C
- Después de 4 tomas de datos se desplaza la pestaña del soplante de aire hasta cubrir la mitad del círculo y se realiza el procedimiento anterior.
- Después de las 4 tomas de datos siguientes se desplaza la pestaña del soplante de aire hasta dejar una abertura de $\frac{1}{4}$ de círculo.



Figura 5.1 Variación del Caudal de aire y agua

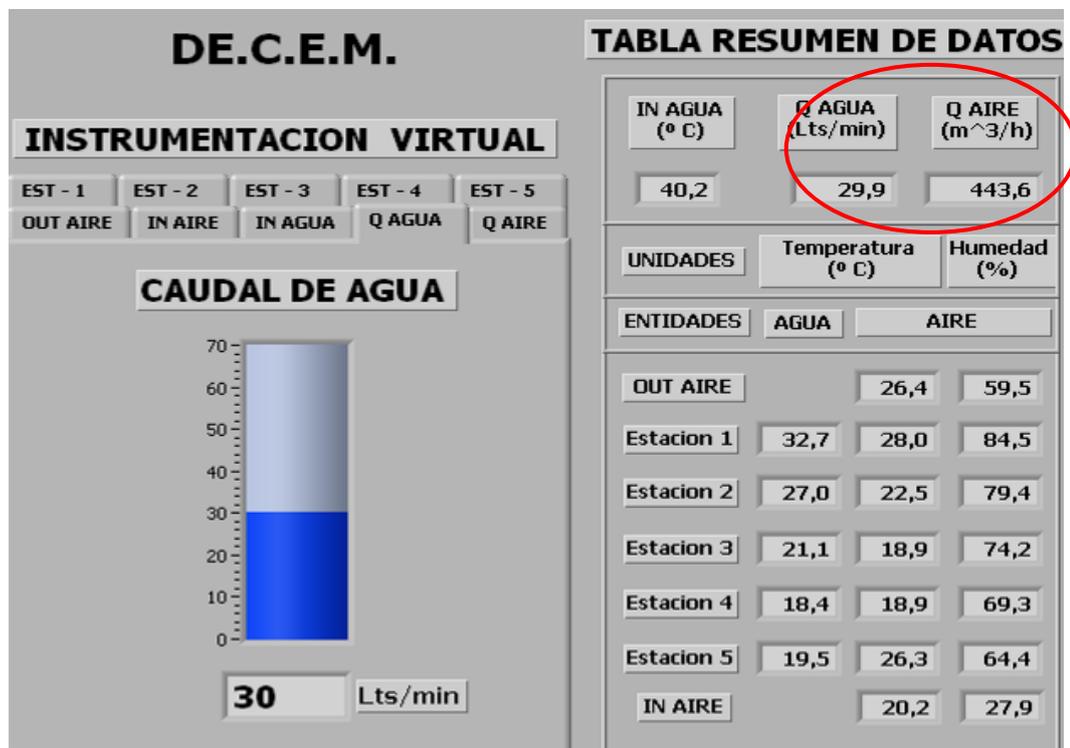


Figura 5.2 Variando el caudal de agua a 30 Lts/min

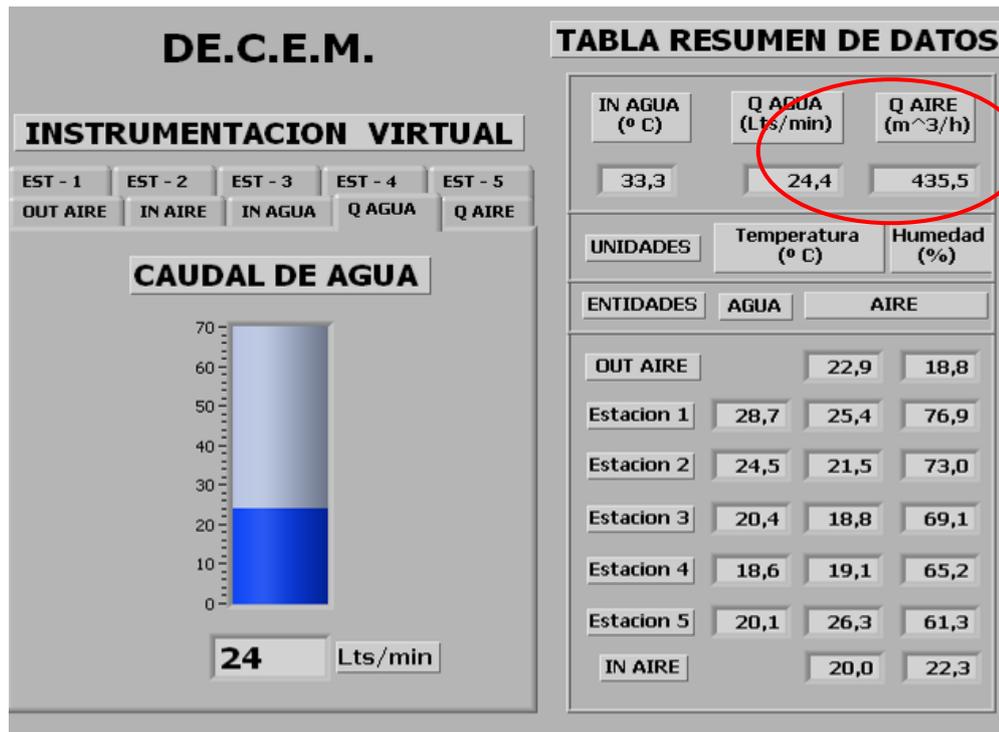


Figura 5.3 Variando el caudal de agua a 24 lts/min

5.2.2 VARIANDO EL CALOR

Se tiene que evaluar los datos aplicando la lógica de los conceptos básicos como el funcionamiento de la torre, las densidades del aire, la transferencia de calor por convección y con esto también se puede evaluar si los datos que estamos obteniendo están correctos o no.

Es necesario destacar la importancia de seguir con el procedimiento que se describe en las guías de prácticas.

A continuación la comparación de los datos obtenidos

TABLA RESUMEN DE DATOS				TABLA RESUMEN DE DATOS			
IN AGUA (° C)	Q AGUA (Lts/min)	Q AIRE (m ³ /h)		IN AGUA (° C)	Q AGUA (Lts/min)	Q AIRE (m ³ /h)	
41,4	62,9	442,3		37,6	54,2	438,1	
UNIDADES	Temperatura (° C)	Humedad (%)		UNIDADES	Temperatura (° C)	Humedad (%)	
ENTIDADES	AGUA	AIRE		ENTIDADES	AGUA	AIRE	
OUT AIRE		31,3	99,9	OUT AIRE		29,2	86,3
Estacion 1	48,6	30,1	99,9	Estacion 1	34,7	29,2	91,2
Estacion 2	31,9	25,9	91,3	Estacion 2	29,7	25,1	84,3
Estacion 3	25,4	20,8	82,6	Estacion 3	25,1	20,6	77,4
Estacion 4	21,3	20,2	72,6	Estacion 4	20,9	20,1	70,9
Estacion 5	20,2	27,0	62,6	Estacion 5	20,2	26,8	64,3
IN AIRE		24,5	23,1	IN AIRE		23,7	22,8

Figura 5.4 Resumen de datos Variando el calor

5.3 VERIFICACIÓN, DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE CURVAS Y RESULTADOS.

Para la organización de las tablas de datos se ha tomado en cuenta los parámetros controlables; Caudal de Agua, Caudal de Aire y Número de Resistencias Activas, los demás datos se obtienen como consecuencia de dichos parámetros y representan el estado Termodinámico del equipo.

La tabulación de los datos y las graficas correspondientes se detallan a continuación

Tabla 5.1 Variando el Calor 1

RESISTENCIAS		4	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
39,3	63,7	447,8	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	30,7	75,0
EST - 1	35,3	30,6	92,8
EST - 2	31,4	26,6	87,1
EST - 3	24,7	20,8	81,3
EST - 4	20,9	20,1	76,1
EST - 5	19,6	25,1	70,8
IN AIRE	-----	23,4	24,9

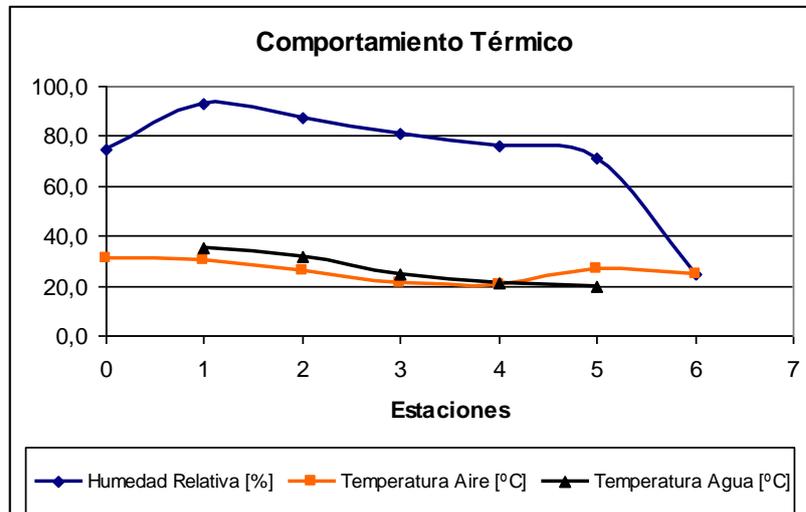


Figura 5.5 Comportamiento Térmico 1

Tabla 5.2 Variando el Calor 2

RESISTENCIAS		3	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
38,4	50,2	458,3	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	29,1	83,3
EST - 1	35,2	29,5	87,3
EST - 2	30,0	25,4	82,0
EST - 3	24,4	20,0	76,6
EST - 4	19,9	19,4	71,6
EST - 5	19,5	25,5	66,6
IN AIRE	-----	23,1	23,4

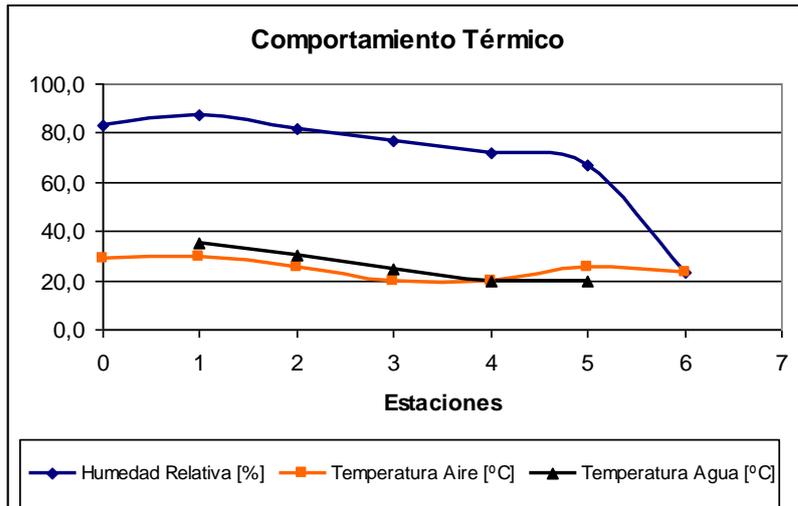


Figura 5.6 Comportamiento Térmico 2

Tabla 5.3 Variando el Calor 3

RESISTENCIAS		2	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
40,2	29,9	443,6	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	26,4	59,5
EST - 1	32,7	28,0	84,5
EST - 2	27,0	22,5	79,4
EST - 3	21,1	18,9	74,2
EST - 4	18,4	18,9	69,3
EST - 5	19,5	26,3	64,4
IN AIRE	-----	20,2	27,9

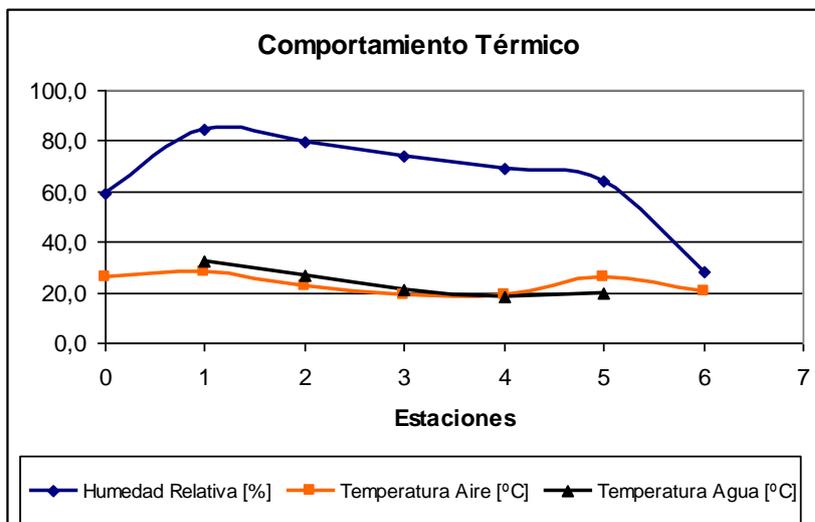


Figura 5.7 Comportamiento Térmico 3

Tabla 5.4 Variando el Calor 4

RESISTENCIAS		1	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
7	24,4	435,5	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	22,9	18,8
EST - 1	28,0	25,4	76,9
EST - 2	24,5	21,5	73,0
EST - 3	20,4	18,8	69,1
EST - 4	18,8	19,1	65,2
EST - 5	20,1	26,3	61,3
IN AIRE	-----	20,0	22,0

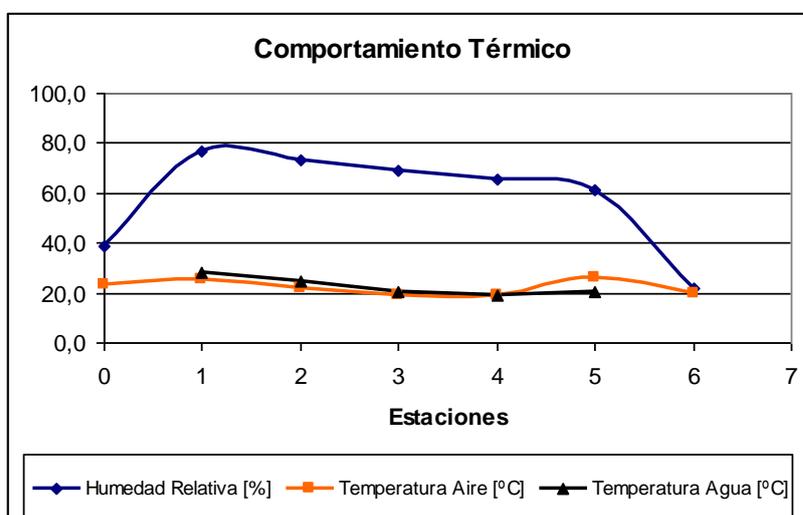


Figura 5.8 Comportamiento Térmico 4

Tabla 5.5 Variando el Calor 5

RESISTENCIAS		4	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
41,4	62,9	442,3	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	31,3	99,9
EST - 1	48,6	30,1	99,9
EST - 2	31,9	25,9	91,3
EST - 3	25,4	20,8	82,6
EST - 4	21,3	20,2	72,6
EST - 5	20,2	27,0	62,6
IN AIRE	-----	24,5	23,1

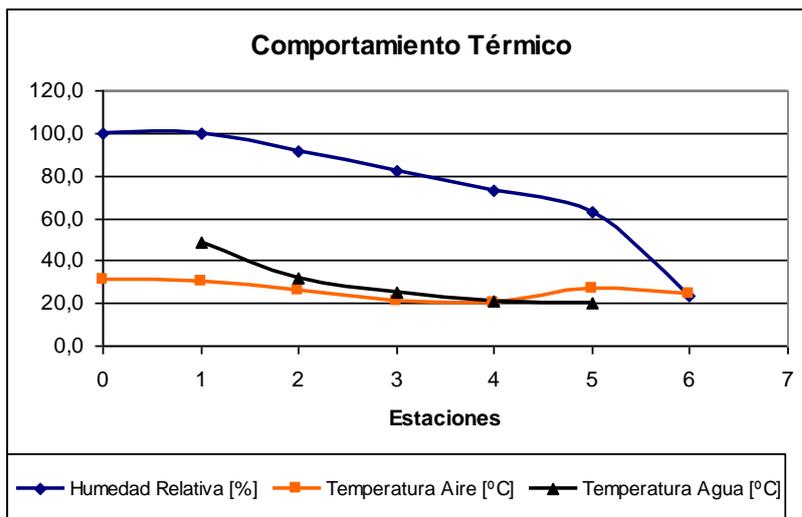


Figura 5.9 Comportamiento Térmico 5

Tabla 5.6 Variando el Calor 6

RESISTENCIAS		3	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
37,6	54,2	438,1	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	29,2	86,3
EST - 1	34,7	29,2	91,2
EST - 2	29,7	25,1	84,3
EST - 3	25,1	20,6	77,4
EST - 4	20,9	20,1	70,9
EST - 5	20,2	26,8	64,3
IN AIRE	-----	23,7	22,8

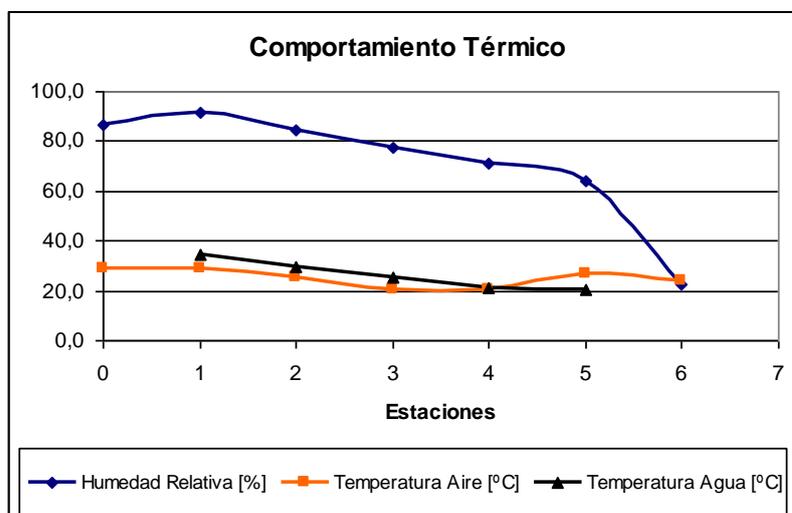


Figura 5.10 Comportamiento Térmico 6

Tabla 5.7 Variando el Calor 7

RESISTENCIAS		2	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
36,5	37,5	434,7	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	27,6	70,7
EST - 1	31,9	28,0	89,0
EST - 2	27,6	23,5	82,3
EST - 3	23,5	19,7	75,5
EST - 4	19,4	19,5	69,0
EST - 5	20,4	26,7	62,4
IN AIRE	-----	21,5	23,5

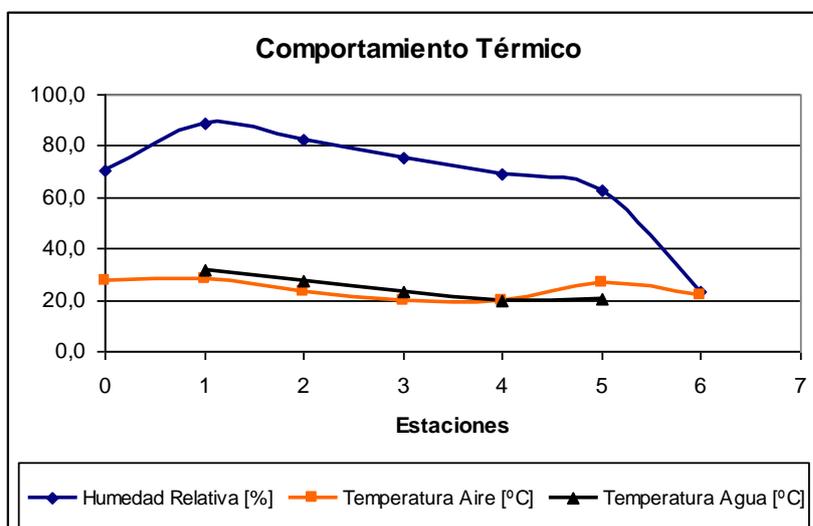


Figura 5.11 Comportamiento Térmico 7

Tabla 5.8 Variando el Calor 8

RESISTENCIAS		1	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
32,7	25,5	435,9	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	22,9	62,2
EST - 1	28,2	25,7	82,3
EST - 2	25,1	21,6	76,6
EST - 3	20,8	19,1	71,0
EST - 4	19,0	19,2	65,4
EST - 5	20,2	26,8	59,7
IN AIRE	-----	19,8	23,0

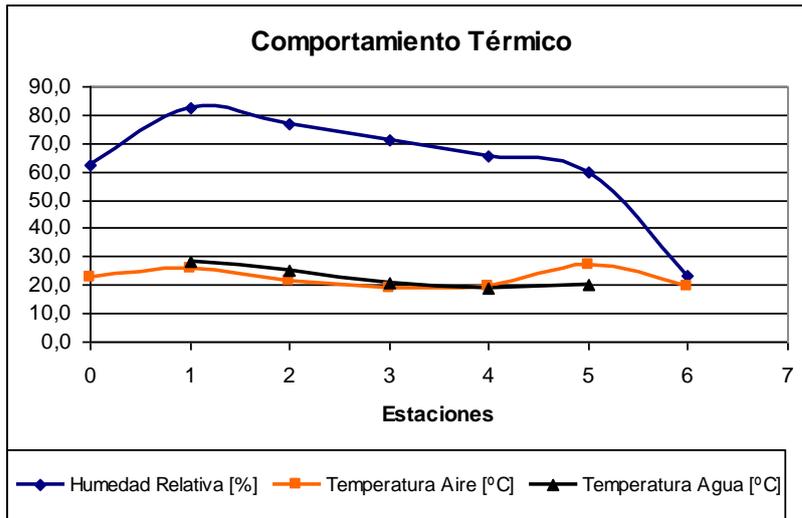


Figura 5.12 Comportamiento Térmico 8

Tabla 5.9 Variando el Calor 9

RESISTENCIAS		4	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
41,2	62,2	400,6	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	32,8	99,9
EST - 1	41,8	32,0	99,9
EST - 2	33,8	27,6	93,6
EST - 3	28,0	22,7	87,3
EST - 4	23,0	21,0	77,9
EST - 5	21,4	26,9	68,5
IN AIRE	-----	25,9	26,7

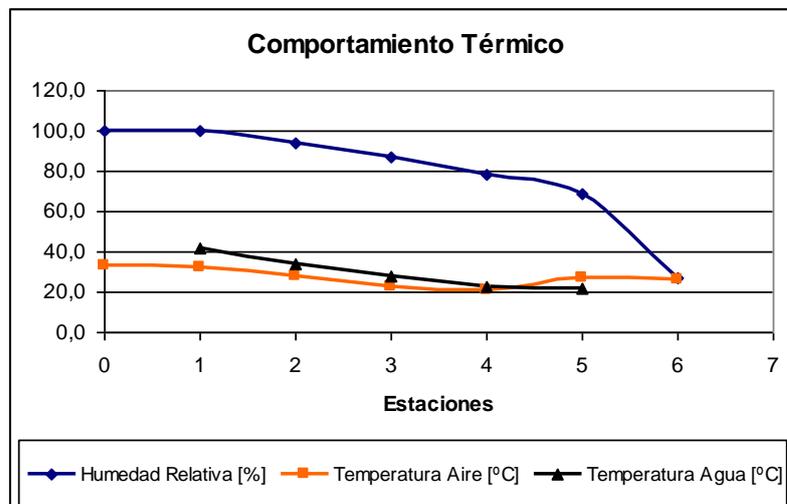


Figura 5.13 Comportamiento Térmico 9

Tabla 5.10 Variando el Calor 10

RESISTENCIAS		3	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
39,5	49,8	408,8	
UNIDAD	T [°C]	T [°C]	H [%]
OUT AIRE	-----	31,7	99,9
EST - 1	43,7	30,7	96,6
EST - 2	32,5	26,9	89,4
EST - 3	28,1	22,4	82,2
EST - 4	23,0	21,4	75,6
EST - 5	21,8	26,4	69,0
IN AIRE	-----	24,7	29,2

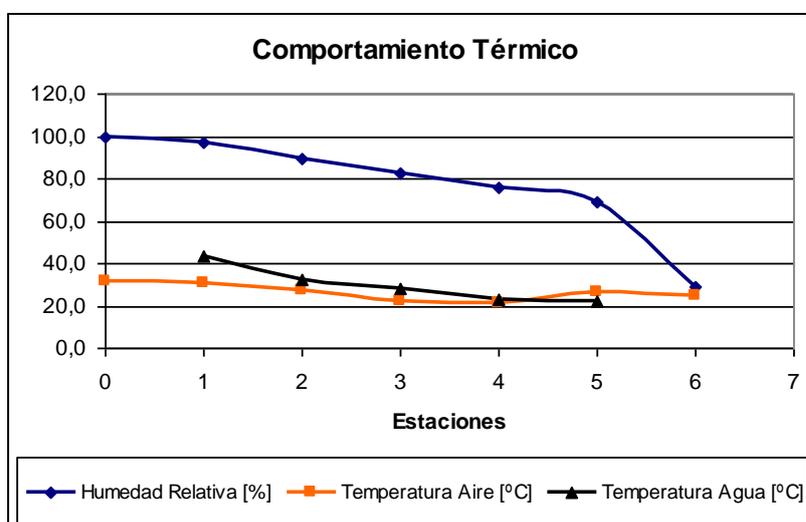


Figura 5.14 Comportamiento Térmico 10

Tabla 5.11 Variando el Calor 11

RESISTENCIAS		2	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
37,6	36,3	401,8	
UNIDAD	T [°C]	H [%]	T [°C]
OUT AIRE	-----	29,5	75,6
EST - 1	33,5	29,7	92,5
EST - 2	30,1	25,5	85,8
EST - 3	25,3	20,9	79,1
EST - 4	21,2	20,4	72,9
EST - 5	21,3	26,3	66,6
IN AIRE	-----	22,6	25,6

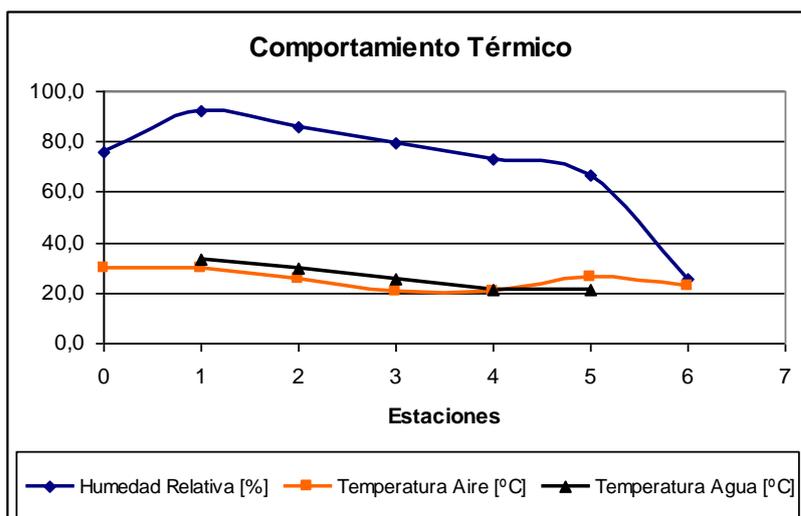


Figura 5.15 Comportamiento Térmico 11

Tabla 5.12 Variando el Calor 12

RESISTENCIAS		1	
IN AGUA [°C]	Q AGUA [Lts/min]	Q AIRE [m ³ /h]	
37,7	28,3	407,6	
UNIDAD	T [°C]	H [%]	T [°C]
OUT AIRE	-----	25,8	99,9
EST - 1	42,5	28,8	99,9
EST - 2	29,4	22,6	90,9
EST - 3	22,7	19,8	81,9
EST - 4	19,9	19,7	72,3
EST - 5	20,8	26,6	62,7
IN AIRE	-----	20,6	31,4

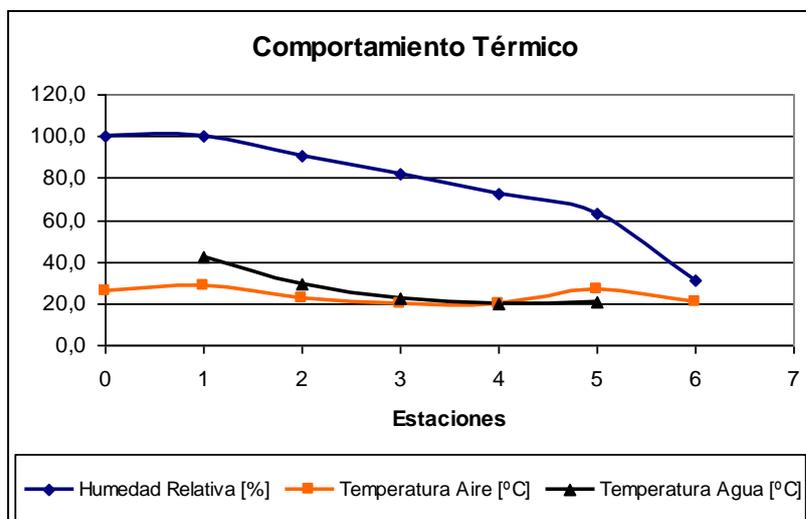


Figura 5.16 Comportamiento Térmico 12

Se puede observar fácilmente que el comportamiento térmico en cada gráfica es parecido, lo que demuestra la validez de la información obtenida con el nuevo sistema de adquisición y presentación de Datos

5.4 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para validar los datos obtenidos por los sensores se deben utilizar patrones certificados, que tengan, mayor apreciación y velocidad de actualización que los datos arrojados por los sensores que se quieren validar.

Lamentablemente en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica no se cuenta con aparatos de que tengan características superiores para crear curvas de calibración lo suficientemente exactas y poder ajustar exactamente los datos.

Es por eso que en el presente proyecto no se puede realizar una validación propiamente dicha, sin embargo siempre es necesaria una comprobación o verificación, los datos de los sensores deben ser parecidos a los datos obtenidos a partir de los instrumentos de medición comunes utilizados en el laboratorio.

Los datos de los sensores vienen abalados por el respectivo fabricante, por esta razón, si existe alguna diferencia entre los datos, esa diferencia es asumida como un error de los instrumentos más no de los sensores

5.4.1 SENSORES DE TEMPERATURA

Los instrumentos utilizados para realizar la verificación de los datos, son termómetros de columna de mercurio

Se realizaron pruebas en dos puntos; en la entrada y salida de la torre variando el calor del aire, bajo condiciones diferentes de humedad.

Los resultados obtenidos fueron casi exactos, bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad los sensores y los termómetros de columna de mercurio arrojan los mismos datos



Figura 5.17 Verificación, datos de temperatura

5.4.2 SENSORES DE HUMEDAD

Para los evaluar los sensores de humedad se pudo conseguir un higrómetro, es un aparato que mide el porcentaje de humedad con un pequeño circuito que al contacto con la humedad se expande.

Esa expansión es censada y escalda correctamente, también posee un sensor de temperatura integrado que corrige los datos de humedad de acuerdo a la temperatura que fue tomado el dato.



Figura 5.18 Higrómetro

Aquí es necesario destacar que el sensor de temperatura presente en el higrómetro, es físicamente muy parecido, es por esto que al verificar el numero de serie del sensor se determina que es de la misma marca, la única diferencia es que de una serie y modelo anterior.

Al igual que para los sensores de temperatura, se realizaron pruebas en dos puntos; en la entrada y salida de la torre variando el calor del aire, bajo condiciones diferentes de humedad

Los resultados obtenidos fueron muy parecidos, bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad los sensores y el higrómetro arrojan datos parecidos, pero en este caso la velocidad de actualización de los sensores es mucho muy superior que el higrómetro.



Figura 5.19 Verificación, datos de Humedad

5.4.3 SENSOR DE CAUDAL

Para comprobar los datos del sensor de caudal, se realizaron pruebas con una pipeta de 1000 ml, se tomaron tiempos con un cronómetro y el número de pulsos contados por medio del programa.

El Sensor de caudal arroja datos digitales conocidos como pulsos, el valor de esos pulsos representa el caudal de agua que atraviesa por dicho Sensor.

Los siguientes datos fueron tomados utilizando una pipeta con regla graduada, un cronómetro, el Sensor de caudal, la tarjeta de adquisición de datos, el PC y el programa que visualiza las señales en la pantalla

Se tomaron las mediciones en dos oportunidades para tener un grado de confiabilidad más alto.

El volumen de control es igual a 1 litro o 1000 ml.

Tabla 5.13 Datos Experimentales

F1 [Hz]	F2 [Hz]	F [Hz]	T1 [°C]	T2 [°C]	T [°C]	Q [ml/s]	Q [GPM]
3,20	3,00	3,10	14,25	14,32	14,29	70,00	0,924
5,20	5,00	5,10	9,19	9,08	9,14	109,47	1,445
6,20	6,00	6,10	7,74	7,61	7,68	130,29	1,720
7,20	7,00	7,10	6,19	6,80	6,50	153,96	2,032
8,20	8,00	8,10	5,87	5,92	5,90	169,64	2,239
9,30	9,10	9,20	5,21	5,21	5,21	191,94	2,533

Graficando el Caudal Vs. La Frecuencia (Dato del Sensor) se obtiene lo siguiente:

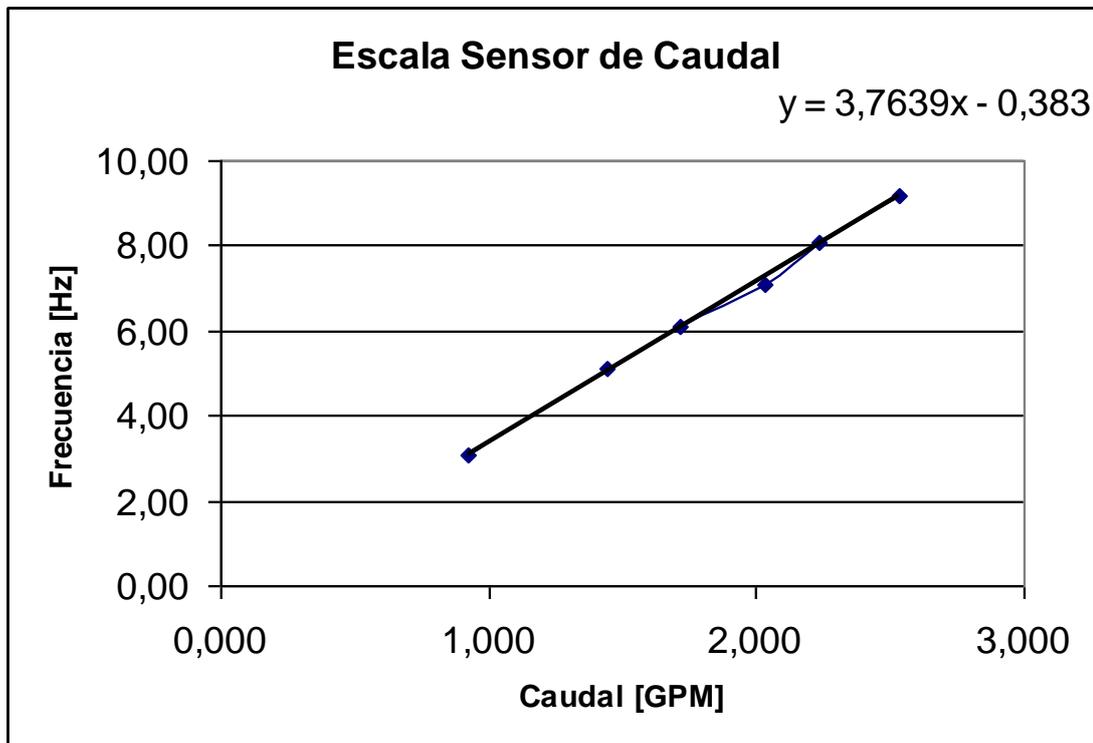


Figura 5.20 Gráfica de Datos Experimentales (Caudal)

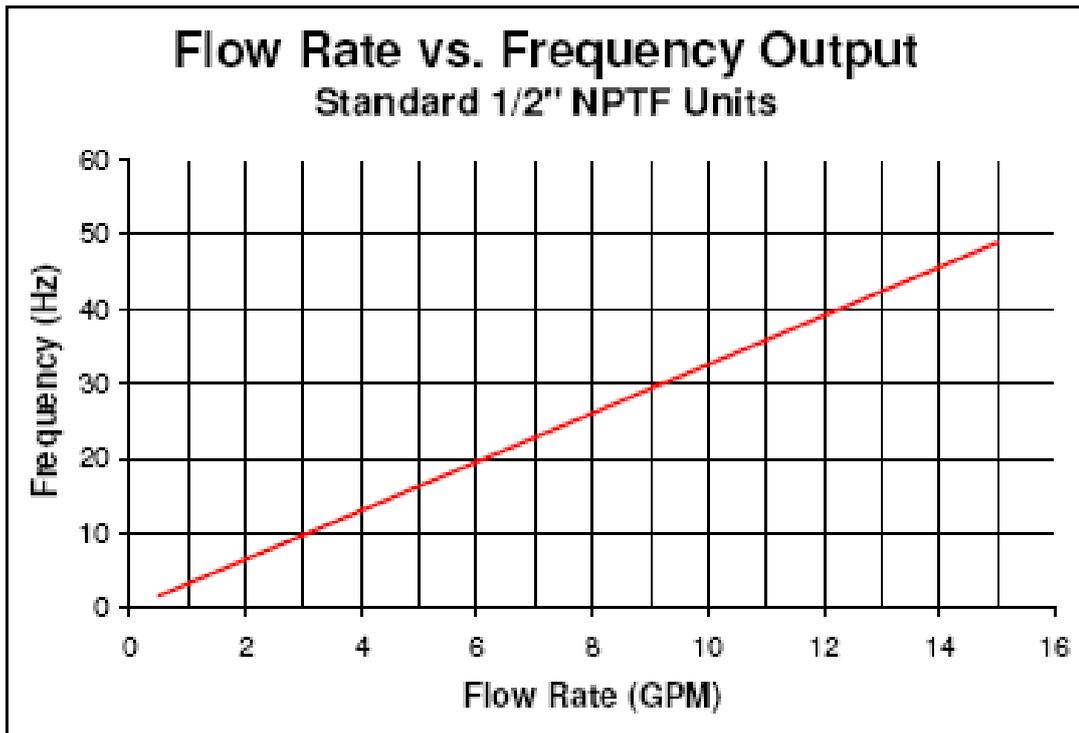


Figura 5.21 Escala proporcionada por el Fabricante del Sensor

Como podemos observar la escala del fabricante es casi la misma de los datos experimentales por lo que la escala proporcionada por el fabricante queda verificada.

5.4.4 SENSOR DE PRESIÓN

La medición del caudal de aire no se la realiza directamente, se la realiza a partir del sensor de presión diferencial y de una placa orificio, para transformar el dato de la presión diferencial a caudal volumétrico se utiliza el método analítico de balance de energías y factores correctivos

El principio utilizado en este proceso analítico es el siguiente: en una tubería la disminución en el área de flujo produce un aumento en la velocidad acompañado de una disminución en la presión, esta correlación entre la diferencia de presión con la velocidad constituye un medio para medir el caudal volumétrico.

Se ha escogido la formulación analítica sin tomar en cuenta presión generada por la altura en las tomas de presión ya que este valor es despreciable.

Se realiza el análisis con la ayuda de las siguientes ecuaciones y figuras²⁰

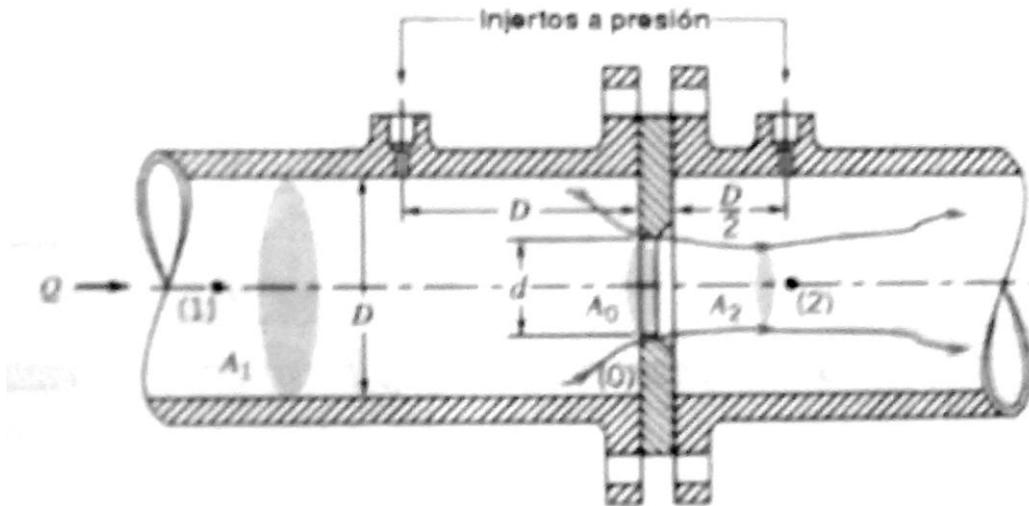


Figura 5.22 Representación de Un Medidor De Caudal Tipo Orificio

$$Q = C_o Q_{ideal} = C_o A_o \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

Ecuación 5.1

Donde:

Q = Caudal

C_o = Coeficiente de descarga en el orificio

P = Presión en cada punto

β = Relación de diámetros

ρ = Densidad del agua

C_o depende de la relación de diámetros y del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Ecuación 5.2

²⁰ Manson - Young - Okiishi, Fundamentos De Mecánica De Fluidos, Primera Edicion, Mexico, Editorial Limusa, 2002, p 515.

Donde

Re = Número de Reynolds

V = Velocidad media del fluido

D= Diámetro mayor

μ = Viscosidad Dinámica

Los datos de los diámetros de la placa orificio fueron experimentales, con la ayuda de un calibrador



Figura 5.23 Breda y ducto de aire



Figura 5.24 Placa Orificio de la torre

$$D = 73,6 \text{ mm.}$$

$$d = 50,7 \text{ mm.}$$

Las constantes para el cálculo han sido tomadas de la tabla 1.8 del mismo libro en la última página.

$$\rho = 1,23 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\mu = 1,79 \times 10^{-5} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

El dato de la velocidad media del fluido fue tomado de las notas originales de funcionamiento proporcionadas por el fabricante

$$V = 2 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Luego de remplazar los datos en la Ecuación 5.2 el resultado es:

$$\text{Re} = 1 \times 10^4$$

$$\beta = \frac{50,7}{73,5} = 0,7$$

Con estos datos entramos en la siguiente figura:

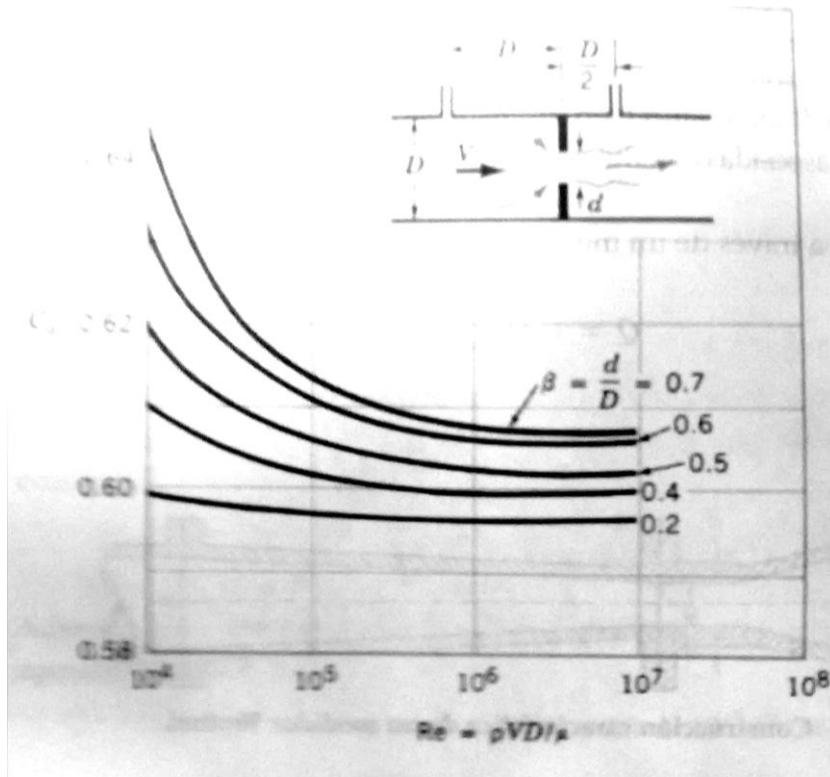


Figura 5.25 Coeficiente de descarga, medidor de Caudal tipo orificio

El valor del coeficiente de descarga es: $C_o = 0,644$

Tomado en cuenta que el dato que nos brinda el Sensor equivale al término $(p_1 - p_2)$ [Volts]

Y que los valores de conversión proporcionados por el fabricante, son los siguientes

0,25 Volts = - 1 PSI

2,25 Volts = 0 PSI

4,25 Volts = + 1 PSI

1 PSI = 6894,65 Pa.

De ahí determinamos que la escala de Volts a Pascales es:

$$\frac{6894,65}{4,25} = 1622,27$$

Remplazando todos los valores antes obtenidos en la Ecuación 5.1

Obtenemos la siguiente escala

$$Q = 0,076645\sqrt{Volts} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

5.5 ELABORACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS

La guía de práctica se realizó de acuerdo a los requerimientos actuales de presentación de informes de prácticas realizadas en el Laboratorio de Termodinámica del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

VER ANEXO I

5.5.1 MANUAL DE OPERACIÓN

El manual se ha elaborado respetando las normas y recomendaciones del fabricante, añadiendo las recomendaciones y procedimientos del moderno sistema de datos.

VER ANEXO II

5.5.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Se han estipulado las normas necesarias para la realización del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de la torre, ante un eventual mal funcionamiento.

De igual manera se han respetado las recomendaciones y procedimientos del fabricante.

VER ANEXO III

CAPÍTULO VI

6 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

Mediante el análisis económico se podrá establecer hacer un análisis para determinar la factibilidad y rentabilidad del proyecto.

Se empieza realizando una estimación económica del costo total del proyecto, lo cual se detalla a continuación.

6.1.1 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos, son gastos que no influyen directamente en el costo del bien. Son aquellos en los cuales se ha tenido que incurrir para poder finiquitar con el proyecto.

6.1.1.1 Suministros y servicios

Tabla 6.1 Suministros

SUMINISTROS	
AGUA	60
LUZ	60
TOTAL [USD]	120

6.1.1.2 Asesoramiento

Tabla 6.2 Recursos Indirectos

MISCELÁNEOS-VARIOS	
Descripción	Costo Total [USD]
Útiles de oficina	100
Transporte	300
Servicios básicos (Electricidad, agua potable, teléfono)	300
Internet	50
Impresiones	80
Copias	70
Total	900

6.1.1.3 Asesoramiento y Mano de obra indirecta

Tabla 6.3 Personal

ASESORAMIENTO		
Nombre	Cargo	Valor Total [USD]
Lic. Roberto Buenaño	Técnico LT	200
Ing. Fernando Montenegro	Director	350
Ing. Pedro Merchán	Codirector	250
Total		800

6.1.2 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos o de contribución son aquellos que se han realizado en función de poner en marcha el proyecto.

6.1.2.1 Diseño e Ingeniería

Tabla 6.4 Mano de Obra Directa

DISEÑO E INGENIERIA	
Nombres	Total [USD]
Gabriela del Carmen Torres Rodríguez	500
Rubén Darío Grandes Villamarin	500
TOTAL	1000

6.1.2.2 Mantenimiento y Reparación

Tabla 6.5 Mantenimiento

MANTENIMIENTO				
ORD	Cant	MATERIALES	V. Unitario [USD]	Total [USD]
1	1	Mantenimiento Banco de Pruebas	300,00	300,00
2	4	Silicona	3,00	12,00
3	8	Abrazaderas 3/4"	0,60	4,80
4	8	Abrazaderas 1/4"	0,40	3,20
5	8	Abrazaderas 1/2"	0,70	5,60
6	1	Acrílico	70,00	70,00
7	4	Reducciones de 1" a 1/2"	0,90	3,60
8	7	Manguera 1/2"	0,80	5,60
9	7	Manguera 1/4"	0,70	4,90
			TOTAL 1	409,70
MANO DE OBRA				
10	Gabriela del Carmen Torres Rodríguez			250
11	Rubén Darío Grandes Villamarin			250
			TOTAL 2	500
MANTENIMIENTO TOTAL				909,70

6.1.2.3 Construcción Y Ensamblaje

Tabla 6.6 Remuneración Mano de obra directa en la construcción

ETAPA DE CONSTRUCCION Y EMSAMBLAJE		
MANO DE OBRA Y REMUNERACIONES		
REMUNERACIONES PROFESIONALES	800	800
REMUNERACIONES A ESTUDIANTES	200	400
TOTAL [USD]	1200	

6.1.2.4 Adquisición de Materiales y Equipos

Tabla 6.7 Adquisición de Materiales y Equipos

ORD	Cant.	Descripción	V. Unitario [USD]	Total [USD]
1	1	Tarjeta de Adquisición de datos	1650,00	1650,00
3	13	Sensor de temperatura LM 35	3,84	49,92
4	1	Sensor de Caudal	509,40	509,40
5	7	Sensor de humedad HIH-4030-001S	21,17	148,19
6	3	Sensor de humedad HIH-4030-001S	28,00	84,00
7	1	Sensor de presión diferencial	640,90	640,90
8	20	Alambre utp (flexible)	1,20	24,00
9	1	Proto	3,00	3,00
10	2	Acoples 3/4"	3,00	6,00
11	2	Acoples 3/8"	2,40	4,80
20	1	Suelda (Estaño)	2,00	2,00
TOTAL				3122,21

Tabla 6.8 Costos Totales

1. COSTOS INDIRECTOS [USD]		1820,00
1.1. SUMINISTROS	120,00	120,00
1.2. MISCELÁNEOS	900,00	900,00
1.3 REMUNERACIONES PROFESIONALES	800,00	800,00
2. COSTOS DIRECTOS [USD]		5431,91
2.1. DISEÑO E INGENIERIA	500,00	1000,00
2.2. MANTENIMIENTO	500,00	909,70
2.3. EDCE. REMUNERACION A ESTUDIANTES	200,00	400,00
2.4. ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS	3122,21	3122,21
3. IMPREVISTOS (5% de la suma de 1. y 2.)		362,60
4. TOTAL GENERAL [USD]		7614,51

6.2 ANÁLISIS FINANCIERO.

6.2.1 FINANCIAMIENTO

Tabla 6.9 Financiamiento

FINANCIAMIENTO	
Entidad	Efectivo [USD]
Escuela Politécnica del Ejército	5000,00
Responsables	2614,51
TOTAL:	7614,51

6.2.2 CÁLCULO DEL VAN Y EL TIR

Para evaluar si el presente proyecto es rentable, se realizó el análisis de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

6.2.2.1 VAN

Es el índice financiero nos permitirá calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros.

- Van > 0 la inversión es rentable
- Van < 0 la inversión producirá pérdidas.
- Van = 0 la inversión no producirá ni pérdidas ni ganancias.

$$\text{Beneficio} = 38,50 \frac{\text{USD}}{\text{crédito}} * 1 \frac{\text{créditos}}{\text{periodo}} * 1 \frac{\text{periodo}}{20 \text{semanas}} * 4 \frac{\text{semana_uso}}{\text{alumno}} * 50 \frac{\text{alumnos}}{\text{semestre}} * 2 \frac{\text{semestres}}{\text{año}}$$

$$\text{Beneficio} = 1540 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Ecuación 6.1

El valor de \$38,50 es subsidiado.

Las ecuaciones para el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) se describen a continuación para una proyección de 3 años:

La fórmula para calcular el VAN se muestra a continuación:

$$\text{VAN} = -\text{Inversión} + \frac{\text{FNC1}}{(1+i)^1} + \frac{\text{FNC2}}{(1+i)^2} + \dots + \frac{\text{FNC}}{(1+i)^n}$$

Ecuación 6.2

Donde:

- FNC es el flujo neto de caja.
- i es igual a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).

$$TMAR = i_1 + f$$

Ecuación 6.3

Donde:

i_1 es el premio al riesgo

f es la inflación.

El premio al riesgo, se lo que se considera el premio al riesgo del 2%.

La inflación actual en el Ecuador según el Banco Central esta en 9.97%

$$TMAR = 11.97\%$$

Para obtener el TIR se despeja el valor de i en la siguiente ecuación:

$$Inversión = \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNCn + VS}{(1+i)^n}$$

Ecuación 6.4

Donde:

- FNC es el flujo neto de caja.
- VS es el valor de salvamento.

6.2.2.2 Depreciación

Contablemente el costo del equipo es de cero porque ya cumplió con el tiempo de vida útil, pero financieramente el costo aproximado es de \$5000.

Se establece un tiempo de vida útil DE 3 años por que tecnología se devalúa muy rápidamente, pero eso no quiere decir que deje de funcionar

Tabla 6.10 Cuota de Depreciación

Valor del activo	\$ 5.000,00	Costo inicial del proyecto	
Valor de retorno	\$ 7.614,51	Costo final del Equipo	
El costo al término del proyecto es de	\$ 12.614,51		
Cuota de depreciación	\$ 4.204,84		

Tabla 6.11 Depreciación en línea recta.

Año	Cuota de depreciación	Depreciación acumulada
1	\$ 1.061,96	\$ 1.061,96
2	\$ 1.061,96	\$ 2.123,92
3	\$ 1.061,96	\$ 3.185,88

Tabla 6.12 Costos Proyectados a 3 años

Períodos (Semestre)	1	2	3	4	5	6
Energía	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
Mantenimiento	909,70	909,70	909,70	909,70	909,70	909,70
Depreciación	456,87	456,87	456,87	456,87	456,87	456,87
Total 1	1486,57	1486,57	1486,57	1486,57	1486,57	1486,57

Tabla 6.13 Inversión Total y TMAR

TOTAL INVERSION	
7614,51	
VIDA UTIL(AÑOS)	3
TMAR = $i_1 + f$	0,12

Tabla 6.14 Flujo de Caja

TASA	6%					
TMAR	12%					
PERIODOS(STR)	1	2	3	4	5	6
FLUJO	3525,00	3525,00	4230,00	4314,60	4400,89	4400,89
DEVALUACION	20%					

Tabla 6.15 Flujos Totales

BENEFICIO	1.540,00
TOTAL 1	1.486,57
POR AÑO	3,00
TOTAL	53,43
INVERSION TOTAL	7.614,51
FLUJO TOTAL	160,29

Con la utilización del programa Excel, este nos ayuda a realizar la iteraciones con lo cual nos determina los valores del VAN.

6.2.2.3 Calculo del VAN

<u>VAN</u>	<u>\$ 12.218,18</u>
-------------------	----------------------------

Como se puede observar el van tiene un valor mayor a cero entonces en proyecto resulta rentable.

Tabla 6.16 Ingresos Netos

A	B
Datos	Descripción
-7614,51	Costo inicial de un negocio
3325,94	Ingresos netos del primer semestre
3138,13	Ingresos netos del segundo semestre
3553,10	Ingresos netos del tercer semestre
3419,50	Ingresos netos del cuarto semestre
3290,93	Ingresos netos del quinto semestre
3105,09	Ingresos netos del sexto semestre

6.2.2.4 Calculo del TIR

Otra manera de verificar si el proyecto es rentable es la comparación del TMAR y del TIR, el TIR debe ser mayor que el TMAR para que pueda ser ejecutable en nuestro caso es así.

<u>TIR</u>	<u>\$ 0,37</u>
-------------------	-----------------------

TMAR < TIR PROYECTO ACONSEJABLE 100%

6.2.2.5 Relación Costo- Beneficio (a partir del VAN y TIR)

<u>B/C</u>	<u>\$ 1,60</u>
-------------------	-----------------------

6.2.3 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO REALIZADO

El análisis costo beneficio se consideran entre valores de 0 y 10, asignándole:

- 0 baja factibilidad poca influencia en el proyecto.
- 10 alta factibilidad.

Con el análisis de factibilidad se considera el procesamiento de datos y se obtiene el índice de mérito relativo (IMR) del proyecto:

$$IMR = \frac{\sum (Ponderación \ de \ criterio \ de \ factibilidad * calificación)}{\sum (Ponderación \ de \ criterio \ de \ factibilidad * 10)}$$

$$IMR = \frac{\sum Total \ 1}{\sum Total \ 2}$$

Ecuación 6.5

6.2.4 PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN DE FACTIBILIDAD

6.2.4.1 Criterios de factibilidad técnica.

- Puntaje máximo: 10
- Ponderación Criterio de Factibilidad: 8

Tabla 6.17 Análisis de Factibilidad

Criterios de factibilidad técnica	Calificación 1	Calificación2	Total 1	Total 2
1. Probabilidad de éxito técnico	9	7	63	80
2. Propiedad industrial	8	7	56	80
3. Posible desarrollo futuro	9	7	63	80
4. Efectos medio ambiente	9	8	72	80
5. Tiempo desarrollado	8	8	64	80
		$\Sigma =$	318	400
		IMR =	0.80	

Según el análisis del cuantitativo del IMR se verifica la posibilidad técnica de la realización del proyecto se obtuvo un IMR= 80%.

6.2.4.2 Criterios financieros.

- Puntaje máximo: 10
- Ponderación Criterio de Factibilidad: 8

Tabla 6.18 Análisis de Criterios Técnicos

Criterios financieros	Calificación	Ponderación Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1. Costos I + D	8	8	64	80
2. Inversión de fabricación	8	8	64	80
3. Inversión del proyecto comercialización	8	8	64	80
4.TIR	7	8	56	80
			$\Sigma =$	400
			IMR =	0.62

El presente proyecto es de costo relativamente moderado en la realización del sistema de adquisición de datos, el proyecto es viable puesto que el mínimo % del IMR es del 20% y se tiene IMR de 62%, factibilidad comprobada.

6.2.4.3 Criterios de investigación.

- Puntaje máximo: 10
- Ponderación Criterio de Factibilidad: 8

Tabla 6.19 Análisis de criterios según investigación

Criterios de investigación	Calificación	Ponderación Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1, Instalaciones y laboratorio	10	8	80	80
2. Tradición de innovación	8	8	64	80
3. Equipo innovador	8	8	64	80
		$\Sigma =$	208	240
		IMR =	0.87	

El criterio de investigación obtenemos una viabilidad IMR=87% para la realización del proyecto.

6.2.4.4 Criterios institucionales

- Puntaje máximo: 10
- Ponderación Criterio de Factibilidad: 8

Tabla 6.20 Criterios institucionales

Criterios institucionales	Calif.	Criterio de Factibilidad	Total 1	Total 2
1. Historial empresarial (CIME)	9	8	72	80
2. Actitud de colaboración de innovación	9	8	72	80
3. Actitud frente al riesgo	9	8	72	80
4. Clima laboral	9	8	72	80
		$\Sigma =$	288	320
		IMR =	0.90	

El resultado obtenido muestra un valor de IMR del 90%, el cual es un índice muy aceptable que promueve la ejecución de un proyecto de esta naturaleza.

Basándose en los valores de los índices de mérito relativo, muestran viabilidad de ejecución del proyecto. Con lo cual se beneficiara al laboratorio de termodinámica y por ende al Departamento de Energía y Mecánica.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. Después de realizar el mantenimiento correctivo de la Torre de Enfriamiento el equipo se encuentra completamente operable.
2. Se debe mantener un orden sistemático de los parámetros configurables como tipo de dato, rangos, canales de comunicación, etc., para no tener problemas, ya que las entidades electrónicas cuando están enlazadas entre si, se des-configuran muy fácilmente
3. La velocidad de transmisión de los datos esta limitada por la velocidad de respuesta de cada Sensor y también por la velocidad de lectura y transmisión que tiene la tarjeta de adquisición de datos (DAQ).
4. Las conexiones electrónicas se han simplificado al máximo y se ha evitado la instalación de fuentes externas de alimentación energética.
5. Se ha configurado adecuadamente los datos ajustando las señales según los requerimientos térmicos de la torre, por esta razón no se ha afectado el proceso termodinámico.
6. Se ha realizado una verificación y comprobación de los datos, no se hizo una validación propiamente dicha ya que en los laboratorios de Mecánica no se cuentan con instrumentos que tengan características superiores a los sensores instalados, que permitan crear curvas de calibración exactas.
7. Así se llego a concluir con efectividad los objetivos trazados para este proyecto el cual es muy confiable debido a que se ha respetado todos los parámetros necesarios para concluir de la manera más eficiente el proyecto.
8. El análisis económico evidencia que este proyecto es rentable y la inversión es recuperada en un periodo de tres años

7.2 RECOMENDACIONES

- 1.** En caso de alguna avería se recomienda seguir los pasos de lo propuesto en el manual de mantenimiento, para evitar mayores deterioros de los accesorios instalados.
- 2.** Se recomienda tener repuestos de los sensores de temperatura y de humedad de iguales características, para sustituir, en caso de daño, y evitar la des-configuración del sistema.
- 3.** No se deben manipular los cables de los sensores, no se recomienda abrir las cajas de breakers ni la caja de resistencias para evitar averías.
- 4.** No se debe modificar el programa de la presentación y visualización de los datos, esto des-configuraría todo el sistema de datos
- 5.** Para realizar la validación de los datos se debe tener instrumentos calibrados, certificados, con mayor apreciación y velocidad de respuesta que el del instrumento que se vaya a validar
- 6.** La utilización de sistemas de automatización en equipos de laboratorio, mejora la eficiencia y rendimiento en el proceso pedagógico moderno, por este motivo la ESPE debe seguir fomentando estos proyectos.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Extracto Torres de Refrigeración ed. ceac. Monografías de climatización y ahorro energético. Miranda y Rufes
2. Fundamentos de transferencia de calor , OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. México, PHH, Edición 2, (1991)
3. TECNOLOGIA HOY. Número Abril - Mayo 1998, Caracas, Editorial D.A.D Producciones
4. Ingeniería térmica y de Fluidos Pedro Fernández Díez, <http://www.termica.webhop.info/>
5. Termotecnia y Mecánica de fluidos dmn, Mecánica de fluidos y Termodinámica itn Carlos JRendon.
6. Apuntes de Termodinámica de Cengel ,
7. Transferencia de calor Incropera, transferencia de calor de Yuns Cengel, transferencia de calor de Mills, procesos de transferencia de calor de De Witt.
8. TECNOLOGIA HOY. Número Febrero – Marzo 1998, Caracas, Editorial D.A.D
9. Producciones, apuntes y diapositivas de las clases de transferencia de calor
10. Diapositivas Ing. Luis Echeverria, y apuntes de clase.
11. Libro de informática y libro de computación básica año 2005
12. Apuntes Ing. Luis Echeverria
13. Manual de la torre de Enfriamiento por Gerald A. Hewett P. A. Hilton LTD.
14. Procesos de transferencia de calor Donal Kern, pag. 205-207

8.1 REFERENCIAS

1. Extracto Torres de Refrigeración ed. Ceac pag 8.

2. Monografías de climatización y ahorro energético. Miranda y Rufes, p13
3. Fundamentos de transferencia de calor, Donald kern, edición segunda.
4. <http://www.termica.webhop.info/>, google, actualización, Feb. 2008
5. Transferencia de calor de Yuns Cengel segunda edición pag 400-402
6. TECNOLOGIA HOY. Número Abril - Mayo 1998, Caracas, Editorial D.A.D Producciones, pag. 4-10
7. Ingeniería térmica y de Fluidos Pedro Fernández Diez, edición 2003, pag. 5,
8. Termotecnia y Mecánica de fluidos dmn, Mecánica de fluidos y Termodinámica itn Carlos JRendon., edición 2000, pag 3-7
9. www.diagramas.com.edu, prima.com, actualización 2008
10. Cengel, Apuntes de Termodinámica.
11. Transferencia de calor de Mills segunda edición pag.
12. Transferencia de calor Incropera cuarta edición, pag.
13. Procesos de transferencia de calor de De Witt segunda edición pag .
14. TECNOLOGIA HOY. Número Febrero – Marzo 1998, Caracas, Editorial D.A.D
15. Procesos de transferencia de calor, Donald Kern
16. Diapositivas Ing. Luis Echeverria, apuntes de clase.
17. Libro de informática y libro de computación básica año 2005
18. Apuntes Ing. Luis Echeverria
19. Programa de National Instruments, adquirido con la compra del DAQ.
20. Manson - Young - Okiishi, Fundamentos De Mecánica De Fluidos, Primera Edicion, Mexico, Editorial Limusa, 2002, p 515.

8.2 PAGINAS WEB

1. www.google.com.torresdeenfriamiento.com, Web publicada por primera vez el 20 de mayo de 2006, última actualización: 23/01/2007
2. www.psicrometric.cartas.com, Web publicada por primera vez el 20 de mayo de 2007, última actualización: 23/03/2009

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III