

CARACTERIZACION EXPERIMENTAL DEL EQUIPO PARA EL ESTUDIO DE
LOS FENOMENOS DE EBULLICION Y CONDENSACION DEL LABORATORIO
DE PLANTAS TERMICA

WILLIAM FERNANDO MARTINEZ SALAZAR

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERIA,
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANIA
BARRANQUILLA

2013

CARACTERIZACION EXPERIMENTAL DEL EQUIPO PARA EL ESTUDIO DE
LOS FENOMENOS DE EBULLICION Y CONDENSACION DEL LABORATORIO
DE PLANTAS TERMICA

WILLIAM FERNANDO MARTINEZ SALAZAR

AUTOR

PROYECTO PARA OPTAR
AL TITULO DE INGENIERO MECANICO

ASESOR DISCIPLINAR:

ANTONIO SALTARIN

ING - MECANICO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BARRANQUILLA

2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme presentar este proyecto, así también al Ingeniero Antonio Saltarín por brindarme su apoyo, orientación académica y confiar en mis capacidades como estudiante para desarrollar este proyecto.

Universidad Autónoma del Caribe cultura y ciencia, gracias por ofrecernos el espacio para una formación académica integral, basada en todos los procesos educativos tecnológicos, cultural, arte y deporte.

A todos los docentes que durante estos cinco años de formación académica nos llevaron por el mejor camino con sus enseñanzas, de ante mano resaltar que además de profesores fueron amigos, porque nos guiaron hacia enfoque educativo y también a la formación personal haciendo hincapié en valores de ética y moral. Nuestros padres, familiares y amigos que también nos brindaron su apoyo, dedicación y confianza durante toda la carrera, que a pesar de nuestros obstáculos, siempre estuvieron presentes para levantarnos y darnos esa voz de aliento para salir adelante y así poder lograr todas nuestras metas propuestas.

DEDICATORIA

William Fernando Martínez Salazar

Este proyecto va dedicado a Dios, por todas sus bendición, sabiduría y conocimiento otorgados, porque gracias a él me encuentro presente en esta etapa de mi vida culminando una meta más de tantas trazada y que representa el inicio de nuevos objetivos por cumplir, pero especialmente a mis padres, Carmen Cecilia Salazar Ávila, padre William Humberto Martínez Valbuena, mis tíos Sonia Rosa Salazar Ávila, Misael Fernando Salazar Ávila y abuela Rosa Ávila Ortiz, que han sido personas muy importantes en mi formación como ser, su apoyo incondicional, su confianza, que cada día me fortaleciera para salir adelante y no dejarme caer por obstáculos sin importar que tan grande fueran.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION.....	14
1. JUSTIFICACION	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
3. DISEÑO DE METODOLOGÍA	17
3.1. METODOLOGIA.....	17
4. METODO UTILIZADO.....	18
5. MARCO TEORICO.....	19
5.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	19
5.2. EQUIPO TCEC2.....	20
5.3 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES.....	21
5.4. DIMENSIONES Y PESOS.....	22
5.5. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	22
5.6. DIAGRAMA DEL PROCESO Y DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO.....	23
5.7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS COMPLETAS (DE LOS ITEMS PRINCIPALES)	24
6. MARCO CONCEPTUAL.....	29
6.1. CONDUCCIÓN.....	29
6.2. RESISTENCIA TÉRMICA.	29
6.3. CONVECCIÓN.	30

6.3.1. CONVECCIÓN FORZADA.....	31
6.3.2 CONVECCIÓN NATURAL.....	31
7.1 REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO.	36
7.1.1 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	36
7.1.2 AGUA.....	36
7.1.3 ESPACIO LIBRE A SU ALREDEDOR.	36
7.1.4 LUZ.....	37
7.1.5 AMBIENTE DE TRABAJO.....	37
7.1.6. OTROS REQUERIMIENTOS. (ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO).....	37
7.1.7 LUGAR DE EMPLAZAMIENTO.	37
<u>8 .MONTAJE E INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.</u>	38
8.1 GENERAL.	38
8.1.1 COLOCACIÓN.	38
8.1.2 REQUERIMIENTO HUMANO.....	38
8.1.3 REQUERIMIENTO ELÉCTRICO.....	38
8.1.4 REQUERIMIENTO DE AGUA.	39
8.2 INSTALACIÓN.....	39
8.2.1. INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE AGUA.	41
8.2.2 LLENADO DEL REFRIGERANTE.....	41
8.2.3 INSTALACIÓN DE LOS SENSORES A LA INTERFACE.....	42
8.3 PUESTA EN MARCHA.	42
8.3.1 CONDICIONES PREVIAS.	42
8.3.2 CONDICIONES DE SEGURIDAD ADECUADAS.....	43
8.3.3 COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.	43
<u>9. INTERFACE Y SOFTWARE / CONSOLA DE CONTROL.</u>	44
9.1. INTRODUCCIÓN 44	44
9.1.1 SISTEMA SACED (SOFTWARE DE ADQUISITION Y CONTROL DE EDIBON).....	44
9.1.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.....	44
9.2 INSTALACIÓN SOFTWARE.....	45
9.2.1 INSTALACIÓN DEL SACED.....	47
9.3 FUNCIONAMIENTO PARA EL USUARIO ALUMNO.	48
9.3.1 PANTALLA PRINCIPAL.....	48
9.3.2. SENSORES.....	51

9.3.3. PANTALLA DE CONTROL.....	51
9.3.4. PANTALLA DE GRÁFICAS	52
9.4. PROFESOR	53
9.4.1. CALIBRACIÓN DE SENSORES.....	54
9.5. ANEXO 1: PROPIEDADES DEL CONTROL OFF/ON	57
9.6. ANEXO 2: PROPIEDADES DEL CONTROLADOR P.I.D.	57
<u>10. NORMAS DE SEGURIDAD</u>	<u>63</u>
10.1. CONDICIONES DE SEGURIDAD DEL ENTORNO.	63
10.1.1. ELÉCTRICAS.	63
10.1.2 QUÍMICAS.	63
10.1.3. DERRAMAMIENTOS.	64
10.1.4. CLIMÁTICAS.	64
10.2. CONDICIONES DE SEGURIDAD DEL PROPIO EQUIPO.	64
10.3. CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD.	64
<u>11. MANTENIMIENTO.....</u>	<u>65</u>
11.1. LIMPIEZA INTERIOR Y EXTERIOR.....	65
11.2. FUNCIONAMIENTO PERIÓDICO.	65
11.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	65
11.4. CONTROL DE LAS INSTALACIONES QUE DAN SERVICIO A LA UNIDAD.....	66
11.4.1. ELECTRICIDAD.....	66
11.4.2. AGUA.	66
11.4.3. AIRE.....	66
11.5. REPUESTOS PARA 5 AÑOS.....	66
11.6. REVISIÓN PERIÓDICA.....	66
<u>12. PRÁCTICAS.</u>	<u>67</u>
12.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.	67
12.1.1. INTRODUCCIÓN.	67
12.1.2 DESCRIPCIÓN	67
12.1.3 POSIBILIDADES PRÁCTICAS.	68
12.1.4. ESPECIFICACIONES.	69
12.1.5. INSTRUMENTACIÓN:.....	69

12.1.6. INSTRUMENTACIÓN DE SEGURIDAD.	70
12.1.7. DIMENSIONES Y PESOS.	70
12.1.8. DIMENSIONES Y PESOS.	70
12.1.9. SERVICIOS REQUERIDOS.	70
12.2. FUNDAMENTO TEÓRICO.	70
12.2.1. EBULLICIÓN CONVECTIVA.	71
12.2.2. EBULLICIÓN NUCLEADA.	71
12.2.3. EBULLICIÓN DE PELÍCULA.	72
12.2.4. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDENSACIÓN.	72
12.2.4.1. CONDENSACIÓN POR PELÍCULA.	72
12.2.4.2. CONDENSACIÓN POR GOTAS.	73
12.3. ADVERTENCIAS, INSTRUCCIONES PRINCIPALES Y PRECAUCIONES.	73
12.4. RELACIÓN DE PRÁCTICAS.	73
12.4.1. PRÁCTICA 1: DEMOSTRACIÓN VISUAL DE LAS TRES MODALIDADES DE EBULLICIÓN.	73
12.4.1.1. OBJETIVO.	73
12.4.1.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.	73
12.4.1.2.1. EBULLICIÓN CONVECTIVA.	74
12.4.1.2.2. EBULLICIÓN NUCLEADA.	74
12.4.2. PRÁCTICA 2: DETERMINACIÓN DEL FLUJO TÉRMICO Y EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR SUPERFICIAL.	75
12.4.2.1. OBJETIVO.	75
12.4.2.2. PROCEDIMIENTO PRÁCTICO.	75
12.4.3. PRÁCTICA 3: EFECTO DE LA PRESIÓN SOBRE EL FLUJO TÉRMICO CRÍTICO.	76
12.4.3.1. OBJETIVO.	76
12.4.3.2. PROCEDIMIENTO.	76
12.4.4. PRÁCTICA 4: CONDENSACIÓN DE PELÍCULA.	77
12.4.4.1. OBJETIVO.	77
12.4.4.2. PROCEDIMIENTO.	77
12.4.4.3. EJEMPLO PRÁCTICO.	78
12.4.5. PRÁCTICA 5: DEMOSTRACIÓN DEL ARRASTRE DE LÍQUIDO POR EL VAPOR.	79
12.4.5.1. OBJETIVO.	79
12.4.5.2.1. TRABAJANDO A BAJAS PRESIONES.	79
12.4.5.2.2 EFECTO DE UNA FUERTE DEMANDA DE CALOR.	79
12.4.6. PRÁCTICA 6: RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA.	80
12.4.6.1. OBJETIVO.	80
12.4.6.2. PROCEDIMIENTO.	80
12.5. APÉNDICE.	82
12.5.1. APÉNDICE A: PRESIÓN ABSOLUTA/ENTALPÍA.	82

12.5.2. APÉNDICE B: GRÁFICOS CON DATOS FÍSICOS ÚTILES PARA EL REFRIGERANTE SES-36.	83
12.5.3. PROPIEDADES FÍSICAS.	84
12.5.4. APÉNDICE C: PROPIEDADES DEL R141B.	85
<u>13. CALIBRACIÓN.....</u>	<u>86</u>
13.1 INTRODUCCIÓN	86
13.2. TIPOS DE SENSORES.	86
13.3. FUNDAMENTOS DE LA CALIBRACIÓN.....	87
13.4. PROCESO DE CALIBRACIÓN - SACED.....	89
<u>14. PRACTICAS SIMULINK MATLAB</u>	<u>94</u>
<u>15. CONCLUSIONES</u>	<u>100</u>
<u>16. RECOMENDACIONES.....</u>	<u>101</u>
<u>17. OBSERVACIONES</u>	<u>102</u>
<u>18. BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>103</u>

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura1. Equipo TCEC.....	19
Figura 2. Proceso Y Disposición De Los Elementos Del Equipo.....	23
Figura 3. TCEC/CIB- Caja-Interface De Control.....	24
Figura 4. DAB Tarjeta De Adquisición De Datos.....	26
Figura 5. Software de Control y Control PID+ Adquisición de Datos + Manejo de Datos.....	27
Figura 6. Unidad De Transferencia De Calor En Ebullición.....	39
Figura 7. Controladores Del Dispositivo.....	45
Figura 8. Instalacion Del Dispositivo.....	46
Figura 9. Instalación De TAAAC Wizard.....	47
Figura 10. Descripción Y Funcionamiento TCEC.....	49
Figura 11. Sensores.....	51
Figura 12. Actuadores.....	51
Figura 13. Pantalla de gráficas.....	52
Figura 14. Autorización De Clave De Acceso	54
Figura 15. Calibración De Actuadores.....	55
Figura 16. Grafica De Lectura De Voltaje vs Señal.....	56
Figura 17. Control PID AVP-1.....	57
Figura 18. Parámetros PID.....	58
Figura 19. Control PID Resistencia.....	61

Figura 20. Componentes Del Equipo TCEC.....	67
Figura 21 Presión absoluta/Entalpía.....	82
Figura 22 Grafica Temperatura vs Señal Eléctrica.....	88
Figura 23 Simula del proceso de operación Saced.....	90
Figura 24 Calibración de Actuadores.....	92
Figura 25 Controladores.....	94
Figura 26 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 65W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	95
Figura 27 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 112W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	95
Figura 28 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 190W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	96
Figura 29 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 250W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	96
Figura 30 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 305W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	97
Figura 31 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 335W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	97
Figura 32 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 350W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	98
Figura 33 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 360W$, $\dot{m} = 0.1kg/s$	98
Figura 34 Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 360W$, $\dot{m} = 0.2kg/s$	99
Figura 35 Temperatura de salida VS Tiempo : $Q = 360W$, $\dot{m} = 0.4kg/s$	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción TCEC.....	48
Tabla 2 Lectura De Tipos De PID con parámetros para el Software de Control.....	62
Tabla 3 Resultados Obtenidos Para Una Presión De 1.25 bar.....	76
Tabla 4 Resultados Obtenidos Para Una Presión De 1.25 bar.....	76
Tabla 5 resultados del calor necesario en función de la presión del condensador.....	77
Tabla 6 Efecto producido de condensación por película en el condensador...	78
Tabla 7 Sentido de Subida De Presión	80
Tabla 8 Propiedades Termodinámica Del Agua.....	84
Tabla 9 Propiedades Físicas.....	84
Tabla 10 Sensores instalado del equipo	87
Tabla 11 Lecturas de voltajes y medida del valor físico.....	91
Tabla 12 Lecturas de sensores.....	92

INTRODUCCION

En el siguiente trabajo se plantea la evolución experimental del estudio de los diferentes fenómenos que se prestan en el proceso de ebullición, es por esto que esta investigación tiene como propósito realizar un análisis de caracterización del equipo marca edibon, para así poder realizar el mantenimiento preventivo, obteniendo como resultado más vida útil en este equipo TCEC, Para lograr este propósito se establecieron pautas u objetivos específicos como, Revisar las recomendaciones del fabricante acerca de este tipo de Unidad de Transferencia de Calor en Ebullición y en los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del curso de: Línea Gestión De Mantenimiento y otras asignaturas ya previamente vista, para llevar a cabo los objetivos propuestos en el proyecto de investigación designado. El mantenimiento en todo equipo industrial es de vital importancia, Si se quiere tener equipos óptimos para la producción y eficiencia en el desempeño en las áreas de labor. Los efectos que causan se ven reflejado en los costos que implican el detener el equipo, aumentan los precios de mantención, recurren a mantenimientos correctivos y realizan cambios innecesarios de piezas y repuestos que aún le restan tiempo de vida útil.

La ebullición es uno de los procesos más importantes de la transferencia de calor y se usa en muchas aplicaciones industriales.

Con este equipo los estudiantes pueden investigar los modos de ebullición y se pueden realizar estudios cualitativos y cuantitativos y las diferentes evaluaciones de ebullición convectiva, ebullición nucleada y ebullición en película.

Este está diseñado con un propósito particular, permite que el estudiante observe los diferentes procesos que tienen lugar dentro de una cámara (cilindro transparente), medir las temperaturas y el flujo de calor en condiciones de estado estacionario. Se pueden investigar diferentes condiciones; El Equipo es Controlado por el Computador el cual se suministra con el Sistema de Control desde Computador (SCADA) de EDIBON.

Esta monografía se organizó de tal manera que se encuentra distribuidas en temas que aportan a la estructura del documento final consistencia y coherencia, como lo es el planteamiento del problema, análisis, costos para la realización del proyecto y cronograma o tiempo en que se desarrolló el mismo.

1. JUSTIFICACION

La importancia del proyecto radica en la iniciativa de gente emprendedora que busca apoyar en la solución a este problema de carácter térmico que repercute de manera directa en la transferencia de energía, convirtiéndolo además en una fuente importante, con la finalidad de obtener la caracterización experimental pertinente del funcionamiento de este equipo para el estudio de los fenómenos de ebullición y condensación del laboratorio de plantas térmica "TCEC edibon". Con el fin de optimizar el rendimiento y adecuarle el correcto mantenimiento preventivo.

Con este equipo los estudiantes pueden investigar los modos de ebullición y se pueden realizar estudios cualitativos y cuantitativos y las diferentes evaluaciones de ebullición convectiva, ebullición nucleada y ebullición en película.

Este está diseñado con un propósito particular, permite que el estudiante observe los diferentes procesos que tienen lugar dentro de una cámara (cilindro transparente), medir las temperaturas y el flujo de calor en condiciones de estado estacionario. Se pueden investigar diferentes condiciones; El Equipo es Controlado por el Computador el cual se suministra con el Sistema de Control desde Computador (SCADA) de EDIBON.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización experimental del equipo para el estudio de los fenómenos de ebullición y condensación del laboratorio de plantas térmica.

2.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.2.1 Identificar los modelos, componentes y su interrelación como sistema, para estudiar su funcionamiento.

2.2.2. Definir las variables de control y de repuesta que se pueden establecer para el sistema, para definir un modelo teórico.

2.2.3. Realizar pruebas experimentales para diseñar el experimento.

2.2.4. Desarrollarlas pruebas para establecer el modelo experimental.

2.2.5 Elaborar un manual de operación y mantenimiento preventivo

3.DISEÑO DE METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGIA

Para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto es necesario tener en cuenta el desarrollo de muestreo de valores a los diferentes parámetros y limitar otros resultados, de esta manera esta investigación se realizara de tipo teórico, práctico y cuantitativo. Por otra parte se aplicara un estudio descriptivo y comparativo ya que la solución final del problema será definir sus características operacionales de este equipo "TCEC" mediante la caracterización experimental y basándose en los resultados obtenidos del estudio de estos.

Cabe resaltar que esta unidad TCEC, para el estudio de los fenómenos de ebullición y condensación del laboratorio de plantas térmica, carece de experiencias reales del funcionamiento por lo tanto se manejaran hipótesis y se compara con otros sistema que presenten similitud en esta área de la investigación.

4.METODO UTILIZADO

Se implantara en forma de fases, en este caso se desarrollaran en cinco tipos de fases:

- FASE 1 Lo primero que se realizara, escapacitarse en el funcionamiento de los equipos a utilizar (TCEC). Unidad base o de servicio, (TICC/CIB). Caja interface de control, (DAB). Tarjeta de Adquisición de Datos, (TCEC/CCSOF). Software de Control y Control PID+ Adquisición de Datos + Manejo de Datos, Cables y Accesorios, Manuales
- FASE 2 Se adquirieron los conceptos y teoría necesaria referente a transferencia de calor para reconocer claramente los parámetros y fenómenos que se presenten en los equipos al momento de las pruebas.
- FASE 3 se realizara con las toma de los diferentes datos operativos del equipo TCEC.
- FASE 4 Se obtendrá las gráficas correspondiente del funcionamiento, para así poder encontrar las áreas optimas del trabajo del equipo TCEC.
- FASE 5 Después de esto se procedió a definir los parámetros que se utilizaran en el estudio de caracterización del equipo TCEC.

5. MARCO TEORICO

5.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Figura 1: Equipo TCEC.



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

Con este equipo existen diferentes opciones y posibilidades:

- Ítems principales: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.
- Ítems opcionales: 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Permítanos describir primero los ítems principales (1 a 6)

5.2. EQUIPO TCEC2

Equipo de sobremesa, diseñado para utilizar el refrigerante SES-36.

Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado.

Principales elementos metálicos en acero inoxidable. (Tipo)

Diagrama en el panel frontal con similar distribución a la de los elementos en el equipo real.

Cámara: cilindro de boro silicato de alta resistencia; diámetro interior: 90mm., diámetro exterior: 100mm y longitud: 300mm.

Resistencia de calentamiento, controlada desde computador (PC), de 690 W, embutida en un cilindro de cobre de diámetro interior: 12,7mm., diámetro exterior: 16mm. Y longitud: 50mm.

El control de la resistencia de calentamiento se realiza desde el computador (PC), mediante el control de un controlador de ángulo de fase.

2 Serpentín condensador: un tubo de cobre niquelado con un área superficial de 0,043m.

Válvula de carga situada en la parte inferior del cilindro y que se utiliza para la carga y descarga del equipo.

Válvula de control del caudal de agua ubicada en la línea de conducción de agua y que regula el caudal de agua que entra en el serpentín.

Válvula de purga y de seguridad.

5 Sensores de temperatura “tipo J”

Sensor de temperatura para medir la temperatura de la superficie caliente.

Sensor de temperatura para medir la temperatura del refrigerante.

Sensor de temperatura en la entrada de agua.

Sensor de temperatura en la salida de agua.

Sensor de temperatura para determinar la temperatura del vapor saturado.

Sensor de presión, rango: de 0 a 6,5 bar.

El consumo de potencia eléctrica de la resistencia de calentamiento se controla desde el computador (PC) y se mide con un vatímetro.

Sensor de caudal, rango: de 0 a 6,5 l./min.

Disyuntor de temperatura, dispuesto para cortar la corriente eléctrica si la temperatura sobrepasa el valor de la alarma.

Presostatos.

5.3 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

- Sistema de Control Avanzado SCADA en Tiempo Real y Control PID.
- Control Abierto + Multicontrol + Control en Tiempo Real.
- Software de Control propio, basado en Labview.
- Tarjeta de Adquisición de Datos de National Instruments (250 KS/s (kilo muestras por segundo)).
- Incluidos ejercicios de calibración de los diferentes sensores.
- Sistema multipuesto para toda clase, usando un proyector.
- Preparado para realizar investigación aplicada, simulación industrial real, cursos de formación, etc.
- El equipo es totalmente seguro (dispone de dispositivos de seguridad mecánicos, eléctricos/electrónicos y de software).
- Software de Cálculo y Análisis de Resultados (CAL).
- Futuras expansiones, tales como ESN. Sistema Scada-Net de EDIBON (varios estudiantes trabajando simultáneamente), y otras.
- Diseñado y fabricado bajo diferentes normas de calidad.

5.4. DIMENSIONES Y PESOS

- Equipo TCEC: -Dimensiones: aprox. 700x700x720 mm.
- Peso: 70 Kg. aprox.
- Caja-Interface de Control:- Dimensiones: 490x330x310 mm. aprox.
- Peso: 10 Kg. Aprox

SERVICIOS REQUERIDOS

- Suministro eléctrico: monofásico, 220V/50Hz ó 110V/60Hz.
- Suministro de agua.
- Computador (PC).

5.5. DESCRIPCIÓN GENERAL

La ebullición es uno de los procesos más importantes de la transferencia de calor y se usa en muchas aplicaciones industriales.

Este Equipo Controlado desde Computador se suministra con el Sistema de Control desde Computador (SCADA) de EDIBON, e

Incluye: el propio Equipo + una Caja-Interface de Control + una Tarjeta de Adquisición de Datos + Paquetes de Software de Control y Adquisición de Datos, para el control del proceso y de todos los parámetros que intervienen en el proceso.

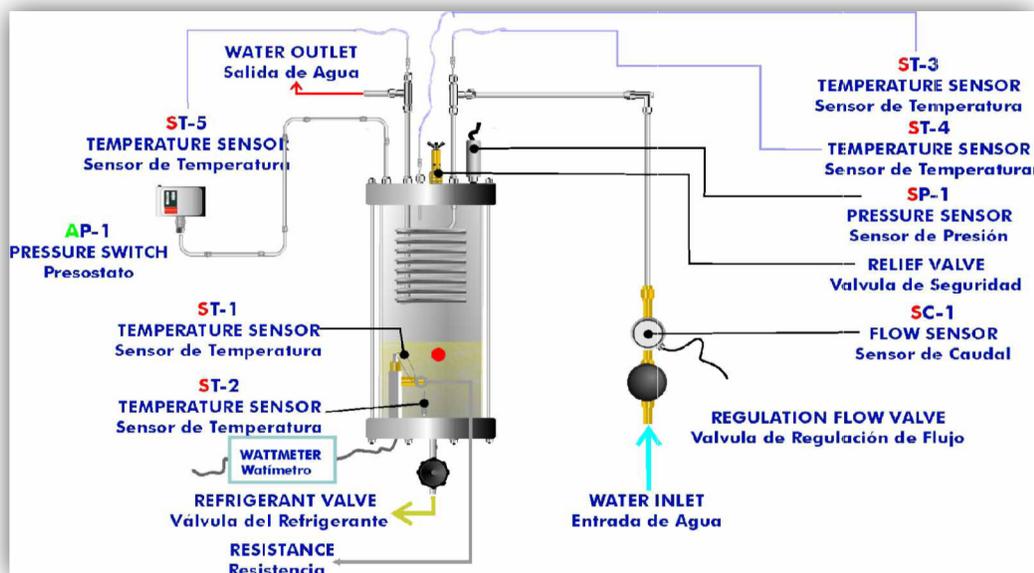
Los estudiantes pueden investigar los modos de ebullición y pueden realizar estudios cualitativos y cuantitativos y evaluaciones de ebullición convectiva, ebullición nucleada y ebullición en película.

Este equipo permite al estudiante observar los procesos que tienen lugar dentro de una cámara (cilindro transparente), medir las temperaturas y el flujo de calor

en condiciones de estado estacionario. Se pueden investigar diferentes condiciones.

5.6. DIAGRAMA DEL PROCESO Y DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO

Figura 2: Proceso Y Disposición De Los Elementos Del Equipo.



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

Resistencia de calentamiento, controlada desde el computador (PC).

- 5 Sensores de temperatura:
- Sensor de temperatura para medir la temperatura de la superficie caliente.
- Sensor de temperatura para medir la temperatura del refrigerante.
- Sensor de temperatura en la entrada de agua.

- Sensor de temperatura en la salida de agua.
- Sensor de temperatura para determinar la temperatura del vapor saturado.
- 1 Sensor de presión.
- 1 Sensor de caudal.
- Medida de la potencia desde el computador (PC).

5.7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS COMPLETAS (DE LOS ITEMS PRINCIPALES)

Figura 3 TCEC/CIB- Caja-Interface De Control.

2- TCEC/CIB



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

TCEC/CIB. CAJA-INTERFACE DE CONTROL

La Caja-Interface de Control forma parte del sistema SCADA.

Caja-Interface de Control con diagrama del proceso en el panel frontal, con la misma distribución que los elementos en el equipo, para un fácil entendimiento por parte del alumno.

Todos los sensores, con sus respectivas señales, están adecuadamente preparados para salida a computador de -10V. a +10V. Los conectores de los sensores en la interface tienen diferente número de pines (de 2 a 16) para evitar errores de conexión. Cable entre la caja-interface de control y el computador.

Los elementos de control del equipo están permanentemente controlados desde el computador, sin necesidad de cambios o conexiones durante todo el proceso de ensayo.

Visualización simultánea en el computador de todos los parámetros que intervienen en el proceso.

Calibración de todos los sensores que intervienen en el proceso.

Representación en tiempo real de las curvas de las respuestas del sistema.

Almacenamiento de todos los datos del proceso y resultados en un archivo.

Representación gráfica, en tiempo real, de todas las respuestas del sistema/proceso.

Todos los valores de los actuadores pueden ser cambiados en cualquier momento desde el teclado, permitiendo el análisis de las curvas y respuestas del proceso completo. Todos los valores de los actuadores y sensores y sus respuestas se muestran en una misma pantalla en el computador.

Señales protegidas y filtradas para evitar interferencias externas.

Control PID en tiempo real con flexibilidad de modificaciones de los parámetros PID desde el teclado del computador, en cualquier momento durante el proceso. Control PID y on/off en tiempo real para bombas, compresores, resistencias, válvulas de control, etc. Control PID en tiempo real de los parámetros que intervienen en el proceso simultáneamente. Control proporcional, control integral y control derivativo, basado en la fórmula matemática real del PID, mediante cambio de los valores, en cualquier momento, de las tres constantes de control (constantes proporcional, integral y derivativa).

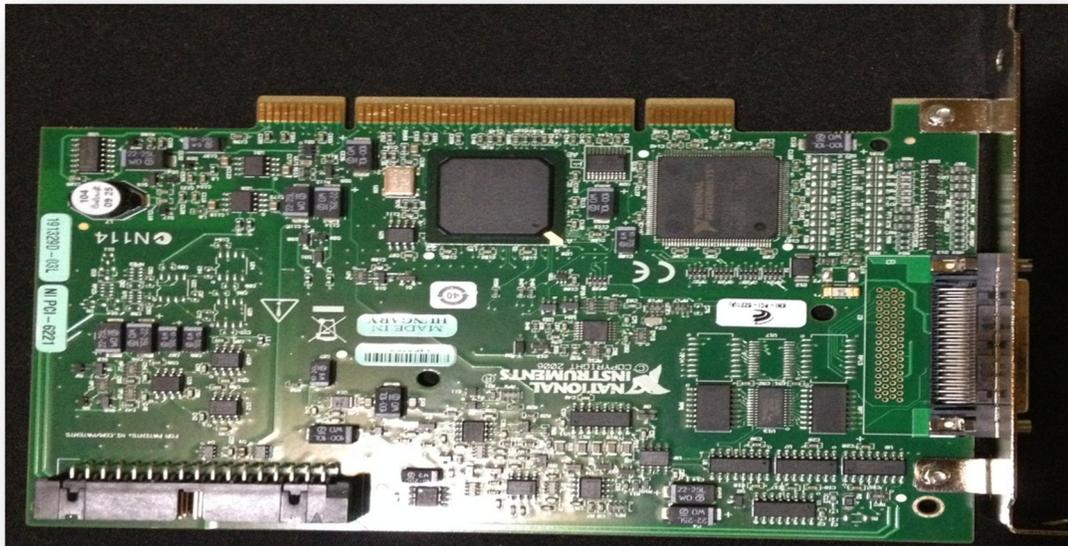
Control abierto permitiendo modificaciones, en cualquier momento y en tiempo real, de los parámetros que intervienen en el proceso, simultáneamente.

Posibilidad de automatización de los actuadores que intervienen en el proceso.

Tres niveles de seguridad, uno mecánico en el equipo, otro electrónico en la interface de control y el tercero en el software de control.

Figura 4: DAB Tarjeta De Adquisición De Datos.

3- DAB



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

DAB. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La Tarjeta de Adquisición de Datos forma parte del sistema SCADA.

Tarjeta de Adquisición de Datos PCI (National Instruments) para ser alojada en un slot del computador. Bus PCI.

Entrada analógica:

Número de canales= 16 single-ended ú 8 diferenciales. Resolución=16 bits, 1 en 65536.

Velocidad de muestreo hasta: 250 KS/s (kilo muestras por segundo). Rango de entrada (V)= 10V.

Transferencia de datos =DMA, interrupciones, E/S programadas. Número de canales DMA =6.

Salida analógica: Número de canales=2. Resolución=16 bits, 1 en 65536. Máx. Velocidad de salida hasta: 833 KS/s.

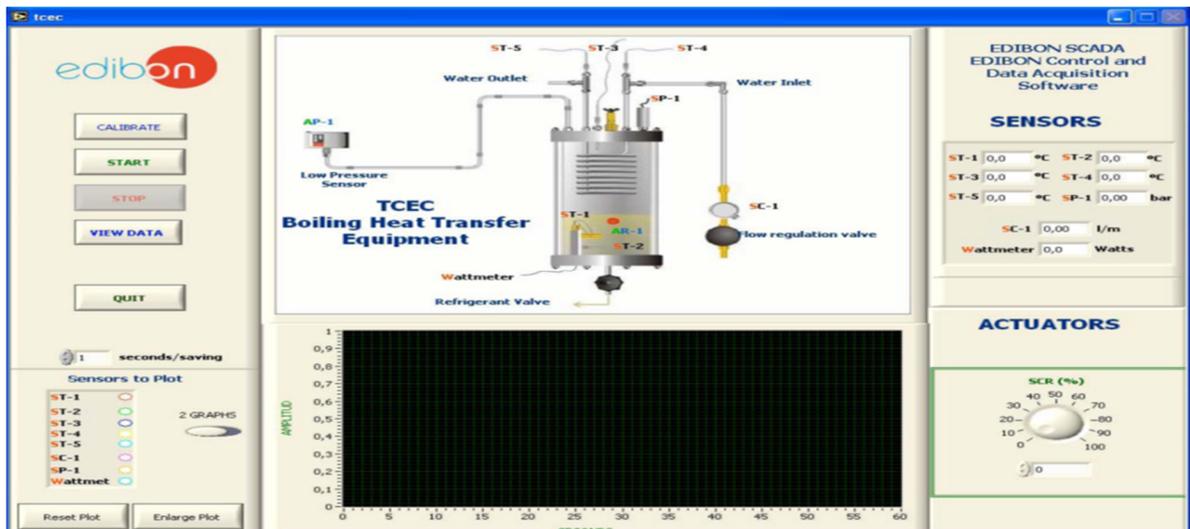
Rango salida (V)= 10 V. Transferencia de datos=DMA, interrupciones, E/S programadas. Entrada/Salida digital:

Número de canales=24 entradas/salidas. Frecuencia muestreo de los canales: 0 a 1 Mhz.

Temporización:Contador/temporizadores=2.Resolución:Contador/temporizadores: 32 bits.

Figura 5:Software de Control y Control PID+ Adquisición de Datos + Manejo de Datos.

4- TCEC/CCSOF



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

TCEC/CCSOF. Software de Control y Control PID+ Adquisición de Datos + Manejo de Datos

Los tres softwares forman parte del sistema SCADA.

Compatible con los sistemas operativos Windows actuales. Simulación gráfica e intuitiva del proceso en la pantalla. Compatible con los estándares de la industria.

Registro y visualización de todas las variables del proceso de forma automática y simultánea.

Software flexible, abierto y multi-control, desarrollado con sistemas gráficos actuales de ventanas actuando sobre todos los parámetros del proceso simultáneamente.

Control PID analógico y digital.

Menú para la selección del PID y del punto de consigna requeridos en todo el rango de trabajo.

Manejo, manipulación, comparación y almacenamiento de los datos.

Velocidad de muestreo hasta 250 KS/s (kilo muestras por segundo).

Sistema de calibración de los sensores que intervienen en el proceso.

Permite el registro del estado de las alarmas y de la representación gráfica en tiempo real.

Análisis comparativo de los datos obtenidos, posterior al proceso y modificación de las condiciones durante el proceso.

Software abierto, permitiendo al profesor modificar textos, instrucciones. Passwords del profesor y del alumno para facilitar el control del profesor sobre el alumno, y que permite el acceso a diferentes niveles de trabajo.

Este equipo permite que los 30 alumnos de la clase puedan visualizar simultáneamente todos los resultados y la manipulación del equipo durante el proceso usando un proyector o una pizarra electrónica.

5- Cables y Accesorios, para un funcionamiento normal.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1. Conducción.

Es el modo de transferencia de calor a través de sólidos y a través de fluidos estacionarios. El mecanismo físico de la conducción es la difusión de energía originada por la interacción de moléculas del medio. La ecuación que cuantifica el proceso de transferencia de calor por conducción se conoce como Ley de Fourier. En el caso unidimensional y estacionario, la tasa de transferencia de calor a través de una pared vendrá por la siguiente expresión:

$$q = -K * A * \frac{(T_2 - T_1)}{X} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

q = tasa de transferencia de calor (W)

K = conductividad térmica de la pared (W/m K)

A = área perpendicular a la dirección de flujo de calor (m²)

x = espesor de la pared (m)

T₂ = temperatura de la superficie fría de la pared (K)

T₁ = temperatura de la superficie caliente de la pared (K)

6.2. Resistencia térmica.

¹<http://www.edibon.com/products/catalogues/es/units/thermodynamicsthermotechnics/heattransfergeneral/TCEC.pdf>

Un concepto importante para evaluar la transferencia de calor, es el de resistencia térmica. Existe una analogía entre la difusión de calor y la carga eléctrica. Al igual que asociamos la resistencia eléctrica con la conducción de electricidad, la resistencia térmica se puede asociar con la transmisión de calor.

La ley de Ohm de la electricidad define la resistencia como:

$$R_e = \frac{V_1 - V_2}{I} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde $(V_1 - V_2)$ es la diferencia de potencial eléctrico I es la corriente eléctrica. En transmisión de calor, podemos considerar que la resistencia térmica es:

$$R_t = \frac{T_1 - T_2}{q} \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde $(T_1 - T_2)$ es la diferencia de temperaturas y q es la tasa de transferencia de calor.

Deducimos la resistencia térmica de conducción:

$$R_{t,cond} = \frac{x}{K * A} \text{ (Ecuación 4)}$$

6.3. Convección.

Es el método de transferencia de calor entre una superficie y un fluido en movimiento a diferentes temperaturas. Es la consecuencia de la superposición de dos fenómenos físicos, energía transportada por el movimiento aleatorio de las moléculas (difusión) y energía transportada por el movimiento macroscópico del fluido (gran número de moléculas moviéndose colectivamente).

Podemos clasificar la transferencia de calor por convección en, convección forzada y convección natural.

6.3.1. Convección forzada.

Es causada cuando el flujo es causado por medios externos como un ventilador, una bomba o el viento atmosférico.

6.3.2 Convección natural.

Ocurre cuando el flujo esta inducido por fuerzas de flotabilidad, las cuales resultan de diferencias de densidad causadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Una consecuencia de la interacción fluido – superficie, es la formación de una región en el fluido a través de la cual la velocidad varía desde cero en la superficie a un valor infinito asociado con el fluido. Esta es la capa límite hidrodinámica. Si además la temperatura entre la superficie y el fluido varían, aparece una capa limite térmica, donde la temperatura varía desde la superficie hasta la temperatura en el exterior del fluido.

Un primer paso en el tratamiento de la transferencia de calor por convección es determinar si la capa limite hidrodinámica es laminar o turbulenta, ya que la tasa de transferencia de calor depende fuertemente de esta condición.

En régimen laminar, el movimiento del fluido es ordenado y es posible identificar las líneas de corriente a lo largo de las cuales se mueven las partículas. El fluido laminar está asociado con números de Reynolds bajos, es decir, el ratio entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad es bajo. De este modo, las perturbaciones en el fluido (originadas por la rugosidad superficial o por la misma corriente libre) se disipan rápidamente, manteniéndose el flujo ordenado (laminar).

Si el número de Reynolds es alto, las fuerzas de inercia son suficientemente grandes como para amplificar las perturbaciones producidas en un flujo laminar, generando torbellinos que nos indican la aparición del régimen turbulento en el fluido. El régimen turbulento, se caracteriza por movimiento irregular y fluctuaciones aleatorias en la velocidad.

Dado que la difusividad de los torbellinos es mucho mayor que la difusividad molecular del régimen laminar, los perfiles de velocidad y temperatura en el corazón de la capa límite son más uniformes en el régimen turbulento y por lo tanto el gradiente de velocidad y temperaturas es mucho mayor.

Como consecuencia, la tasa de transferencia de calor es mucho mayor en flujos turbulentos que en flujos laminares.

Por el contrario, elevados gradientes de velocidad causan grandes tensiones superficiales, lo que nos conduce a afirmar que el régimen turbulento tiene efecto adverso de incrementar la caída de presión en la dirección de flujo. Esta mayor pérdida de presión requerirá bombas o ventiladores de mayor potencia.

Independientemente si estamos en régimen laminar o turbulento, la tasa de transferencia de calor por convección entre una superficie y un fluido viene dada por la ley de enfriamiento de Newton, cuya expresión:

$$q = A \cdot h (T_s - T_\infty) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde.

q = Tasa de transferencia de calor (W).

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²K).

A = Área de transferencia de calor (m²).

T_s = Temperatura de la superficie (K).

T_∞ = Temperatura del fluido (K).

La capa límite térmica es la zona delgada en contacto con la superficie a través de la que se produce la transferencia de calor. Esta capa ofrece resistencia al flujo de calor. De este modo, existe una resistencia de convección análoga a la de conducción.

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{h \cdot A}$$

(Ecuación 6)

Condensación. Cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización.

Ebullición La ebullición es el proceso físico en el que la materia pasa a estado gaseoso. Se realiza cuando la temperatura de la totalidad del líquido iguala al punto de ebullición del líquido a esa presión. Si se continúa calentando el líquido, éste absorbe el calor, pero sin aumentar la temperatura: el calor se emplea en la conversión de la materia en estado líquido al estado gaseoso, hasta que la totalidad de la masa pasa al estado gaseoso. En ese momento es posible aumentar la temperatura de la materia, ya como gas.

SCADA Proviene de las siglas "Supervisory Control And Data Acquisition" (Control de Supervisión y Adquisición de Datos): Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).

SENSORESEs un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica 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.

Válvula de estrangulación En términos generales, la válvula de expansión es un dispositivo que se usa para regular la entrada en el evaporador del agente refrigerante en su fase líquida, procedente del condensador a través de la correspondiente tubería, conocida como línea de líquido.

Convección. Es el método de transferencia de calor entre una superficie y un fluido en movimiento a diferentes temperaturas. Es la consecuencia de la superposición de dos fenómenos físicos, energía transportada por el movimiento aleatorio de las moléculas (difusión) y energía transportada por el movimiento macroscópico del fluido (gran número de moléculas moviéndose colectivamente).

Podemos clasificar la transferencia de calor por convección en, convección forzada y convección natural.

Convección forzada es causada cuando el flujo es causado por medios externos como un ventilador, una bomba o el viento atmosférico.

Convección natural ocurre cuando el flujo está inducido por fuerzas de flotabilidad, las cuales resultan de diferencias de densidad causadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Una consecuencia de la interacción fluido – superficie, es la formación de una región en el fluido a través de la cual la velocidad varía desde cero en la superficie a un valor infinito asociado con el fluido. Esta es la capa límite hidrodinámica. Si además la temperatura entre la superficie y el fluido varían, aparece una capa límite térmica, donde la temperatura varía desde la superficie hasta la temperatura en el exterior del fluido.

Un primer paso en el tratamiento de la transferencia de calor por convección es determinar si la capa límite hidrodinámica es laminar o turbulenta, ya que la tasa de transferencia de calor depende fuertemente de esta condición.

En régimen laminar, el movimiento del fluido es ordenado y es posible identificar las líneas de corriente a lo largo de las cuales se mueven las partículas. El fluido laminar está asociado con números de Reynolds bajos, es decir, el ratio entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad es bajo. De este modo, las perturbaciones en el fluido (originadas por la rugosidad superficial o por la misma corriente libre) se disipan rápidamente, manteniéndose el flujo ordenado (laminar).

Si el número de Reynolds es alto, las fuerzas de inercia son suficientemente grandes como para amplificar las perturbaciones producidas en un flujo laminar, generando torbellinos que nos indican la aparición del régimen turbulento en el fluido. El régimen turbulento, se caracteriza por movimiento irregular y fluctuaciones aleatorias en la velocidad.

Dado que la difusividad de los torbellinos es mucho mayor que la difusividad molecular del régimen laminar, los perfiles de velocidad y temperatura en el corazón de la capa límite son más uniformes en el régimen turbulento y por lo tanto el gradiente de velocidad y temperaturas es mucho mayor.

Como consecuencia, la tasa de transferencia de calor es mucho mayor en flujos turbulentos que en flujos laminares.

Por el contrario, elevados gradientes de velocidad causan grandes tensiones superficiales, lo que nos conduce a afirmar que el régimen turbulento tiene efecto adverso de incrementar la caída de presión en la dirección de flujo. Esta mayor pérdida de presión requerirá bombas o ventiladores de mayor potencia.

Transferencia de calor en intercambiadores de calor Un intercambiador de calor es un dispositivo desarrollado por el hombre, para la transferencia de calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas separados por una pared sólida.

Tienen numerosas aplicaciones ingenieriles y como consecuencia existen diferentes modelos adaptados a cada aplicación.

SOFTWARE Es el equipamiento lógico o soporte lógico de una computadora digital; comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.

CAUDAL Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.²

²• A.F.MILLS - Transferencia de calor –Mc Graw Hill

7. SERVICIOS REQUERIDOS

7.1 REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO.

7.1.1 Alimentación eléctrica.

Este equipo requiere una alimentación eléctrica de:

- a.1) 220 V, 1 fase + neutro + tierra, 50 Hz (110V, 60 Hz), y 3 CV máx.

7.1.2 Agua.

a.1) Este equipo requiere agua, por lo que se deberá prever una alimentación de agua de media pulgada a 2 pulgadas y presión normal de red. Del mismo modo, es necesario disponer de un desagüe próximo. Se recomienda que las tuberías, y sus elementos o herramientas necesarias para la realización de una instalación provisional para su puesta en marcha estén disponibles a su alcance en caso de que no exista alimentación de agua en el lugar de emplazamiento del equipo.

7.1.3 Espacio libre a su alrededor.

a.1) Es recomendable disponer de 1 a 2 metros alrededor del equipo para un mejor manejo, y así, una mejor utilización.

7.1.4 Luz.

El emplazamiento definitivo deberá estar bien iluminado, con luz natural o bien artificial. Esto proporcionará comodidad, y evitará errores y accidentes.

7.1.5 Ambiente de trabajo.

Este equipo ha sido pensado y diseñado para que se trabajé con él en un ambiente normal de confort humano, por lo que, fuera de estas condiciones, el equipo se dañará progresivamente y su vida se acortará considerablemente. El equipo debe mantenerse en condiciones de 22 °C y 50% de humedad relativa. Fuera del 25% de estas condiciones, el equipo puede deteriorarse. Por ello, se debe evitar lo siguiente:

a.1) Dejar el equipo conectado al finalizar un trabajo.

a.2) Dejar agua en los recipientes al finalizar un trabajo.

a.3) Dejar el equipo, expuesto al sol o luz directa excesiva luz de forma continuada

a.4) Dejar el equipo en ambientes de más del 80% de humedad relativa.

a.5) Dejar el equipo en un ambiente químico, salino, de luz directa, calor o ambiente agresivo

7.1.6. OTROS REQUERIMIENTOS. (ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO)

7.1.7 LUGAR DE EMPLAZAMIENTO.

Espacio: El equipo requiere un espacio de aproximadamente 0.5 m². Se recomienda la existencia del espacio libre a su alrededor de 1-2 m mencionados anteriormente Acceso: Este equipo, dadas sus dimensiones, requiere un espacio de acceso de 1+ 0.10 m por lo que el cliente deberá prever este aspecto.

Emplazamiento definitivo: Para su emplazamiento definitivo, este equipo requiere lo siguiente:

- a.1) Una mesa que soporte 100 kg.

8 .MONTAJE E INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.

MONTAJE E INSTALACIÓN.

8.1 GENERAL.

Antes del montaje y la instalación definitivos, es conveniente comprobar lo siguientes:

8.1.1 Colocación.

Se seguirán los siguientes pasos:

- a.1) Simple colocación de la unidad en el lugar elegido.

8.1.2 Requerimiento humano.

- a.2) Para la instalación de este equipo no es imprescindible la presencia de un experto de EDIBON.

8.1.3 Requerimiento eléctrico.

- a.1) En todo laboratorio donde se instale un equipo EDIBON, se recomienda lo siguiente:

- Que se disponga de alimentación trifásica con neutro y tierra, de la que se podrán obtener alimentaciones monofásicas y bifásicas, además de una potencia de al menos 10 CV.

- Que se distribuyan las cargas eléctricas en las tres fases de entrada.

- Que tanto la alimentación principal como las secundarias tengan diferencial y las protecciones adecuadas, de acuerdo con las normas de seguridad para las personas y para los equipos vigentes en el país.

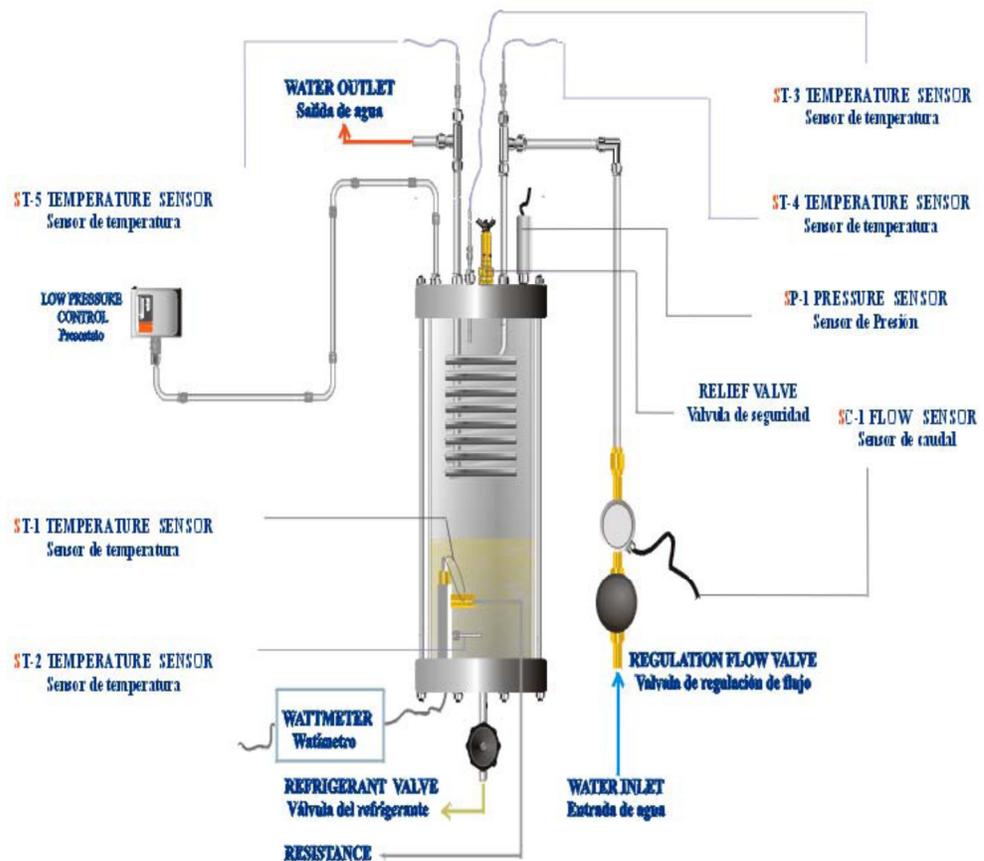
a.2) Este equipo no requiere por sí mismo alimentación eléctrica.

8.1.4 Requerimiento de agua.

a.1) Este equipo requiere alimentación de agua para su funcionamiento y un desagüe cerca de la unidad.

8.2 INSTALACIÓN

Figura 6: Unidad De Transferencia De Calor En Ebullición.



Fuente: EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-12, Agosto 2010.

En la figura adjunto indicamos cada uno de los diferentes elementos que constituye el equipo TCEC. Este equipo se suministra con una tarjeta de adquisición de datos que debe ser instalada en su ordenador y un software de control y adquisición de datos que debe ser instalado en su ordenador. La interface tiene un suministro eléctrico de 230V y 50Hz (monofásico). Para encender la interface tiene un interruptor en la magneto térmico. Para una correcta instalación del equipo siga las siguientes instrucciones:

8.2.1. Instalación del circuito de agua.

Para el correcto funcionamiento del equipo se requiere de suministro de agua, con un caudal máximo de 6 l/min y una presión mínima de 1 atm. En el lado posterior del equipo se dispone de dos tomas de agua con las letras IN (entrada) y OUT (salida) haciendo referencia a la toma de entrada de agua y de salida. Una buena referencia para una correcta conexión del circuito de agua, es considerar que el caudalímetro y la llave reguladora son colocadas a la salida del circuito.

8.2.2 Llenado del refrigerante.

El equipo TCEC se suministra con suficiente cantidad de líquido refrigerante para su utilización. Pero con uso y con la realización de algunas de las prácticas descritas prácticas, es posible que sea necesario un llenado de mismo periódicamente. Esta operación será necesaria cuando el nivel del líquido refrigerante este por debajo de la señal indicada en el cilindro. Para el llenado realice los siguientes pasos:

1.- Haga circular agua fría por el serpentín. Observará que se produce una bajada de la presión del sistema incluso por debajo de la atmosférica.

2.- Llene una jeringuilla de 300 ml del líquido refrigerante. Mediante un tubo de silicona se conectará la válvula de llenado con la jeringuilla. Abra la válvula. El líquido comenzará a entrar en el sistema debido al vacío creado en el evaporador.

3.- En esta operación es posible que haya entrado algo de aire en el evaporador que será necesario eliminar. Para ello se realizará los siguientes pasos:

1.- Conecte el ordenador y seleccione una potencia del 50% de la resistencia calefactora.

2.- Gradúe un bajo caudal de agua para alcanzar una presión en el evaporador de 2 bar.

3.- Abra la válvula de purga para retirar el aire concentrado en el evaporador. Repita esta operación 2 ó 3 veces para asegurar que se ha eliminado todo el aire.

La eliminación de aire se observa cuando el líquido refrigerante verifica el mapa entálpico.

8.2.3 Instalación de los sensores a la interface.

Finalmente se deberá instalar los diferentes sensores a la interface.

El equipo TCEC dispone de los siguientes sensores:

5 sensores de temperatura, llamados: ST1, ST2, ST3, ST4 y ST5.

1 sensor de caudal, llamado SC1

1 sensor de presión, llamado SP1.

8.3 PUESTA EN MARCHA.

8.3.1 CONDICIONES PREVIAS.

Antes de proceder a la puesta en marcha del equipo se debe comprobarse los siguientes aspectos:

- Que el espacio existente alrededor del equipo es el adecuado.
- Que el emplazamiento es el definitivo.
- Que las condiciones eléctricas han sido comprobadas:
 - Medir con el multímetro las condiciones eléctricas. La tensión y la frecuencia deben ser adecuadas según lo indicado.
 - Comprobar que la toma de tierra existe, que está conectada y que tiene valores adecuados. No se debe fiarse nunca de la información recibida. Sólo del multímetro.

- Que todos los requerimientos del equipo son los adecuados y acordes con las instrucciones aquí descritas (para esto debe seguir punto a punto el primer apartado de este informe.) Es MUY IMPORTANTE volver a asegurarse de que las condiciones eléctricas de funcionamiento del equipo coinciden con las del emplazamiento, para ello se comprobará con un multímetro que esto es correcto. NOSE DEBE FIAR NUNCA DE LA INFORMACIÓN RECIBIDA. SÓLO FIARSE DEL MULTÍMETRO.

- Que el montaje ha sido correcto.

8.3.2 CONDICIONES DE SEGURIDAD ADECUADAS.

Repasé antes de la puesta en marcha, la ausencia de riesgos para las personas analizando detalladamente lo siguiente:

- Que no existen partes móviles desprotegidas.
- Que no existen contactos eléctricos desprotegidos que puedan ser accesibles.
- Que no existe riesgo de roturas.
- Que no hay derramamiento de productos peligrosos.

Comprobar que la alimentación eléctrica es la adecuada y tiene que las protecciones de seguridad adecuadas, que la alimentación necesaria del equipo es igual a la alimentación disponible, si dispone de diferencial, si tiene toma de tierra o no, el valor de la toma de tierra y el valor de la tensión.

8.3.3 COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.

Una vez repasados estos puntos, PROCEDE A PULSAR EL BOTÓN de puesta en marcha y pase a comprobar el funcionamiento.

Antes de la entrega, el equipo ha seguido un Proceso de Control de Calidad por parte del personal cualificado de EDIBÓN y se controlaron sus resultados; si estos resultados están dentro de los rangos establecidos, se dará por bueno el funcionamiento.

9.INTERFACE Y SOFTWARE / CONSOLA DE CONTROL.

9.1. INTRODUCCIÓN

El sistema SACED es un sistema de adquisición y control completamente desarrollado por técnicos de EDIBON. En su desarrollo, se ha tenido en cuenta la experiencia acumulada durante más de 20 años en el desarrollo de equipos didácticos.

En este sistema, hay diferentes niveles que permiten al profesor designar en buena medida los diferentes ejercicios prácticos. El nivel básico está preparado para la captura y almacenamiento de los datos que el estudiante procesará y trabajará posteriormente. El nivel medio permite al estudiante el uso de herramientas gráficas que le permiten, en tiempo real, la visualización del experimento. Finalmente, hay un nivel avanzado diseñado especialmente para la captura y calibración de todos los sensores del equipo. Este sistema está sujeto a una clave proporcionada por EDIBON.

9.1.1 Sistema SACED (Software de adquisición y control de EDIBON)

A continuación encontrará una descripción del manejo del programa desde el punto de vista del profesor y del estudiante así como desde el punto de vista del técnico o profesional.

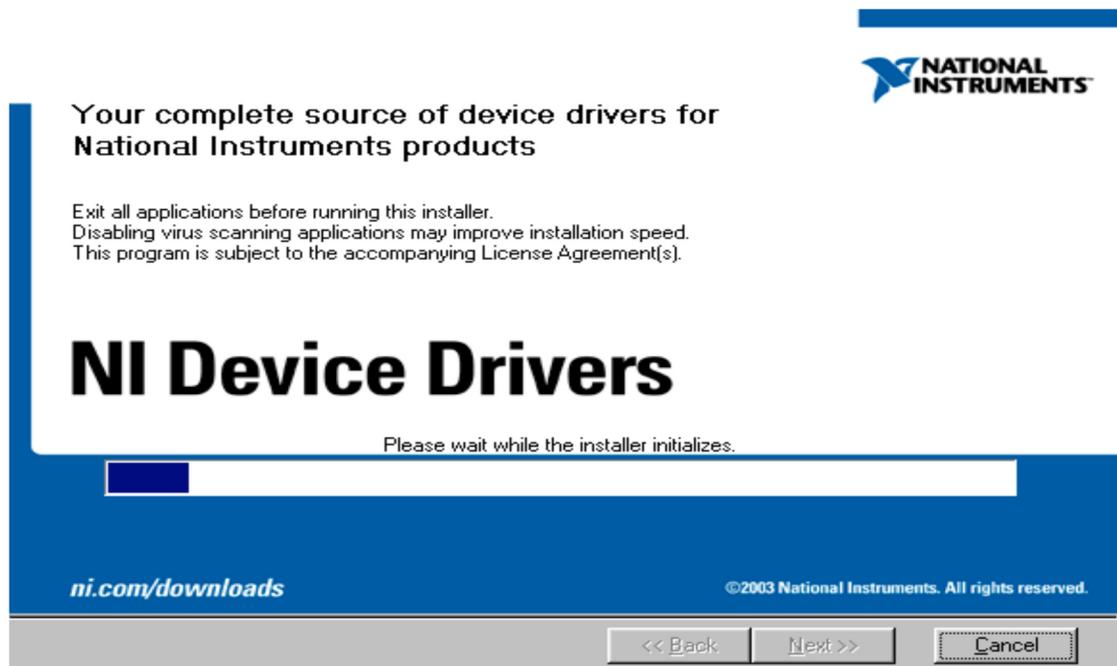
9.1.2 Requerimientos Técnicos.

Para poder funcionar correctamente, SACED necesita un sistema operativo Windows 95 o superior, e instalarse en un ordenador con una tarjeta de adquisición de datos suministrada con el equipo. SACED está preparado para trabajar con una resolución mínima de 1024x768. Si se trabaja con una resolución menor es posible que algunos controles no puedan visualizarse en pantalla.

9.2 INSTALACIÓN SOFTWARE

El equipo es suministrado con 3 CDs (CD1/3, CD2/3 y CD3/3). CD1/3 y CD2/3 contienen los *drivers* de la tarjeta de adquisición de datos y el CD3/3 contiene el instalador del software de control, asimismo contiene el manual del equipo en el correspondiente idioma.

Figura 7:Controladores Del Dispositivo.

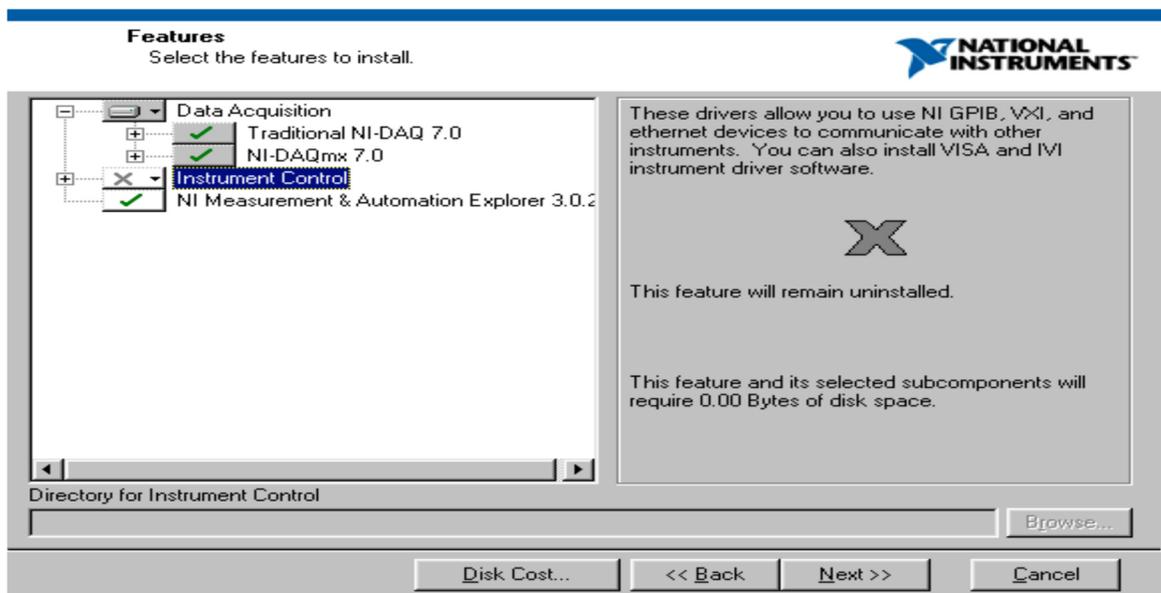


Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

Inserte CD1/3 Éste tardará un tiempo en cargarse y mostrará una ventana que informa del progreso. Los drivers NIDAQ incluyen todos los programas para el PC para la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos, a través del software SAVED. Después de que se haya iniciado el instalador NI-DAQ, por favor haz clic en el botón de siguiente “NEXT” para continuar con el proceso de instalación. La siguiente ventana es el acuerdo de la licencia para utilizar la tarjeta de adquisición

de datos proporcionada con los drivers NI-DAQ del sistema. Para continuar con el proceso de instalación, acepta el acuerdo de la licencia. Si no lo hace, no se instalarán los drivers para la tarjeta de adquisición de datos y no podrá operar correctamente con el software SACED. La versión del SACED está diseñada para que funcione únicamente con la tarjeta proporcionada. Tras aceptar el acuerdo de la licencia, pulse en siguiente “NEXT” para proseguir con el proceso de instalación. La siguiente ventana te informará sobre las nuevas características de 8.6 y sobre las antiguas. Pincha en “NEXT” para ir a la siguiente ventana.

Figura 8: Instalación Del Dispositivo.



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

En esta última ventana, se te indicará la ruta del directorio de instalación de los drivers. Te recomendamos que no escoges la casilla de abandonar. Pincha en “NEXT” para continuar con la instalación de los diferentes componentes. Esta es la ventana de instalación de componentes en la que elegirás los drivers que desees instalar. Por favor, comprueba las casillas correspondientes así como que la ventana refleja los valores de la figura que se muestra abajo. Es importante que las tareas se lleven a cabo con cuidado. Hay que instalar los drivers necesarios, pero no más. Tras haber pinchado en “NEXT”, una nueva ventana mostrará la información de los componentes que se van a instalar. Pinche en “NEXT”. Ahora

comienza el proceso de instalación y se abre una ventana de su progreso. Una vez que haya concluido la instalación, reinicia el ordenador. Si todavía no has instalado la tarjeta de adquisición de datos, hazlo en una ranura libre del PCI en el ordenador. Cuando el sistema se vuelva a encender, continúa con el paso 2 del proceso de instalación: Instalación del software SACED, durante el proceso del programa de instalación éste requerirá un segundo CD, inserte CD2/3.

Figura 9: Instalación Del Dispositivo.



Fuente: EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-12, Agosto 2012

9.2.1 Instalación del SACED

Una vez que se reinicia el PC, instalamos el Software de control (Paso 2). Inserte CD3/3 un. Installation Wizard (Wizard de instalación) le guiará durante el proceso de instalación. La siguiente figura muestra la página de bienvenida del "Installation Wizard" para uno de nuestros sistemas. Después de esta página, se accede a la instalación del directorio (te recomendamos abandonar la sección de abandonar

(default section), pero puedes cambiarla dependiendo de tu equipo). Haciendo clic en “NEXT”, comienza el proceso de instalación y se instalan todos los componentes que hay que ejecutar en el directorio que hayas definido (*Installation Directory\SACED\SystemName*), que aparecerán en el menú de inicio de tu Windows OS bajo la sección SACED. Puede que tengas instaladas diferentes aplicaciones del SACED. En el mismo directorio de instalación encontrarás la carpeta de configuración. Puedes copiarla en un lugar determinado, pero recuérdalo, ya que lo primero que necesita una aplicación de SACED es la carpeta de configuración. Se te pedirá el lugar y el nombre de la carpeta en una nueva ventana que aparecerá.

Ahora, el sistema está preparado para funcionar.

9.3 FUNCIONAMIENTO PARA EL USUARIO ALUMNO.

9.3.1 Pantalla Principal

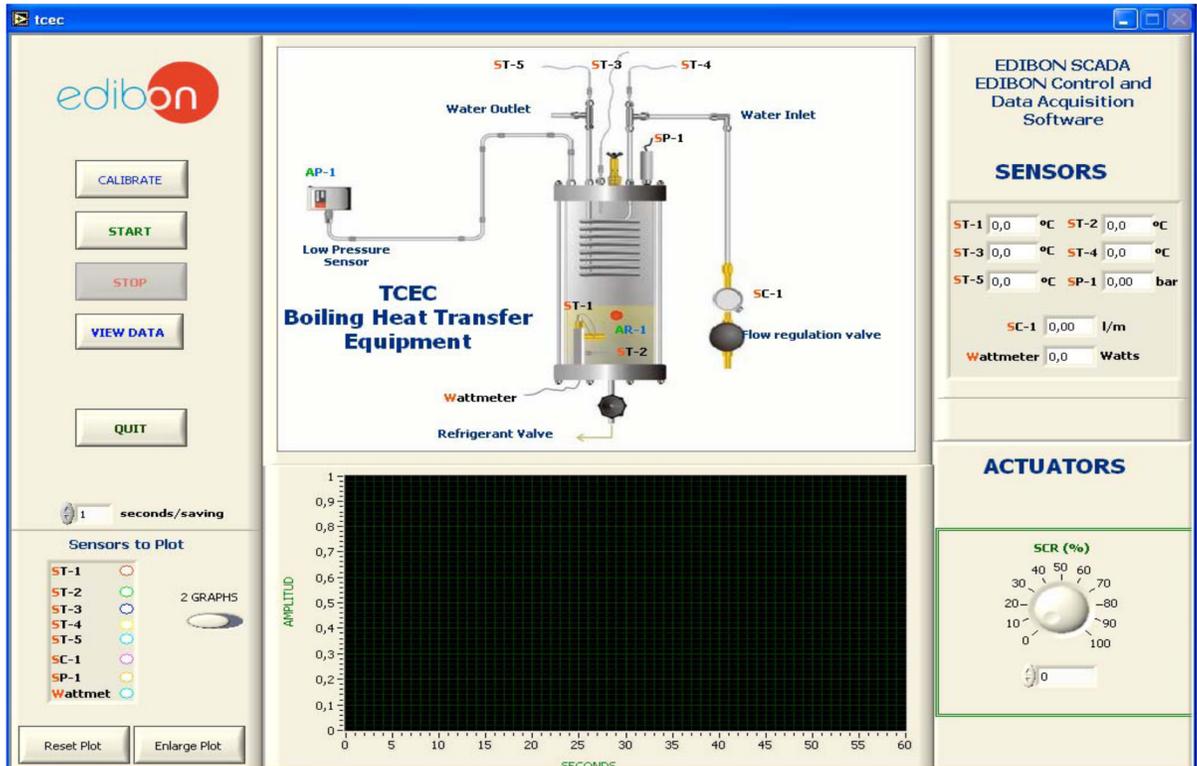
Al ejecutar el programa, aparecerá una pantalla con un menú y diferentes secciones que controlan t muestran el proceso completo:

Tabla 1: Descripción TCEC.

Identificación	Descripción
1	Controles Principales (Calibration, Start, Stop, View Data, Save, Quit)
2	Control manual de los activadores (analógicos y digitales)
3	Sensores y parámetros extra de salida.
4	Selector de canales y otros parámetros de gráfica.
5	Muestra gráfica (o de tabla dependiendo del equipo)

Fuente: Lecturas en el laboratorio

Figura 10: Descripción y Funcionamiento TCEC.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

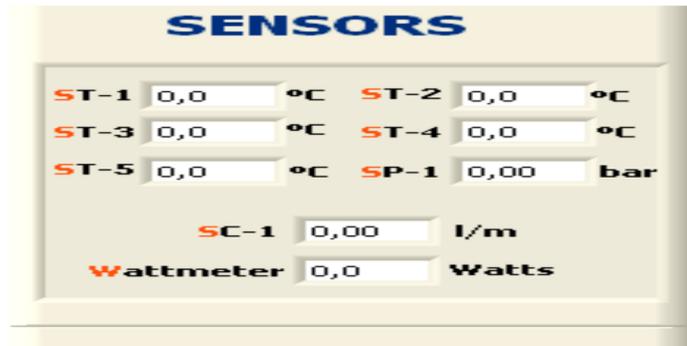
- **CALIBRATE:** Permite leer y modificar el fichero de calibración del equipo. Se necesita contraseña para entrar.
- **START:** Comienza la ejecución pidiendo el nombre del fichero para almacenar los datos. Tras introducir un nombre válido, comienza la adquisición. Los indicadores y displays muestran la evolución en tiempo real de las señales adquiridas.
- **STOP:** Para la adquisición actual, por lo que este botón sólo está disponible si existe alguna adquisición en curso.
- **START SAVING... / STOP SAVING:** Comienza /Termina de grabar datos en el fichero de almacén.

- VIEW DATA: Proporciona una nueva ventana de representación gráfica en la que los valores anteriormente adquiridos y almacenados se pueden analizar. Los datos tardan en cargarse un tiempo, dependiendo del tamaño del fichero. Mientras el sistema esté cargando datos, se verá un mensaje parpadeante. Existen herramientas para acercar y alejar la representación, autoescalar, así como una barra corrediza para el eje x. Para finalizar, pulse en DONE.
- QUIT: Apaga y sale del programa. No se puede utilizar cuando una adquisición esté en proceso o cuando se estén visualizando datos.

El resto de la ventana está subdividida en secciones. La sección superior central mostrará esquemáticamente el sistema, mostrando la localización de los sensores y activadores, indicador con una S roja o una A verde. En algunos casos esta sección contendrá botones o indicadores. En algunos casos esta sección contendrá botones o indicadores para facilitar el uso del sistema o para una interpretación gráfica de los datos. El panel superior derecho contiene los indicadores (gráficos o numéricos) para cada uno de los sensores del sistema, etiquetados para una mejor identificación. El panel central inferior muestra la representación gráfica de los datos. Dependiendo del sistema el panel puede mostrar todos los canales al mismo tiempo, o tan solo dos canales que pueden ser seleccionados del menú desplegable correspondiente. En el caso de varios canales, el eje Y se ajusta para un mayor rango. También existe la opción agrandar gráfica ("ENLARGE PLOT"), que hará aparecer una ventana de gráfica mayor, mostrando la misma información que en el panel central. Las otras dos secciones inferiores contienen controles extra para las salidas analógicas y digitales (interruptores o botones) o controles específicos de cada equipo. Lo primero que hará el software será cargar el fichero de configuración y lo buscará primero en el directorio de instalación, si no, preguntará por el nombre y la ruta de acceso. El fichero, junto con el programa principal, se instalará en el directorio de instalación. Se puede modificar el lugar donde guardarlo, pero no los contenidos. El fichero de configuración debe ser modificado únicamente con las herramientas del SACED y por un usuario cualificado. Una vez que se ha cargado el fichero, la ventana principal ajustará los indicadores a las nuevas condiciones y el software estará preparado para funcionar.

9.3.2. Sensores

Figura 11: Sensores.

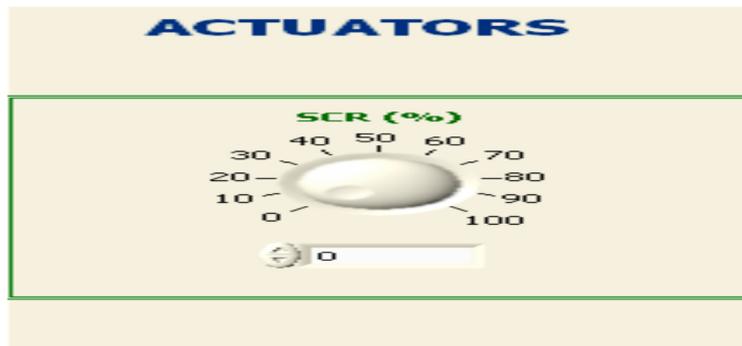


Fuente: Lecturas en el laboratorio

Este panel muestra los indicadores gráficos o numéricos de los datos adquiridos por los sensores. Los indicadores están etiquetados con los nombres de los sensores. La figura muestra un panel típico para una aplicación. En este ejemplo se han leído y se muestran 8 sensores. Algunos de los indicadores gráficos de los sensores puede que se muestren en el panel del centro superior, con el esquema del sistema. Este panel varía dependiendo del equipo que se suministre.

9.3.3. Pantalla de control

Figura 12: Actuadores.

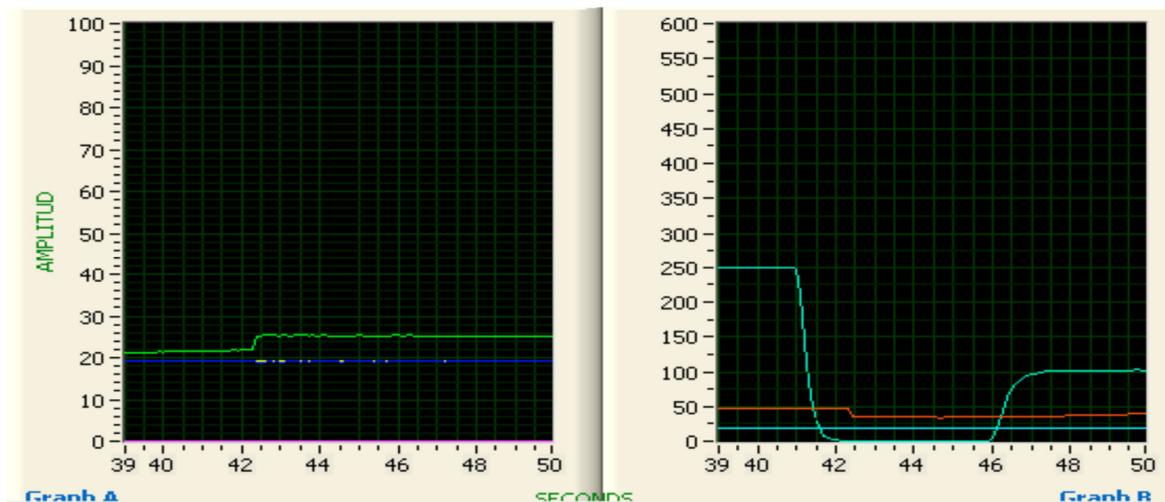


Fuente: Lecturas en el laboratorio

Este panel contiene todos los actuadores (digital o analógico) para controlar los diferentes componentes del sistema. La mayoría de los actuadores suelen ser interruptores digitales (ON/OFF), que mandan señales a la interface a través de puertos de salidas digitales. También puede haber salidas analógicas con señales que van desde los 0 a 10 Voltios, para controlar la velocidad del motor y del ventilador, la apertura y cierre de llaves variables, etc. La figura de la izquierda muestra un ejemplo de un panel de control, con controles específicos para un equipo concreto. Se pueden ver 1 interruptor digital (ON/OFF) y dos controladores analógicos para las velocidades del motor de la bomba. Este panel varía dependiendo del equipo suministrado y puede tener controles específicos. Activando la casilla PID e introduciendo un valor en el marcador contiguo, se selecciona la temperatura deseada en el sensor ST-1.

9.3.4. Pantalla de gráficas

Figura 13: Pantalla de gráficas.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

Este panel puede representar gráficamente en tiempo real los valores tomados por los sensores y visualizar la evolución de las medidas en el tiempo. Existen dos posibilidades. Se puede representar un único canal: entonces el panel tendrá un

botón para seleccionar el canal que se quiera ver. La otra posibilidad es la representación de dos canales a la vez como, por ejemplo, la presión en dos sensores en el mismo tubo a diferentes posiciones. En este caso, se identificará claramente cada representación gráfica. En algunos casos, el índice de muestreo y el número de puntos por canal pueden ser seleccionados por el usuario. Asimismo, los campos apropiados también estarán incluidos en este panel. En el caso en el que el índice de adquisición está fijado por el software (adquisición de datos muy rápida), habrá dos indicadores para el índice de muestreo y el número de puntos por canal. En diversas aplicaciones, se pueden ir añadiendo diferentes sensores a la gráfica (ver figura siguiente), para poder visualizar en cada instante de tiempo qué le ocurre a cada sensor. Por otra parte, existe la opción de poder dividir dicha gráfica en dos, para que en cada una de ellas se sitúen sensores de la misma naturaleza, como por ejemplo, en una se pueden visualizar los sensores de temperatura y en la otra los sensores de presión. También existe la posibilidad de ampliar la representación. Para ello, pulse en “Enlarge Plot” y se abrirá una ventana con una representación gráfica similar pero más grande en la que se mostrará la misma información que en el panel pequeño. El botón de “Enlarge Plot” cambiará a un botón de cierre “Close” que cerrará la ventana de la representación gráfica mayor cuando sea pulsado. Esto deberá hacerse antes de cambiar los canales o detener la adquisición.

9.4. PROFESOR

Además de las tareas descritas, el profesor también puede calibrar los sensores utilizando la herramienta destinada a ello que se proporciona con el sistema SACED. Se necesita la clave del Profesor. Recuerda que los cambios hechos en la carpeta de configuración son definitivos, así que se recomienda hacer una copia de protección de la carpeta de configuración inicial para evitar tener que volver a instalar el sistema de nuevo.

9.4.1. CALIBRACIÓN DE SENSORES

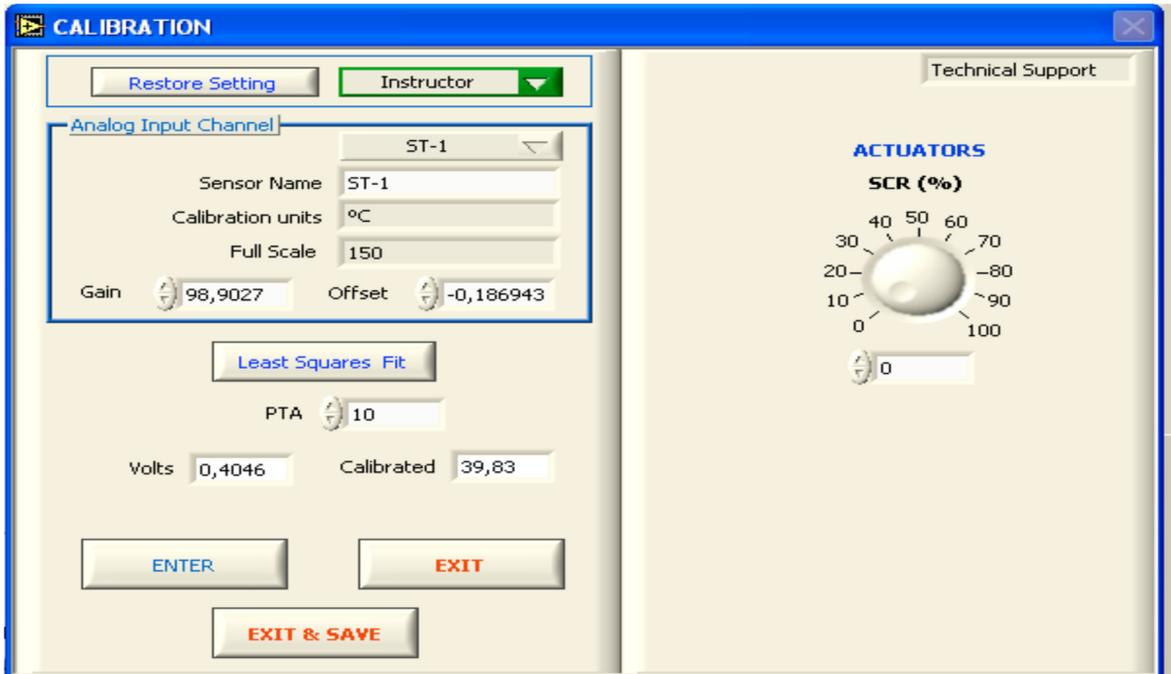
Figura 14: Autorización De Clave De acceso.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

El botón de calibración “CALIBRATE” pedirá una clave para acceder a la ventana de calibración. Existen dos posibles claves: Profesor y asistencia técnica. Esta última está reservada para el personal de asistencia técnica. Cuando la nueva ventana pida la clave, selecciona “Instructor” e introduce la clave que es proporcionada con el equipo. Si es correcta, se abrirá la ventana de calibración. Selecciona “Analog Input Channel” (Canal de entrada analógico) de la lista desplegable al elegir el nombre del sensor que se desee calibrar. El nombre del sensor aparecerá en el campo correspondiente junto con la ganancia y la compensación de este canal.

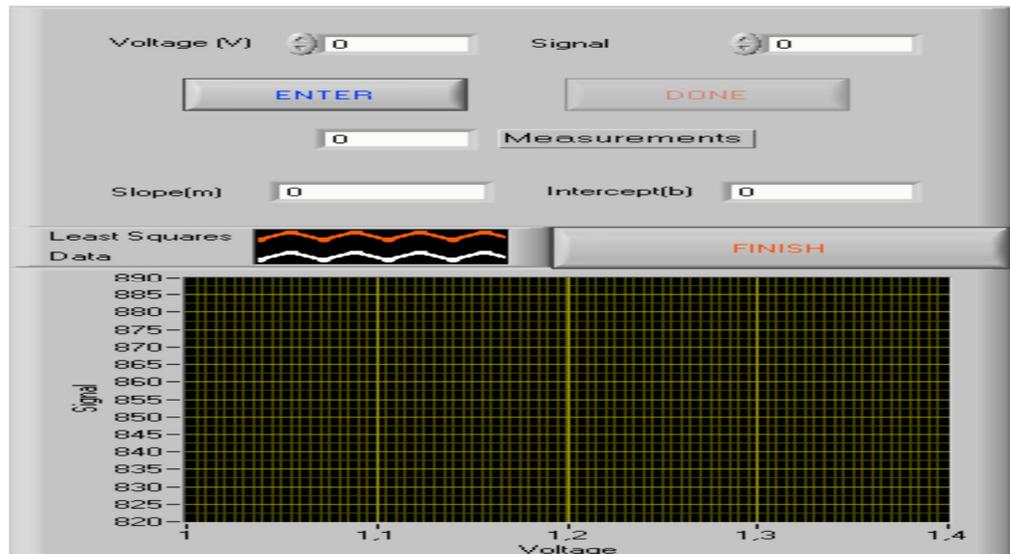
Figura 15: Calibración De Actuadores.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

Si queremos leer datos, la casilla “Points to average” no puede estar a 0. “Gain” y “Offset” indican la calibración del sensor seleccionado en ese momento. Por otro lado, la casilla de “Volts” (Voltios) indica la lectura en voltios, mientras que “Calibrated” es el valor del sensor con la calibración establecida por la ganancia “Gain” y la compensación “Offset”. Si queremos cambiar la calibración, tenemos que modificar las condiciones del sensor seleccionado. Por ejemplo, para un sensor de temperatura etiquetado como ST-5, modificaremos su temperatura hasta 0°C empleando hielo (comprueba la temperatura usando un termómetro calibrado) y leemos los voltios obtenidos en la pantalla anterior. Escribimos la temperatura y los voltios y hacemos lo mismo con agua hirviendo a 100°C, tomando igualmente nota de la temperatura y los voltios obtenidos. Algunos sensores pueden necesitar más puntos de datos. Posteriormente, pulsamos en “Least Square Fit”, para que una herramienta estipule la ganancia y la compensación de los puntos de los datos.

Figura 16: Grafica De Lectura De Voltaje vs Señal.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

Ahora, con los valores obtenidos anteriormente, los escribimos en voltios en la casilla "Voltage (V)" y la temperatura medida con el termómetro (0°C), en la casilla "Signal". Pinchamos en "Enter" para guardar lo que hemos escrito. Hacemos lo mismo con la temperatura de 100°C y presionamos "Enter" tras haber escrito los nuevos valores. Podemos hacerlo también con más puntos de los que necesitamos. No obstante, tras haber introducido dos puntos, se activa ya el botón de "DONE". Si hacemos clic en él, guardamos la ganancia y la compensación y representa los puntos junto con la adaptación lineal. Pinche en FINISH tras haber introducido todos los datos y la adaptación ha sido realizada con éxito. De esta manera, se exportarán los valores de la ganancia y la compensación a la ventana de calibración. En ella, pincha "ENTER" para guardar los nuevos valores de ganancia y compensación. Haz lo mismo con el resto de los sensores. Cuando todos hayan sido calibrados, pincha en "done" y se modificará la carpeta de configuración. Por seguridad, en caso de perder la calibración los parámetros de calibración de los sensores están disponibles en el archivo de configuración del CD. (file.edb).

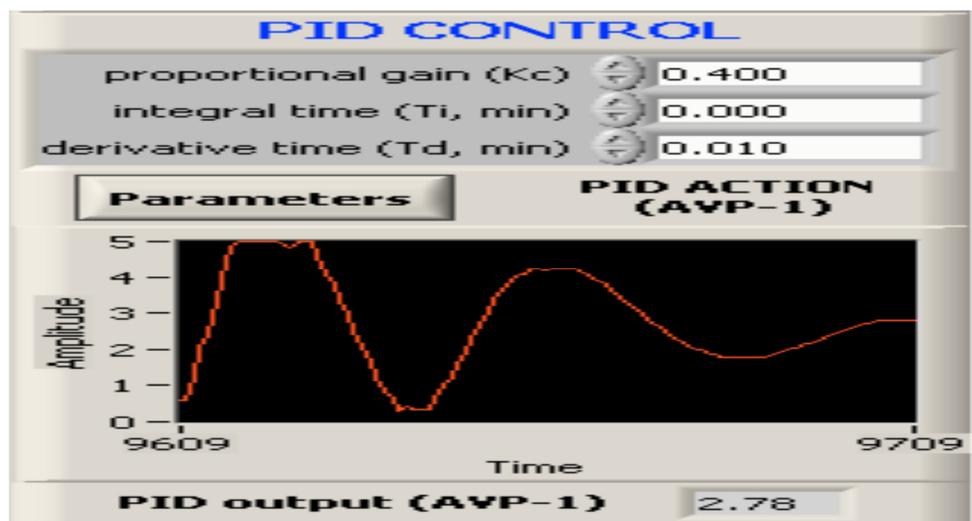
9.5. ANEXO 1: PROPIEDADES DEL CONTROL OFF/ON

El control Off/On es un control proporcional al control simple. Este control automático consiste en la selección de un “set point”, por ejemplo el nivel en el caso de Control de nivel UCP_L. Por otro lado, se asignan valores para AVS-1 (cuando el nivel excede los valores asignados, la válvula AVS-1 se cierra), AVS-2 y AVS-3 (cuando el nivel excede los valores asignados, las válvulas AVS-2 y AVS-3 se abren para drenar la disolución) y AB-2 (cuando el nivel no alcanza el valor asignado, AB-2 se enciende y si el nivel excede AB-2 se apaga).

Para el resto de proyectos, el Control de flujo upc (UCP_F), el control pH ucp (UCP_pH), el Control de temperatura ucp (UCP_T), el proceso es similar, pero en cada caso el punto de referencia será el flujo, el pH y la temperatura respectivamente, y el número de parámetros del control es diferente.

9.6. ANEXO 2: PROPIEDADES DEL CONTROLADOR P.I.D.

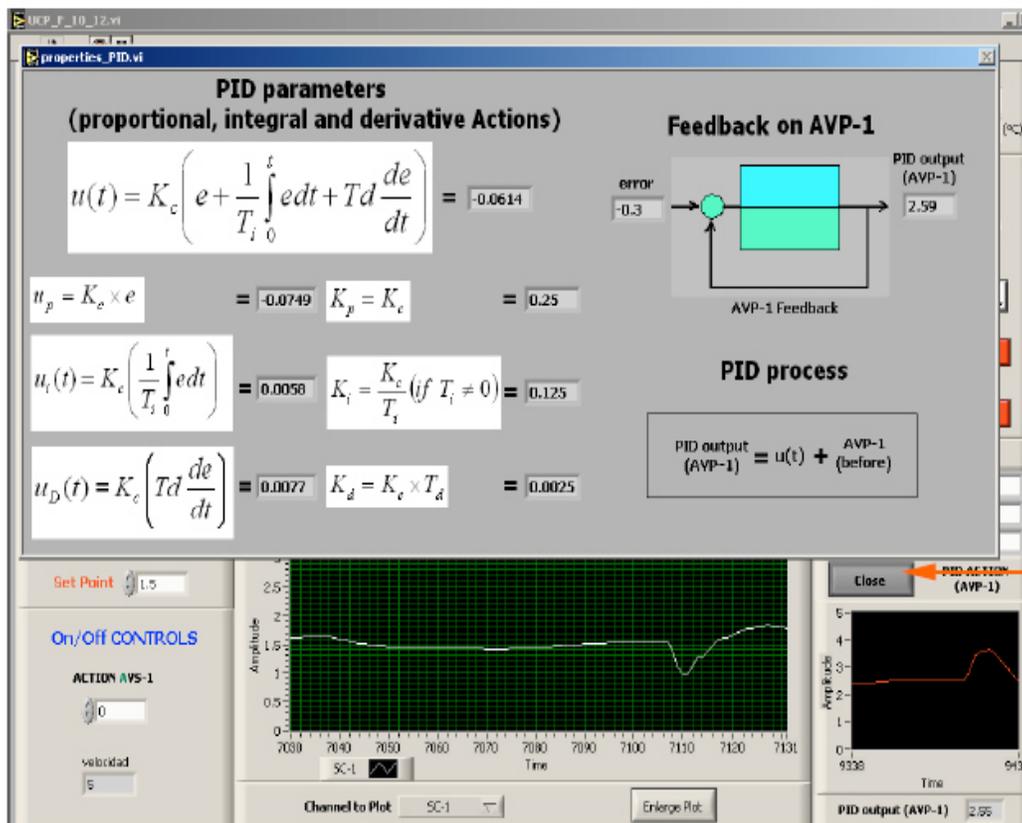
Figura 17: Control PID AVP-1.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

Un controlador P.I.D. permite fijar el valor de consigna con una mayor exactitud, corriendo con el tiempo los errores estacionarios y evitando las perturbaciones en el sistema con respuestas instantáneas. En la ventana adjunta se muestran todas las propiedades disponibles en los controladores P.I.D. dispuestos en el programa SACED. Si apretamos el botón “Parameters” aparecen las diferentes acciones que puede llevar a cabo el controlador PID. Para cerrar esta ventana se debe acudir al mismo botón. (En este caso aparece sombreado y la palabra “close” aparece resaltada)

Figura 18: Parámetros PID.



Utilice este botón para abrir o cerrar la ventana de las opciones PID

Fuente: Lecturas en el laboratorio

Kp. “Constante proporcional”. Su valor está comprendido entre 0 y 1.

Td. “Constante derivativa” Mediante esta constante se puede corregir dentro de la banda de actuación las posibles perturbaciones que se produzcan en el sistema, actuando de inmediato. Su valor también está comprendido entre 0 y 1.

Ti. “Constante Integral”. La acción integral en un controlador permite corregir el error estacionario que se produce en un control Todo/Nada. Su valor debe ser mayoro igual a 0.

Plot PID Action. Indica la acción que se está llevando a cabo en la válvula proporcional.

El controlador PID compara los puntos de referencia (SP) a los procesos variables (PV) para obtener el error (e).

$$e = SP - VC$$

Luego el controlador PID calcula la acción de controlador, $u(t)$, donde K_c es ganancia de controlador.

$$u(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

Si el error y la salida del controlador tienen el mismo rango, de -100% a 100% , la ganancia de controlador es recíproca de la banda proporcional. T_i es el tiempo integral en minutos, también llamado reset time, y T_d es el tiempo derivativo en minutos, también llamado time. La siguiente fórmula representa la acción proporcional.

$$u_p(t) = K_c \cdot e$$

K_c determina la oscilación ambiental al punto de referencia. La siguiente fórmula representa la acción integral

$$u_i(t) = K_c \left(\frac{1}{T_i} \int_0^t e dt \right)$$

Esta acción lo que hace es corregir el error estacionario en el tiempo. La siguiente fórmula representa la acción derivativa.

La acción derivativa suaviza la acción proporcional evitando que los cambios de acción sean abruptos.

$$u_D(t) = K_c \left(T_d \frac{de}{dt} \right)$$

La acción total $u(t)$ actúa en la válvula proporcional siguiendo este patrón::

$$AVP-1 \text{ output } (t) = u(t) + AVP-1 \text{ output } (t-1)$$

Acto seguido, depende de si el sistema se acerca o se aleja del punto de referencia (el error está cerca de cero). La acción total se aleja cancelando progresivamente.

Para ilustrar el concepto de PID, vamos a presentar un caso práctico para poder ilustrar la sencilla forma de influencia del PID dependiendo de sus parámetros. Nos centraremos en el Control de Flujo (UCP-P, que comentaremos más adelante) ya que el proceso es el mismo con pequeñas diferencia (como en el caso del Control de Temperatura que veremos más adelante).

Puede seleccionar un punto de referencia para el flujo en 1.5 litros/minuto (ya se habrá dado cuenta de que los valores por debajo de 1 litro/minuto son difíciles de obtener porque la válvula proporcional regula peor en ese rango). Primero, seleccione $K_c = 2$ or 3 y verá la oscilación de SC-1 (Sensor de Flujo), y al reducir el valor de K_c incluso hasta 0.25 , la oscilación decrece.

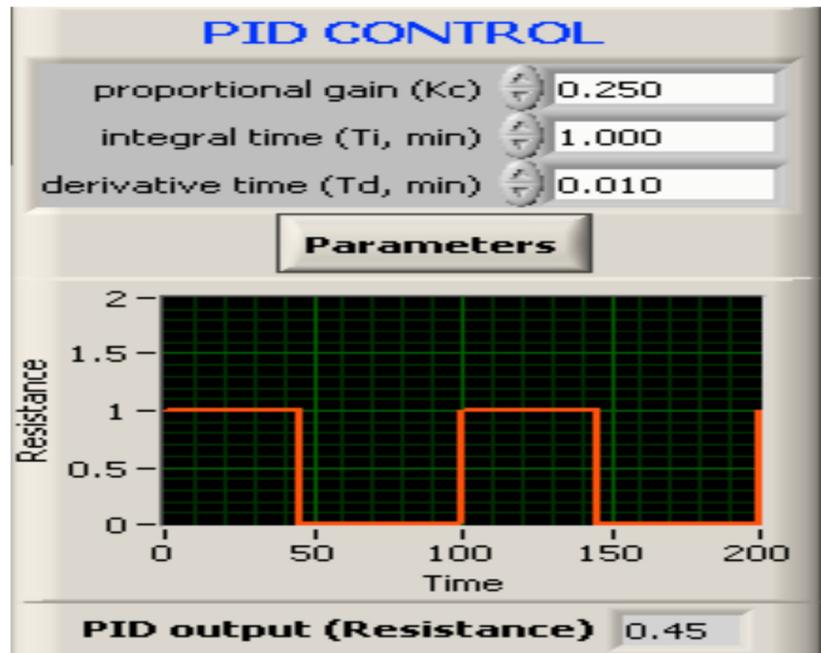
Por otro lado, si añade al valor de T_d (de 0 a 0.01), puede ver que la oscilación se suaviza. Si los valores de T_d son mayores que 0.01 el sistema puede ser inestable. Cuando el error es inferior a 0.1 litro/minuto, la acción proporcional y la acción derivativa dejan de actuar. En este momento, se ha obtenido un error estacionario y se puede observar la acción integral. Puede seleccionar $T_i = 2$ para ver la evolución del sistema.

En el caso del Nivel PID (UCP_L), el punto de referencia del nivel, mientras el PH PID (UCP_pH) el pH. Estos procesos son más lentos y la acción total también actúa en la válvula proporcional (AVP-1).

Por otro lado, la filosofía de Temperatura PID (UCP_T) es diferente, porque para obtener el punto de referencia de (temperatura), la acción PID actúa en la resistencia enviando un onda cuadrada a la frecuencia proporcionada (ver la

figura a continuación). En la onda cuadrada el nivel superior (cuyo valor es 1) es el tiempo durante el cual la resistencia está calentando y el nivel inferior (de valor 0) el tiempo durante el cual la resistencia está apagada. En este proceso, la acción de PID

Figura 19: Control PID Resistencia.



Fuente: Lecturas en el laboratorio

Regula el porcentaje del nivel superior en la onda cuadrada para un ciclo. Acto seguido, si la temperatura está muy lejos del punto de referencia, la acción estará al máximo y por lo tanto el 100% de la onda está en su nivel superior. De acuerdo con el punto de referencia obtenido, el porcentaje se reducirá incluso cuando se obtenga el punto de referencia y la acción del PID es nula y la onda cuadrada es nula en todos los ciclos.

Si el equipo *UCP-P*, se puede empezar con $K_c = 10$, $T_d = 0$ y $T_i = 0$ para el

PID en caso de presión y se pueden observar las oscilaciones de SP-1 (Sensor de Presión), y mientras se reduce el valor de K_c incluso hasta 0.1, la oscilación merma. A continuación, mostraremos ejemplos de dos tipos de PID, con parámetros que puede introducir en el Software de Control.

Tabla 2: Lectura De Tipos De PID con parámetros para el Software de Control.

Tipo de PID	Punto de referencia	K_c	T_i	T_d
Presión	0.5 Bar	1	1	0.01
Presión	1.25	0.5	1	0.01
Flujo	60 l/min	0.2	1	0.01
Flujo	45 l/min	0.1	0.1	0.01

Fuente: Lecturas en el laboratorio

Nota. Estos ejemplos guían la dirección del proceso, pero no son únicos.

10. NORMAS DE SEGURIDAD

Este equipo nunca deberá ser conectado ni deberá estar en funcionamiento si previamente no se han seguido con detalle las exigencias de seguridad que el fabricante exige, tanto de forma global como individual, de todos y cada uno de los elementos que componen el equipo.

El cliente deberá comunicar al vendedor cualquier cambio realizado, tanto a nivel mecánico como eléctrico, para asegurarse de que no se actúa en contra de las normas de seguridad vigentes. EDIBON, S.A. no se responsabiliza de los desperfectos que se puedan originar como consecuencia del uso indebido del equipo, o las aplicaciones incorrectas del mismo.

Al objeto de evitar riesgos y daños tanto a personas como al propio Equipo, se recomienda extremar las medidas de seguridad. Al diseñar esta unidad se ha procurado incluir todos los elementos de seguridad para evitar daño a las personas y a las cosas.

10.1. CONDICIONES DE SEGURIDAD DEL ENTORNO.

10.1.1. Eléctricas.

La instalación eléctrica del laboratorio será la adecuada de acuerdo con las recomendaciones de este informe y las normas regladas dentro del país. Para la instalación eléctrica se hará hincapié en los puntos siguientes:

- La instalación dispondrá de elementos de potencia como magnetotérmicos, seccionadores, diferenciales, fusibles, etc.
- La toma de tierra no sólo estará conectada a la red general, sino que sus valores serán los indicados en las normas y reglamentos de baja tensión vigentes en el país. Deberá haber una “muy buena toma de tierra”.

10.1.2 Químicas.

Se recomienda que NO EXISTAN sustancias deflagrantes o explosivas en las proximidades, solamente en casos estrictamente necesarios y con control y supervisión del profesor. Además, deberán existir extintores o cualquier otro

sistema de prevención y actuación contra incendios, de acuerdo con la normativa vigente.

10.1.3. Derramamientos.

Se evitarán los derramamientos de cualquier sustancia sólida, líquida o gaseosa sobre el equipo.

10.1.4. Climáticas.

Se recomienda evitar ambientes, de forma momentánea o persistente, con temperaturas que superen los 50°C, 70% humedad relativa, ambientes salinos, ambientes químicos o vapores nocivos, radiación solar directa y otros agentes que puedan dañar el equipo. El equipo debe permanecer siempre limpio y seco.

10.2. CONDICIONES DE SEGURIDAD DEL PROPIO EQUIPO.

Este equipo no podrá ponerse en marcha, ni se podrán realizar ensayos, ni permanecer en funcionamiento, si:

- Las protecciones eléctricas del laboratorio no son adecuadas.
- Las protecciones eléctricas no están conectadas.
- Las partes móviles no están protegidas.
- Existen fugas.

10.3. CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD.

Antes de hacer una práctica se debe comprobar que:

- Las conexiones eléctricas están hechas adecuadamente.
- No existen fugas.
- El interruptor de corte está cerca, para poder actuar rápidamente en caso de emergencia.
- Las equivocaciones normales del alumno, no causen daño.

11.MANTENIMIENTO.

Para un mantenimiento adecuado del equipo, EDIBON recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos

11.1. LIMPIEZA INTERIOR Y EXTERIOR.

De forma general, todos los equipos EDIBON deberán permanecer limpios en todo momento: externamente, limpios de polvo, agua o cualquier otra suciedad, e internamente deben estar limpios de cualquier resto de fluido que pueda quedar al finalizar una sesión de ensayos.

A nivel particular se recomienda lo siguiente:

- a) Todas las partes móviles deberán permanecer engrasadas.
- b) No deje restos de fluidos en el circuito al finalizar las prácticas.
- c) Cubra el equipo con un plástico transparente.

11.2. FUNCIONAMIENTO PERIÓDICO.

Si, por diversas circunstancias, transcurriera más de 1 año sin que el equipo fuese utilizado, se recomienda ponerlo en marcha aunque sea en un corto período de tiempo, entre 2 y 3 veces al año, ya que con frecuencia los equipos se deterioran más por el NO USO que por el uso.

11.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

EDIBON, S.A. recomienda que, a partir del período de finalización de la garantía, se contrate un servicio de mantenimiento de manera que se asegure su funcionamiento en todo momento. Si esto no se hace así, se recomienda que la unidad sea revisada anualmente por el propio cliente.

11.4. CONTROL DE LAS INSTALACIONES QUE DAN SERVICIO A LA UNIDAD.

El deterioro de las instalaciones del laboratorio que dan servicio al equipo, frecuentemente suelen ser foco de problemas que ocasiona deterioros del equipo, por lo que estos deben de ser revisados y mantenidos adecuadamente. A tal efecto recomendamos:

11.4.1. Electricidad.

Asegurase de que los sistemas de seguridad, como magnetotérmicos diferenciales, fusibles, etc., se encuentran en posición correcta de funcionamiento y que los valores de alimentación, como tensión, potencia, intensidad, frecuencia etc., son los adecuados y requeridos por la unidad.

11.4.2. Agua.

Asegurase de que la alimentación de agua tiene la presión adecuada dentro de un rango lógico y, sobre todo, del agua no contenga iones o elementos que puedan oxidar, calcificar o provocar reacciones químicas o catalíticas, que deterioren los circuitos internos del equipo.

11.4.3. Aire

Asegurase de que la alimentación de aire tiene la presión que el equipo requiere y que el grado de humedad de ese aire es normal.

11.5. REPUESTOS PARA 5 AÑOS.

La relación adjunta, garantizará que el equipo tenga el repuesto de inmediato en caso de fallo por cualquier circunstancia.

11.6. REVISIÓN PERIÓDICA.

EDIBON, S.A. recomienda que se solicite un chequeo del equipo cada cinco años por un especialista de EDIBON, al objeto de alargar en lo posible la vida del equipo.

12.PRÁCTICAS.

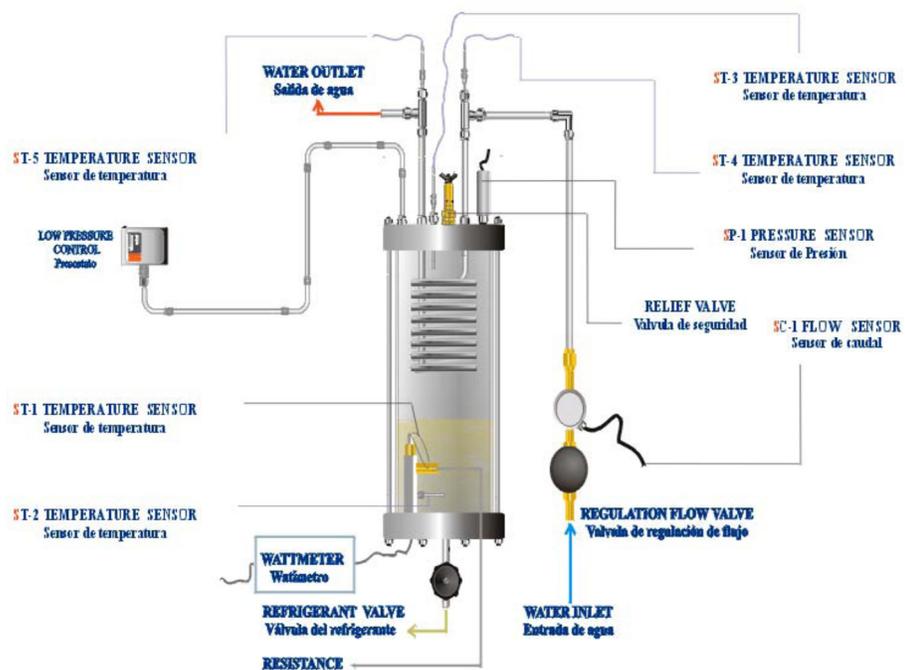
12.1.DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

12.1.1. Introducción.

La ebullición y la condensación son aspectos fundamentales en la transferencia de calor desde una zona caliente a zonas frías en incontables aplicaciones, como por ejemplo, la producción de energía térmica y nuclear en plantas de vapor, refrigeración, refinación, transmisión térmica, etc.

12.1.2 Descripción

Figura 20: Componentes Del Equipo TCEC.



Fuente: EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-12, Agosto 2012.

Dentro de una cámara vertical de vidrio (cilindro) se monta una resistencia de 470W de potencia. Esta resistencia se conecta a un cilindro conductor metálico que está en contacto con el líquido refrigerante. A este cilindro conductor se le adapta un sensor de temperatura de contacto ST1 que nos dará la medida de la temperatura de la superficie caliente.

Por otro lado disponemos de un segundo sensor de temperatura ST2 que mide la temperatura del refrigerante.

La potencia eléctrica consumida por la resistencia es controlada desde el ordenador y medida por un vatímetro. La regulación de potencia de la resistencia viene dada por un controlador de ángulo de fase.

La transferencia de calor puede obtenerse ya que disponemos de dos sensores de temperatura ST4 y ST5 a la entrada y a la salida del agua, y que junto con el caudalímetro de agua nos permite obtener el calor cedido por el refrigerante al agua. El sensor de temperatura ST3 nos determina la temperatura del vapor saturado.

El equipo se complementa con un sensor de presión (0-6.5 bar) absoluta que nos permite determinar la existencia de aire en el sistema (SP1), una válvula de purga para la eliminación o entrada de aire y un presostato de baja como control de seguridad. Este presostato ha sido preparado desde fábrica para que desconecte la resistencia cuando la presión del evaporador sobrepase los 2.5 bares.

Finalmente se dispone de un sistema de carga de refrigerante.

12.1.3 Posibilidades prácticas.

Práctica 1: Sistema de Control: Calibración de los sensores de temperaturas

Práctica 2: Sistema de Control: Calibración de los sensores de caudal

Práctica 3: Estudio de la histéresis del sensor de Caudal.

Práctica 4: Calibración del sensor de Presión Absoluta

Práctica 5: Demostración visual de las tres modalidades de ebullición

Práctica 6: Determinación del flujo térmico y el coeficiente de transferencia de calor superficial.

Práctica 7: Efecto de la presión sobre el flujo térmico crítico.

Práctica 8: Condensación de película.

Práctica 9: Demostración del arrastre de líquido por el vapor

Práctica 10: Relación entre la presión y la temperatura.

Práctica 11: Efecto del Aire en una Instalación.

12.1.4. Especificaciones.

- Cámara: cilindro de boro silicato de alta resistencia; diámetro interior 90 mm, exterior 100mm y longitud 300 mm.
- Resistencia tipo cartucho de 470 W, embutida en un cilindro de cobre de diámetro interior 12.7 mm y exterior de 16 y una longitud de 50 mm.
- Serpentín condensador: éste está constituido por un tubo de cobre niquelado con un área superficial de 0.043 m².
- Control del calentador: Este se realiza desde el ordenador mediante el control de un controlador de ángulo de fase.
- Válvula de carga: colocada en la parte inferior del cilindro de vidrio y se utiliza para la carga y descarga del equipo.
- Válvula de control de agua. Ubicada en la línea de conducción de agua y regula el caudal de agua que entra en el serpentín.

12.1.5. Instrumentación:

El equipo TCEC consta de los siguientes instrumentos de medida: 5 sensores de temperatura tipo J. 1 sensor de presión absoluta de 0 a 6.5 bares. Caudalímetro de agua de 0 a 6.5 l/min. Vatímetro.

12.1.6. Instrumentación de seguridad.

Disyuntor de temperatura, dispuesto para cortar la corriente eléctrica si la temperatura sobrepasa el valor de alarma de 120°C.

Presostato de alta. Dispuesto para cortar la corriente eléctrica de la resistencia si la presión en el evaporador sobrepasa los 2.5 bares.

Válvula de Purga y de Seguridad: Si se produce un fallo en el presostato de alta o se coloca el equipo en un ambiente muy cálido o expuesto directamente al sol, donde la temperatura puede ser muy alta, esta válvula de purga salta para una presión de 2.4 bares. Tenga presente que en estas circunstancias se producirá una pérdida importante de refrigerante y en consecuencia será necesario el llenado posterior.

12.1.7. Dimensiones y pesos.

12.1.8. Dimensiones y pesos.

- Peso neto aproximado: 65 kg.
- Dimensiones del equipo: 700 x 700 x 720 mm.
- Volumen de embarque aproximado: 1.63 m³.

12.1.9. Servicios requeridos.

- Suministro eléctrico: 220V 50Hz (110V-60Hz), monofásico.
- Suministro de agua: 6 l/min, con presión de 10 m de altura, aproximadamente.
- Esta unidad ha sido diseñada para el empleo del gas refrigerante R141-b (1,1, -dicloro-1-fluoretano).

12.2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

Cuando un líquido a la temperatura de saturación está en contacto con la superficie de un sólido (generalmente metal) a mayor temperatura, se transfiere calor al líquido, teniendo lugar un cambio de fase evaporación de parte del líquido.

La naturaleza y grado de esta transferencia de calor cambian considerablemente a medida que se aumenta la diferencia de temperatura entre la superficie metálica y el líquido.

Debido a la tensión superficial, el vapor del interior de una burbuja ha de hallarse a una presión más elevada que el líquido que la rodea. La diferencia de presión aumenta a medida que el diámetro de la burbuja disminuye, siendo mucho más insignificante cuando la burbuja es grande.

Sin embargo, si la burbuja es diminuta, existe una notable diferencia de presión. Para entender este fenómeno se establece la analogía con el proceso de inflar un globo de un niño, donde la dificultad al inicio es considerable, disminuyendo rápidamente a medida que aumenta el diámetro del globo.

La presión dentro de una burbuja es la presión del vapor correspondiente a la temperatura del líquido que la rodea. De este modo, cuando no existen burbujas (o son de tamaño muy reducido) es posible que la temperatura del líquido en la zona de la superficie de calor, resulte muy superior a la temperatura de la mayor parte del líquido que estará muy cerca de la temperatura de saturación correspondiente a la presión de la interfase libre líquido-vapor.

A continuación damos una breve explicación de los tres posibles mecanismos de transferencia de calor por ebullición:

12.2.1. Ebullición convectiva.

Esta se produce cuando la temperatura de la superficie de calentamiento es ligeramente superior a la temperatura de saturación del líquido. El exceso de presión de vapor creado en esta región límite no es suficiente para la creación de burbujas. El líquido calentado localmente se expande y las corrientes de convección lo desplazan hasta la interface líquido-vapor donde tiene lugar la evaporación y en donde se restablece el equilibrio. En esta modalidad, la evaporación tiene lugar bajo pequeñas diferencias de temperatura y sin formación de burbujas.

12.2.2. Ebullición nucleada.

A medida que la superficie se calienta, aumenta el exceso de presión de vapor con respecto a la del líquido y, finalmente se forman las burbujas. Estas surgen en puntos nucleantes sobre la superficie caliente en la que las diminutas cavidades

de gas, existentes en defectos superficiales, constituyen el núcleo para la formación de una burbuja. En el momento de formarse la diminuta burbuja, ésta se expande a medida que el líquido calentado se evapora dentro de ella. La flotación separa la burbuja de la superficie y empieza a formarse otra.

La ebullición nucleada se caracteriza por una vigorosa formación de burbujas y turbulencias. En la ebullición nucleada se experimenta tasas de transferencia de calor excepcionalmente elevadas y coeficientes de calor con diferencias moderadas de temperatura. En aplicaciones prácticas, la ebullición se realiza siempre dentro de esta modalidad.

12.2.3. Ebullición de película.

Por encima de la diferencia crítica de temperatura entre la superficie y el líquido, se encuentra que la superficie está “encerrada en vapor” y el líquido no puede humedecerse la superficie. Cuando esto sucede hay una reducción considerable en la tasa de transferencia de calor y si no se reduce inmediatamente la entrada de calor para casar la reducción de la habilidad de la superficie de transferir calor, la temperatura del metal aumentará hasta que la redacción de la superficie más la transferencia limitada de calor de ebullición de película sea igual a la entrada de energía.

Si la entrada de energía es en la forma de trabajo (incluyendo energía eléctrica) no existe límite de la temperatura que el metal alcanzar y su temperatura puede aumentar hasta que haya un fallo o una “quemadura”. Obviamente, la resistencia de inmersión se debe diseñar con un área suficiente para que el flujo de calor nunca exceda el valor crítico.

12.2.4. Transferencia de calor por condensación.

La condensación de vapor sobre una superficie fría puede ser de la forma de:

Película.

Gotas.

12.2.4.1. Condensación por película.

Cuando se produce la condensación por película el condensado humedece por completo la superficie y la condensación ocurre en la capa exterior de la película

del líquido, con el calor pasando a través de la película a la superficie principalmente por conducción.

1.2.4.2. Condensación por gotas.

Si se trata de una superficie con un compuesto adecuado es posible la condensación por gotas. Cuando esto ocurre, el líquido no humedece la superficie y la superficie se cubre con cuentas de líquido que coalescen para formar gotas, las cuales caerán dejando a la superficie libre para la repetición de esta acción.

El coeficiente de transferencia de calor en la condensación por gotas son más elevados que en la condensación de películas debido a la ausencia de la película en el líquido.

12.3. ADVERTENCIAS, INSTRUCCIONES PRINCIPALES Y PRECAUCIONES

Antes de la realización de las prácticas es conveniente seguir las recomendaciones y las acciones indicadas en el manual “Instalación y puesta en marcha”. De igual forma se recomienda la lectura del manual de “Interfase y software de control”

12.4. RELACIÓN DE PRÁCTICAS

12.4.1. Práctica 1: Demostración visual de las tres modalidades de ebullición.

12.4.1.1. Objetivo.

El objetivo de este ensayo es identificar los tres tipos de procesos de ebullición que tiene lugar en el evaporador en función de la temperatura de la superficie calefactora.

12.4.1.2. Procedimiento de ensayo.

Para la realización de la práctica siga las siguientes instrucciones:

1. Conecte la Interface y ejecute el programa SACED, suministrado con el equipo.

2. Verifique que todas las conexiones tanto de agua como de los diferentes sensores estén perfectamente conectados.

12.4.1.2.1. Ebullición convectiva.

3. Aplique una pequeña potencia a la resistencia eléctrica (<20 vatios).

4. Abra el suministro de agua y ajústelo a un valor bajo.

5. Observe cuidadosamente el líquido que rodea a la resistencia. Se podrá observar corrientes de convección, y al mismo tiempo se verá que se recolecta líquido y gotea en los serpentines del condensador, indicándonos que la evaporación está ocurriendo pero a muy baja tasa.

12.4.1.2.2. Ebullición nucleada.

6. Aumente en incrementos de 20 en 20 los vatios dados a la resistencia.

7. Aumente el caudal de agua para mantener la presión de vapor constante.

8. En un momento dado se observará la ebullición nucleada y en seguida comenzará una ebullición vigorosa.

9. Verifique que la diferencia de temperatura entre la superficie calefactora y el líquido son pequeñas (< 20°C).

12.4.1.2.3 Ebullición de película.

10. Aumente la potencia eléctrica dada a la resistencia.

11. Cuando este alcance valores en torno a 300 vatios se producirá un cambio radical en el proceso de ebullición, observándose:

– Un incremento considerable de la diferencia de temperatura entre el metal y el líquido.

– Una reducción apreciable del proceso de ebullición lo cual nos llevará a una reducción del caudal de agua para mantener la presión constante en el condensador.

– En este punto, se debe reducir la transferencia de calor a unos 40 vatios.

– Examine la superficie de la superficie calefactora y observe como ésta está completamente envuelta por una capa de vapor y que es la causante de la pérdida de transferencia de calor.

– Reduzca el consumo de calor a cero. Cuando la diferencia entre la temperatura del líquido y la superficie caiga a 80°C, se producirá de repente la ebullición nucleada.

12.4.2. Práctica 2: Determinación del flujo térmico y el coeficiente de transferencia de calor superficial.

12.4.2.1. Objetivo.

El objetivo de este experimento es realizar una evaluación exacta de las condiciones críticas de la transición de la ebullición nucleada a la de película.

12.4.2.2. Procedimiento práctico.

El procedimiento de ensayo es parecido al realizado en el experimento anterior.

Es decir:

– Ajuste el consumo de calor de la resistencia a 50 vatios.

– Ajuste la tasa de flujo de agua del condensador hasta que se alcance la presión deseada.

– Anote los valores de temperatura de líquido, metal.

– Aumente el consumo de la resistencia hasta 100 vatios y regule el caudal de agua hasta que se obtenga nuevamente el valor de la presión.

– Cuando se produzca la transición de la ebullición nucleada a la ebullición de película, se puede realizar un control más riguroso del calor y determinar el punto exacto de transición.

– Recuerde que cuando se este en el régimen de ebullición de película, se debe reducir la potencia de la resistencia a 60 vatios.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para una presión de 1.25 bar.

Tabla 3: Resultados Obtenidos Para Una Presión De 1.25 bar.

Consumo Calor W	65	112	190	250	305	335	350	360	25	27	32	38
T. Líquido °C	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37
T. Metal °C	49	51	53	54	55	58	60	64	140	152	156	158

Fuente: Lecturas en el laboratorio

En donde:

Tabla 4: Resultados Obtenidos Para Una Presión De 1.25 bar.

F.térmico kW m ⁻²	36	62	106	139	169	186	194	200	14	15	18	21
ΔT °C	12	14	15	16	17	20	22	26	102	114	118	121
C.transferencia kW m ⁻² K ⁻¹	3.01	4.44	7.04	8.68	9.97	9.31	8.84	7.69	0.14	0.13	0.15	0.17

Fuente: Lecturas en el laboratorio

12.4.3. Práctica 3: Efecto de la presión sobre el flujo térmico crítico.

12.4.3.1. Objetivo

El objetivo del experimento es estudiar el efecto que tiene la presión de saturación con el calor necesario para la transición de la ebullición por nucleada a la ebullición de película.

12.4.3.2. Procedimiento

El procedimiento para la realización de este experimento es igual al descrito en la anterior práctica pero mediante un ajuste fino de la potencia entregada a la resistencia y mediante el control del caudal de agua regular la presión del condensador.

En la siguiente tabla se muestran algunos resultados ilustrativos del calor necesario para la transición en función de la presión del condensador.

Tabla 5: resultados del calor necesario en función de la presión del condensador.

Presión (kN m ⁻²)	65	80	100	125	150	175	200	225	250
Consumo de calor W	335	350	360	370	385	400	415	428	435
Flujo crítico W	186	194	200	206	214	222	231	238	242

Fuente: Lecturas en el laboratorio

12.4.4. Práctica 4: Condensación de película.

12.4.4.1. Objetivo.

El objetivo de este ensayo es estudiar el efecto que produce la condensación por película en el condensador.

12.4.4.2. Procedimiento

Para la realización del ensayo se realizaran los siguientes pasos:

- Fije una potencia para la resistencia calefactora.
- Fije un caudal de agua y espere hasta que se estabilice el sistema alcanzando una presión dada.
- Complete la siguiente tabla, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$Q = m_a C_v (T_{a,sal} - T_{a,ent})$$

Donde $T_{a,sal}$ es la temperatura del agua a la salida del serpentín, y $T_{a,ent}$ es la temperatura del agua a la entrada. CV corresponde al calor latente del agua

(4180 J/kg °C) y m_a es la masa de agua que circula por el serpentín (kg/s)

$$\Delta Q = Q_R - Q$$

$\Phi_m = [(T_s - T_{a,sal}) - (T_s - T_{a,ent})] / \log[(T_s - T_{a,sal}) / (T_s - T_{a,ent})]$ donde T_s corresponde a la temperatura de saturación del refrigerante.

$$U = Q / A \cdot \Phi_m$$

Donde A es el área efectiva de intercambio del condensador y Φ_m la media logarítmica de la diferencia térmica.

Tabla 6: Efecto producido de condensación por película en el condensador.

Q_R	M_a gr. s ⁻¹	$T_{a, ent.}$ °C	$T_{a, sal}$ °C	T_s °C	Q W	ΔQ	$T_s - T_{a, ent}$	$T_s - T_{a, sal}$	ϕ_m	U
124	5.5	20.5	25.0	29	104	20	8.5	4.0	6.0	542

Fuente: Lecturas en el laboratorio

12.4.4.3. Ejemplo práctico.

En el siguiente ejemplo se indica el procedimiento de cálculo a seguir para la determinación del coeficiente general de transferencia de calor. Las condiciones estables del experimento son:

$T_s=29$ °C, $T_{a,ent}= 20.5$ °C, $T_{a,sal}=25.0$ °C con un caudal de agua de 0.5l/min y una potencia suministrada a la resistencia de 200 W.

En primer lugar determinamos la masa de agua que circula por el serpentín:

$$m[\text{gr/s}] = 0.5[\text{l/min}] \cdot 1000 [\text{gr/l}] \cdot 1/60 [\text{min/s}] = 500/60 \text{ gr/s} = 8.33 \text{ gr/s}.$$

Se determina la tasa de transferencia de calor en el serpentín:

$$Q_a = m \cdot C_v \cdot (T_{a,sal} - T_{a,ent}) = 8,33 \times 10^{-3} \times 4180 \times (25,0 - 20,5) = 156.75 \text{ W}.$$

A la resistencia se le suministra una tasa de calor de 200W, por lo tanto la tasa de calor transferida al medio será por diferencia:

$$Q_{aire} = Q_{Resistencia} - Q_a = 200 - 156.75 = 43.25 \text{ W}.$$

Se determina el gradiente térmico medio a lo largo del serpentín. Para determinar un valor medio, se hace uso de la media logarítmica a lo largo del serpentín, es decir:

$$\phi_m = [(T_s - T_{a,sal}) - (T_s - T_{a,ent})] / \log[(T_s - T_{a,sal}) / (T_s - T_{a,ent})]$$

$$\phi_m = (8.5 - 4,0) / \ln(8.5/4.0) = 6.0 \text{ °C}.$$

El coeficiente general de transferencia de calor viene dado por:

$$U = Q_a / (\phi_m \times A_{serpentín}) = 156.75 / (6.0 \times 0.043) = 607.55 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$$

12.4.5. Práctica 5: Demostración del arrastre de líquido por el vapor.

12.4.5.1. Objetivo.

El objetivo del ensayo es demostrar en qué condiciones se producen el arrastre de líquido por el vapor.

Este fenómeno, llamado “priming”, se puede producir cuando el sistema está trabajando a unas presiones inferiores a las que fue diseñado ó debido a que se produce una fuerte demanda de calor en un corto periodo de tiempo. Mediante el equipo TCEC desarrollado por EDIBON,S.A. el alumno puede observar y experimentar ambas condiciones.

7.4.5.2 Procedimiento.

12.4.5.2.1. Trabajando a bajas presiones.

Ponga a funcionar el equipo suministrando una potencia de 200 W a la resistencia calefactora.

Abra completamente la válvula reguladora del caudal de agua.

En estas condiciones, la presión medida en el condensador debe ser relativamente baja, dando lugar a una fuerte ebullición nucleada.

En estas condiciones, el estudiante puede observar cómo se produce turbulencias, y un fuerte arrastre de líquido por el vapor.

A continuación, disminuya el caudal de agua. La presión se incrementará y la ebullición nucleada disminuirá rápidamente. Se puede observar como aumenta la densidad del vapor.

12.4.5.2.2 Efecto de una fuerte demanda de calor.

Partiendo de las condiciones anteriores, se incrementa bruscamente el caudal de agua, simulando una fuerte demanda de calor. La brusca bajada de presión que se produce en el condensador, conlleva a un incremento brusco de la ebullición nucleada y en consecuencia de un arrastre de líquido por parte del vapor.

12.4.6. Práctica 6: Relación entre la presión y la temperatura.

12.4.6.1. Objetivo.

El objeto de este experimento es establecer la relación entre la presión y la temperatura de saturación de una sustancia pura.

12.4.6.2. Procedimiento.

El experimento se realizará en el sentido de subida de presión y no de bajada.

Si se realizara el experimento con una bajada de presión, la medida de temperatura indicada en el evaporador será mayor que la del vapor circulante debido a su inercia térmica.

Para la realización del experimento siga los siguientes pasos:

- 1.- Abra la válvula reguladora del caudal de agua al máximo.
- 2.- Seleccione una potencia para la resistencia de 200 W.
- 3.- Deje que el sistema se estabilice y cuando las condiciones sean estables anote los valores de presión y temperatura.
- 4.- Reduzca el caudal de agua. La presión aumentará. Espere a que se estabilicen nuevamente las condiciones del sistema y anote la presión y la temperatura.
- 5.- Complete la siguiente tabla.

Tabla 7: Sentido de Subida De Presión.

Caudal de Agua l/min	Temperatura Eva- porador °C	Presión del evapo- rador (bar)
6.0		
5.0		
4.0		
3.0		
2.0		
1.0		

Fuente: Lecturas en el laboratorio

6.- Represente sobre una misma gráfica los resultados obtenidos con aire y sin aire para las mismas condiciones experimentales

7.- Repita el experimento para diferentes cantidades de aire.

7.4.7.2.Purga del aire de la instalación.

Una vez hayamos finalizado el experimento, debemos extraer el aire de la instalación. Para ello se realizará los siguientes pasos:

1. Seleccione un caudal de agua de 2 a 3 l/min.
2. Seleccione una potencia de 200W para la resistencia.
3. Cuando el sistema está estable, la presión en el evaporador debe ser superior a la atmosférica. En estas condiciones, abra la válvula de purga.

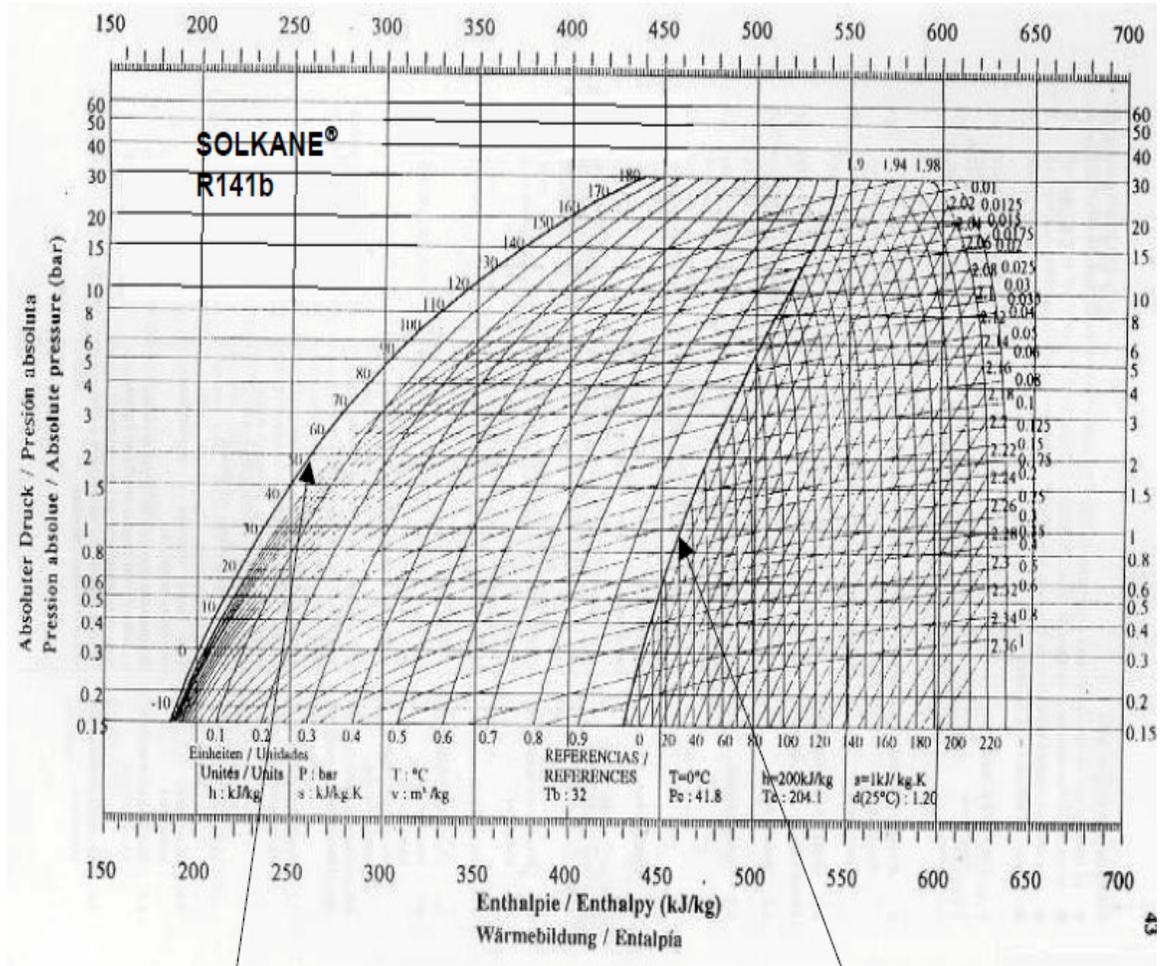
La alta presión creada en el evaporador extraerá tanto el aire como el vapor del refrigerante.

4. Cierre la válvula de purga. Deje nuevamente al sistema que alcance las condiciones de equilibrio. Estas nuevas condiciones deben estar próximas a las obtenidas en los experimentos anteriores y alejadas de las obtenidas inicialmente en este ensayo.

12.5. APÉNDICE

12.5.1. Apéndice A: Presión absoluta/Entalpía.

Figura 21: Presión absoluta/Entalpía.



Saturated Liquid line/ Línea de líquido saturado

Saturated Vapour Line/ Línea de vapor saturado

Fuente: EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-12, Agosto 2012.

12.5.2. Apéndice B: Gráficos con datos físicos útiles para el refrigerante SES-36.

Producto-Descripción

Fluido termodinámico.

Mezcla azeotrópica.

Líquido a temperatura ambiente.

Líquido operante para ciclos termodinámicos.

Propiedades favorables fisiológica y toxicológicamente.

Térmica y químicamente estable.

No inflamable.

Excelentes propiedades dieléctricas.

Excelente compatibilidad material.

Aplicaciones

Enfriamiento por contacto directo.

Canalización de calor.

Ciclos ORC.

Fluido de transmisión de calor.

Pompa de calor de alta temperatura.

12.5.3. Propiedades Físicas.

Tabla 8 Propiedades Termodinámica Del Agua.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AGUA A LA PRESION DE SATURACION

T ^a [°C]	Densidad ρ [kg/m ³]	Calor específico cp [kJ/kgK]	Conductiv. térmica k [W/m K]	Difusivid. Térmica α *10 ⁶ [m ² /s]	Viscosidad absoluta μ *10 ⁶ [Ns/m ²]	Viscosidad cinemát v *10 ⁶ [m ² /s]	Número de Prandtl Pr
0	999,3	4,23	0,56	0,13	1.794	1,79	13.7
20	998,2	4,18	0,6	0,14	993	1,01	7.0
40	992,2	4,18	0,63	0,15	658	0,66	4.5
60	983,2	4,18	0,66	0,16	472	0,48	3.0
80	971,6	4,19	0,67	0,17	352	0,36	2.25
100	958,4	4,21	0,68	0,17	278	0,29	1.75

Fuente: EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-12, Agosto 2012.

Tabla 9 Propiedades Físicas

Peso molecular medio	Kg/Kmol	184.5
Deslizamiento	°C	0
Punto de ebullición a 1.013 bar	°C	35.6
Temperatura crítica	°C	177.6
Presión crítica	Bar	28.5
Densidad líquida (saturado)*	Kg/m³	1365.4
Densidad vapor (saturado)*	Kg/m³	5.3
Calor de vaporización*	KJ/Kg	129.2
Capacidad específica de calor (Líquido)*	KJ/kg K	1.21
Volumen de resistividad*	Ω cm	5.10⁸
Constante dieléctrica*		6.9
* a 25°C		

Fuente: EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-12, Agosto 2012.

12.5.4. Apéndice C: Propiedades del R141b.

Nombre químico:	1,1 Dicloro-1-Fluoroetano.
Fórmula química:	CCl ₂ F-CH ₃
Número CAS:	1717-00-6
Peso molecular:	116.9
Punto de ebullición:	31.7 °C
Punto de fusión:	-103°C.
Temperatura crítica:	208.3 °C
Presión crítica:	4400 kPa.
Densidad del líquido	
A 20 °C:	1.27 g/cm ³
Densidad del líquido	
A 50 °C:	1.18 g/cm ³ .
Calor de Evaporación:	225 kJ/Kg.
Viscosidad del Líquido	
A -20 °C:	0.44 mPa. S
Inflamabilidad nula.	
Temperatura de ignición:	550 °C.
Límite mínimo de explosión	
% en volumen en el aire:	17.7
Conductividad térmica:	0.0095 W/mK.

13.CALIBRACIÓN.

13.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente contenido se realiza una breve explicación del fundamento de la calibración de los sensores, así como el procedimiento requerido para su realización.

Es bien sabido que el avance tecnológico de los últimos años ha transformado el concepto de control de cualquier máquina o industria, para el que no hace muchos años se requería la presencia de un técnico cualificado. Hoy el enorme avance de la electrónica en su conjunto (ordenadores, comunicación, etc.) permite el control de toda una planta desde un solo punto control.

A escala didáctica, esta evolución se ha traducido en la presencia cada vez más importante del ordenador en los laboratorios de prácticas. Pequeñas máquinas controladas por ordenador pretenden simular las enormes plantas industriales totalmente automatizadas. En estos casos, nuestro ordenador y el software de control corresponderían con el equivalente a la sala de control de la hipotética planta.

Un control automatizado es posible gracias a los llamados “transductores” o “sensores” colocados a lo largo del proceso que se pretende controlar. Estos sensores permiten transformar una señal “física ó química” en una señal eléctrica estableciendo una relación “lineal” entre la intensidad de la señal eléctrica y la intensidad de la magnitud física.

13.2. TIPOS DE SENSORES.

Como se ha dicho anteriormente, un transductor es un dispositivo capaz de transformar una magnitud física en una señal eléctrica (corriente, tensión, frecuencia, etc.). Los mecanismos utilizados para obtener ésta relación son muchos y variados, teniendo actualmente una infinidad de diferentes sensores con diferentes principios operacionales. Pero podemos afirmar que en todos ellos se pretende obtener una respuesta lineal a la magnitud física medida, tener una baja histéresis y ser estables en un amplio rango de temperaturas. En la siguiente tabla se da una relación de los sensores utilizados en los equipos desarrollados

por EDIBON,S.A. Si su equipo esta automatizado, se tendrá uno de los siguientes sensores instalados en su equipo.

Tabla 10: Sensores instalado del equipo.

Magnitud Física	Tipo de Sensor Utilizado
Presión	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sensor a base de Galgas tensiométricas (baja presión). ■ Sensores piezoeléctricos (altas presiones).
Caudal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sensor de Presión diferencial. ■ Rotámetros. ■ Variaciones de Nivel.
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sensores tipo J ■ Sensores tipo K ■ Termoresistencias
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> ■ Higrómetros ■ Dos sensores de temperatura en ambiente húmedo-saturación y seco más tabla psicométrica.
Acidez Ph	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sensores de Ph.
Control de Posición	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sensores Inductivos ■ Capacitivos
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Motores servos.
Magnetismo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sonda Hall
Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tacodimámos ■ Inductivos
Masa	<ul style="list-style-type: none"> ■ Células de Carga

Fuente: EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-12, Agosto 2012.

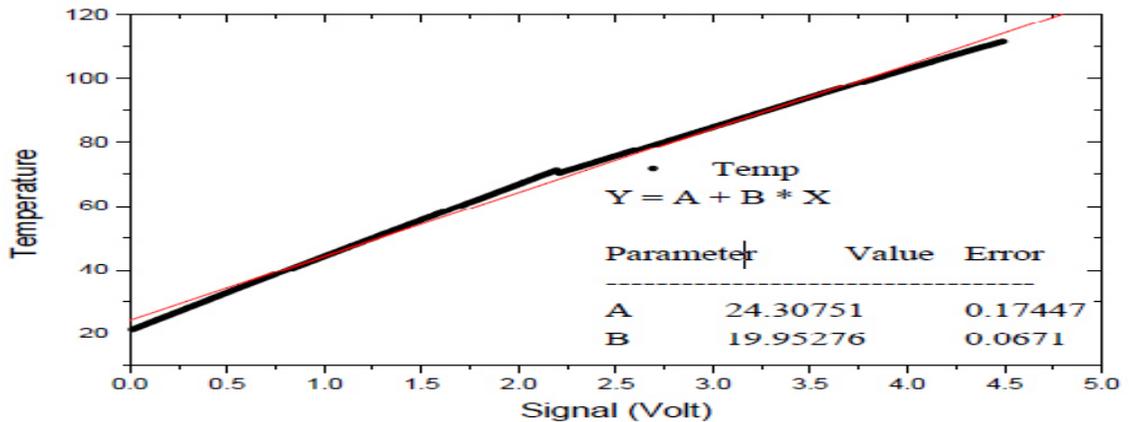
En la tabla anterior están indicados los sensores más utilizados, ya que la lista de sensores que actualmente dispone la industria es enorme, llegando a afirmar que para cada magnitud a controlar existen varios sensores en el mercado

13.3. FUNDAMENTOS DE LA CALIBRACIÓN.

Como hemos indicado anteriormente, la señal eléctrica generada por el sensor son transformadas mediante tarjetas acondicionadoras a una tensión en voltios capaz de ser interpretada por el ordenador (tarjeta de adquisición) ó en su defecto a indicadores digitales (“display”). Esta señal eléctrica en sí misma no tiene

ningún significado si no está relacionada con una magnitud física. Es esta relación entre la señal eléctrica y la magnitud física el fundamento de la calibración.

Figura 22: Grafica Temperatura vs Señal Eléctrica.



Fuente: Lecturas en el laboratorio.

Por lo tanto, la calibración consiste en tener un método alternativo que permita relacionar la señal eléctrica con la medida física. Por ejemplo, si pretendemos calibrar un sensor de temperatura debemos disponer de un termómetro de mercurio que no proporcione la temperatura y relacionar esta medida con la señal proporcionada por el sensor.

Tomando distintas medidas de temperatura y su correspondiente señal en voltios, realizaremos una representación como la ilustrada en la figura anterior para obtener una relación lineal, es decir obtener los valores de A y de B. Mediante este sencillo procedimiento, una señal eléctrica se la hace corresponder con una señal térmica. Debemos entender que la base de un buen funcionamiento de una planta industrial automatizada se debe en gran medida al ajuste o calibración que se haya realizado con los sensores. Una misma señal eléctrica puede corresponder con distintas temperaturas en función de los valores de las constantes A y B. Por ello, es importante esforzarse en obtener buenos valores de A y B. Periódicamente se deben realizar verificaciones del comportamiento de los sensores. La fatiga o el uso prolongado pueden alterar sensiblemente los valores de A y B que deben ser modificados para reajustar la señal eléctrica con la magnitud física.

Hasta ahora hemos supuesto que la relación entre la señal eléctrica y la magnitud física es lineal, es decir solo es necesario determinar los parámetros A y B. En ocasiones los sensores pueden tener un comportamiento lineal en un rango y un comportamiento que se aleja de la linealidad en otro. En estos casos la calibración del sensor debe realizarse mediante un ajuste de un polinomio de grado superior.

Para finalizar con la calibración, debemos hacer referencia con la reproducibilidad de las señales proporcionadas por el sensor. El parámetro que tiene en cuenta las diferencias entre un proceso ascendente y un proceso descendente, por ejemplo de la temperatura, es la curva de histéresis del sensor. En la siguiente figura se muestra la curva de histéresis de un sensor de presión.

Insertar gráfica de la UCP-P, Sensor de presión.

Como podemos apreciar, la señal proporcionada por el sensor en un proceso ascendente de presión no es igual a la señal obtenida en un proceso descendente. Podemos afirmar a la vista de la figura, que el comportamiento de un sensor será mejor cuanto más estrecha sea la curva de histéresis; es decir, menos diferencias existan entre la señal ascendente y descendente.

13.4. PROCESO DE CALIBRACIÓN - SACED

La experiencia acumulada en más de 10 años de manufactura de equipos didácticos controlados por ordenador nos ha llevado a crear el sistema SACED. Este control y su software de adquisición permite una fácil calibración de todos los sensores de su equipo. Por supuesto, todos los equipos manufacturados por EDIBON, S.A. han sido calibrados antes de ser enviados. De todos modos se recomienda, para un buen proceso de producción, (desde un punto de vista didáctico) que sus estudiantes calibren el equipo antes de usarlo. Así se simula el proceso a seguir según las normas de operación con una máquina automatizada.

Figura 23 Simula del proceso de operación Scad.



Fuente: Lecturas en el laboratorio.

La calibración de los sensores puede llevarse a cabo con el programa SACED. Ejecute el programa SACED, y seleccione la opción “CALIBRATION”.

Como debe haber visto, el programa tiene dos contraseñas diferentes que permiten distintos niveles de acceso al sistema. La “Instructor password” está indicada en el SerialNumber.txt file. Este archivo incluido en el CD que acompaña al equipo.

Para llevar a cabo el proceso de calibración, la contraseña del profesor debe introducirse, permitiéndole el acceso a opciones que no se les permiten a los alumnos. Del menú principal seleccione la opción “Calibración”. (Para más información en el campo de las ventanas del programa SACED véase el Manual del Software).

Los pasos a seguir, por ejemplo, para la calibración del sensor de temperatura T1 que va a través del canal 0 de la tarjeta, son los siguientes:

- 1.- Elija del menú desplegable la primera opción “Edit Existing File”, esto cargará el archivo que contiene la calibración del sistema.
- 2.- Seleccione el canal en el que va a llevar a cabo la calibración. (El nombre, ganancia y offset de este canal aparecen en los campos apropiados).

3.- Hay dos campos etiquetados: Voltaje y Calibrado. El campo de voltaje indicará el voltaje actual leído por la tarjeta, mientras los campos de calibrado indican el calor de los tiempos de voltaje, el aumento de ganancia y el offset.

4.- Seleccione "Points to Average" de 100 puntos, para que la lectura sea estable.

5.- Esta señal en voltios corresponde al valor de una medida física que debería ser medida por un procedimiento alternativo, en nuestro caso, con un termómetro de mercurio localizado junto a nuestro sensor. De esta forma podemos establecer la relación entre la señal eléctrica y el valor físico. Anote los valores en voltios que proceden del sensor y los valores de la magnitud física ya medida por un segundo sensor ya calibrado, y así completar la siguiente tabla.

Tabla 11 Lecturas de voltajes y medida del valor físico.

Voltaje en voltios	Medida del Valor Físico (°C)
0.297	14
0.867	42

Fuente: Lecturas en el laboratorio.

6.- Si asumimos que el comportamiento del sensor es lineal solo será necesario tomar dos valores de temperatura con su correspondiente señal en voltios. Si, por otro lado, creemos que el comportamiento no es lineal, será conveniente recabar más datos para hacer un ajuste a un nivel superior.

7.- Si asumimos un comportamiento lineal como válido, hay una sencilla herramienta para computar la ganancia y offset. Usando esta herramienta se exportaran los valores correspondientes a cada campo.

Introduzca las cifras (Voltaje, señal) en el campo correspondiente, después presione ENTER. Repita el proceso tantas veces como puntos quiera conseguir. Tras introducir el último punto (habiendo presionado

ENTER), haga clic en DONE para computar la ganancia y offset y ver la curva en la pantalla.

8.- Haga clic en Finish cuando quiera exportar los valores de ganancia y offset en sus campos correspondientes.

9.- Repita los pasos anteriores para todos los sensores que tenga su equipo.

Tabla 12:Lecturas de Sensores.

Sensor	V1 (Volt)	S1 (° C)	V2 (Volt)	S2 (° C)
T1	0.297	14	0.867	42
T2	0.276	13	0.833	40
T3	0.237	13	0.799	40
T4	0.224	13	0.774	40

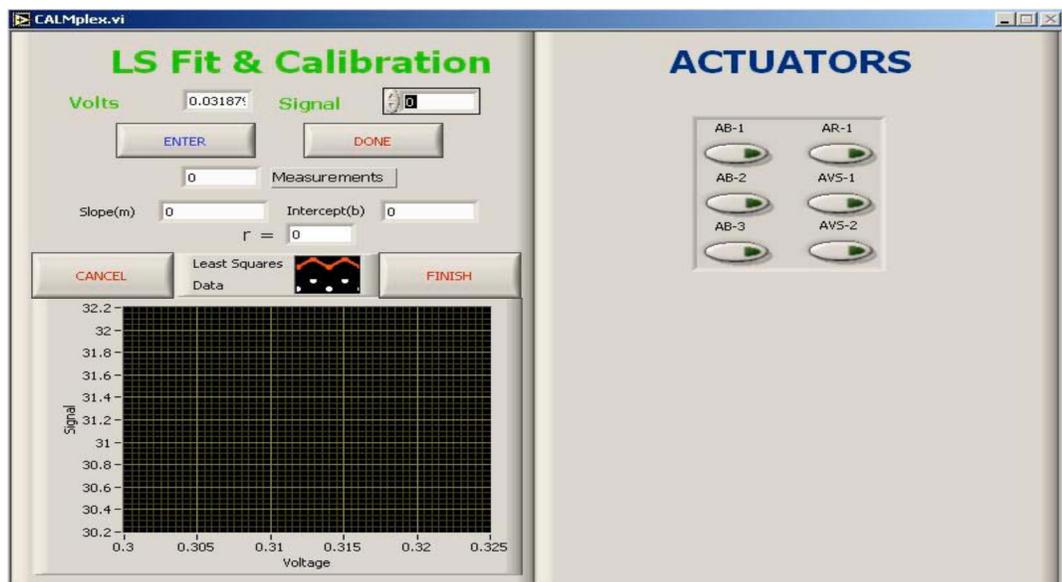
Fuente: Lecturas en el laboratorio.

10.- EL valor no cambiara in el archivo hasta que no se presione ENTER.

11. Al termina presione SAVE & EXIT y se guardará el archivo.

EN otros casos (como en el equipo EDPAC), al presionar el botón “LS Fit

Figura 24: Calibración De Actuadores.



Fuente: Lecturas en el laboratorio.

Cuando por ejemplo, para un sensor de temperatura ST-5, se le cambia su temperatura a 0°C usando hielo, en ese momento se pueden leer los voltios obtenidos en la pantalla. Luego escriba el valor de la temperatura (0°C en este caso) en la casilla "Signal" y presione "ENTER", de esta forma se guarda el primer punto del sensor.

Tras el cambio de condiciones, por ejemplo, con agua hirviendo, y luego de la misma forma se lee el voltaje para 100°C, escriba el valor de la temperatura (100°C) ahora en la casilla "Signal" y presione "ENTER". Con dos puntos ya introducidos, el botón "DONE" está activado. Haga clic en DONE y así se registrarán las ganancias y el offset y la gráfica de los puntos en el despliegue linear. Presione FINISH cuando se hayan introducido todos los valores de calibración, se exportaran la ganancia y el offset a la ventana de calibración.

14. PRACTICAS SIMULINK MATLAB

Determinación del flujo térmico y el coeficiente de transferencia de calor superficial.

Objetivo.

El objetivo de este experimento es realizar una evaluación exacta de las condiciones críticas de la transición de la ebullición nucleada a la de película.

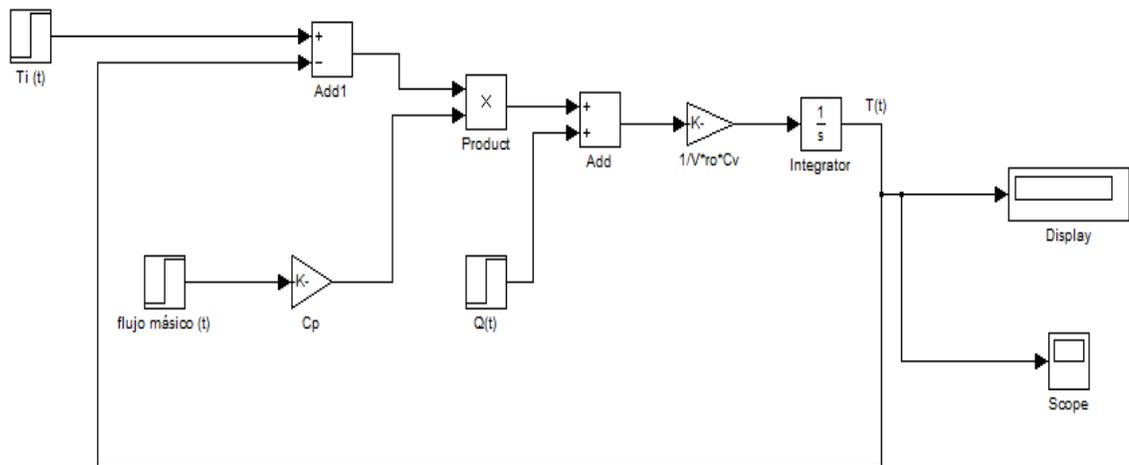
Se realizaron diferentes simulaciones variando los parámetros más importantes para analizar el comportamiento del sistema.

Tabla 3: Resultados Obtenidos Para Una Presión De 1.25 bar.

Consumo Calor W	65	112	190	250	305	335	350	360	25	27	32	38
T. Líquido °C	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37
T. Metal °C	49	51	53	54	55	58	60	64	140	152	156	158

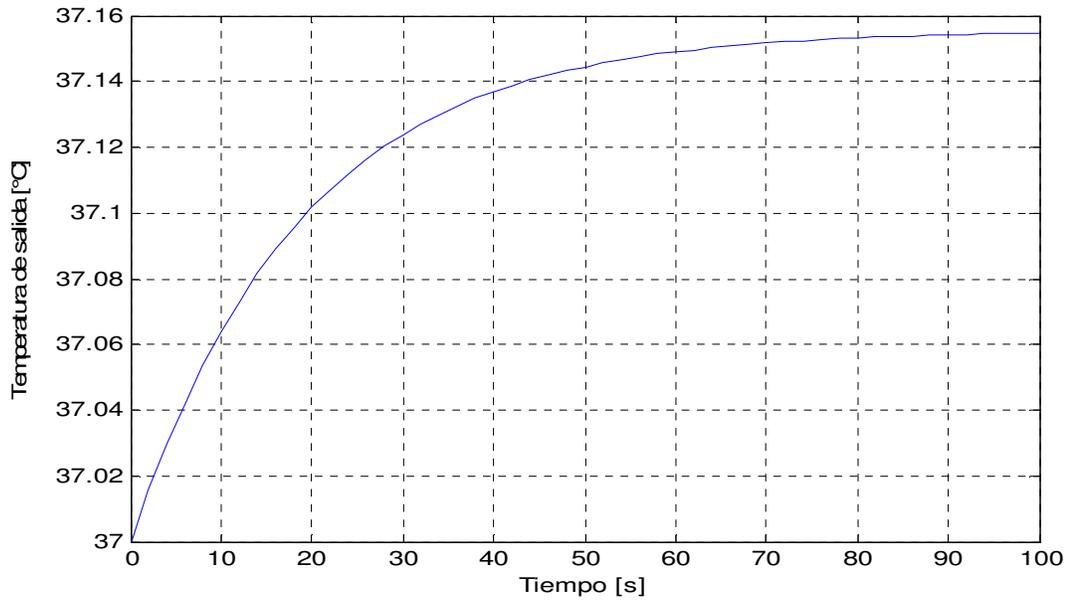
Fuente: Lecturas en el laboratorio

Figura 25: Controladores



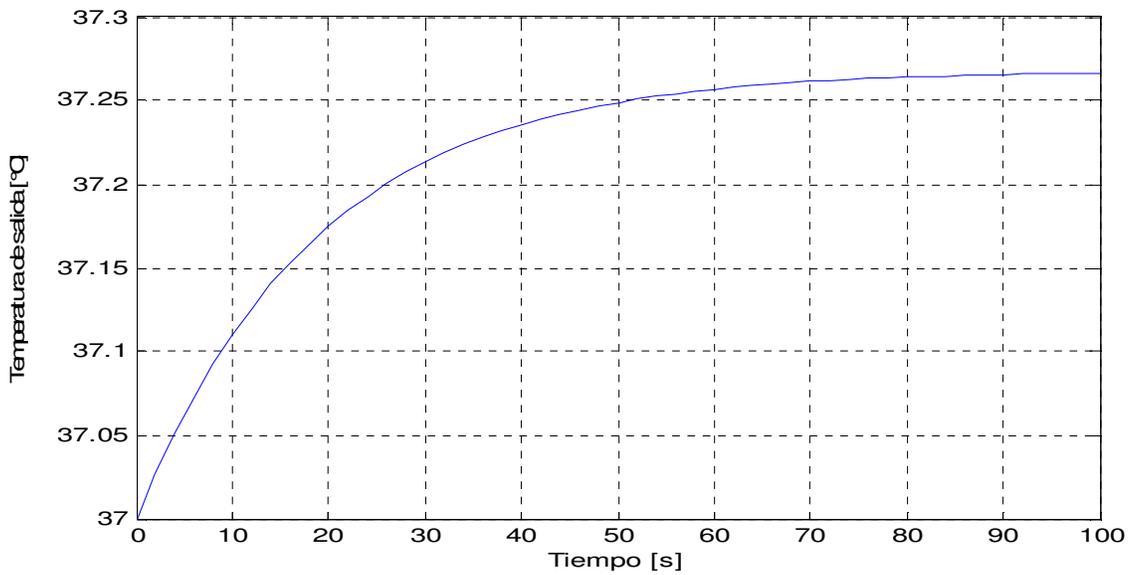
Fuente: Simulink Matlab

Figura 26: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 65W, \dot{m} = 0.1kg/s$



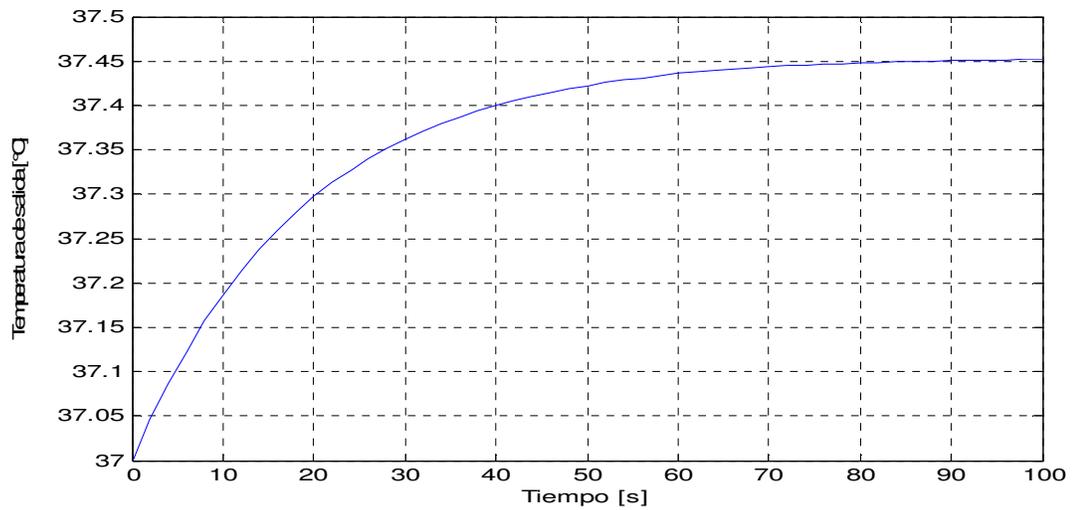
Fuente: Simulink Matlab

Figura 27: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 112W, \dot{m} = 0.1kg/s$



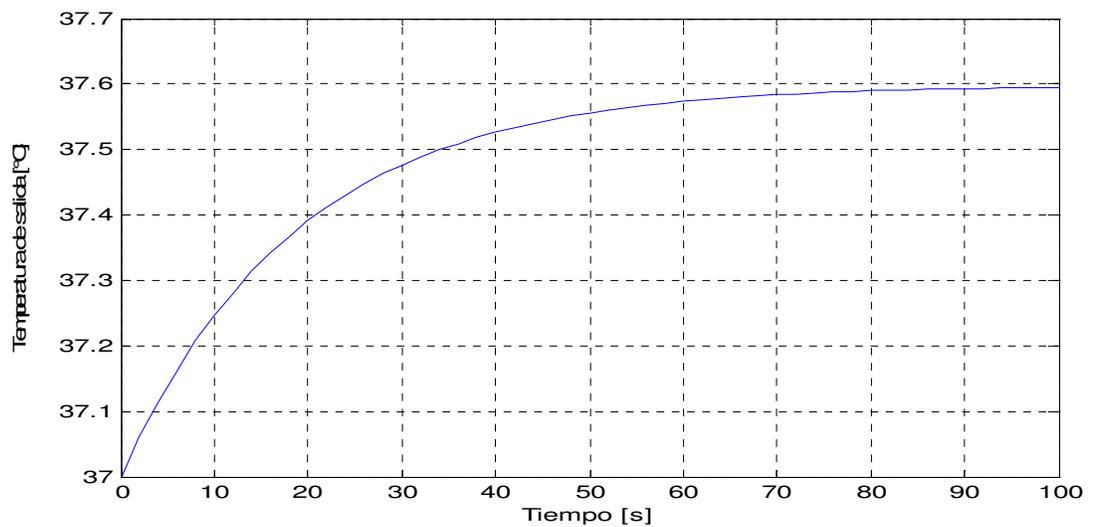
Fuente: Simulink Matlab

Figura 28: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 190W, \dot{m} = 0.1kg/s$



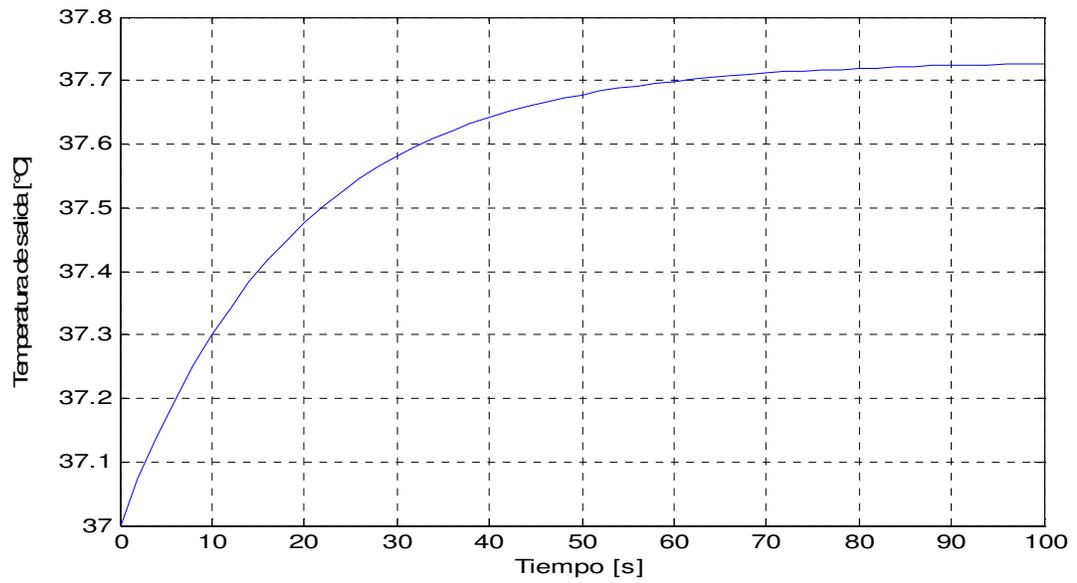
Fuente: Simulink Matlab

Figura 29: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 250W, \dot{m} = 0.1kg/s$



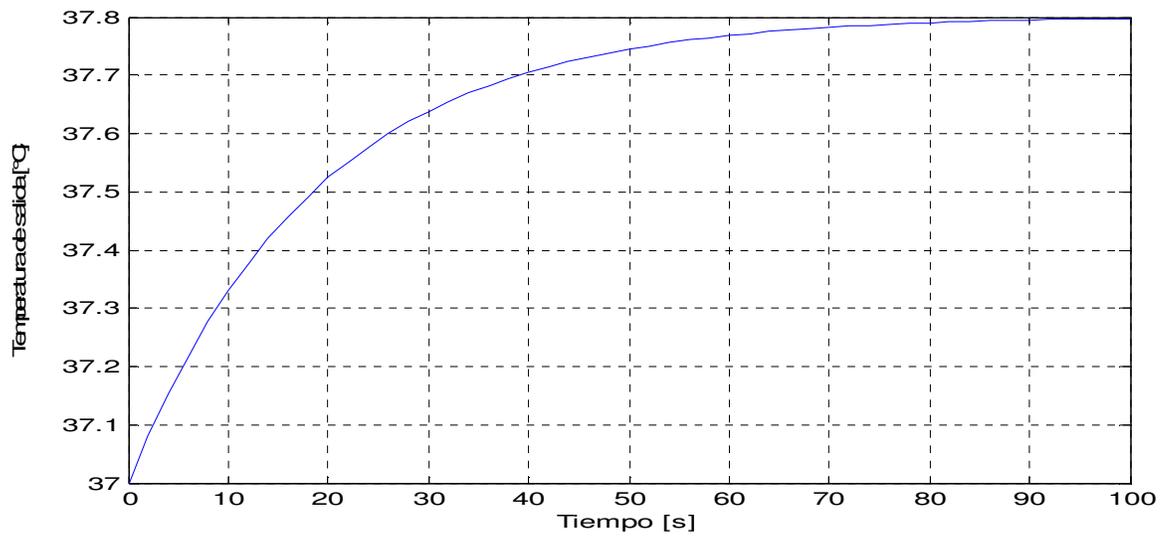
Fuente: Simulink Matlab

Figura 30: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 305W, \dot{m} = 0.1kg/s$



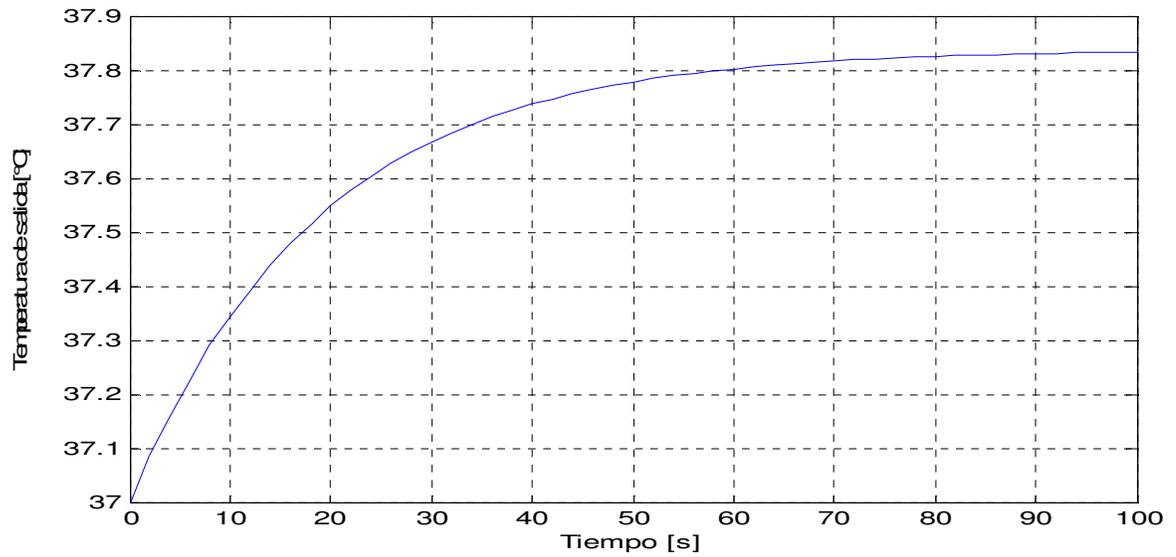
Fuente: Simulink Matlab

Figura 31: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 335W, \dot{m} = 0.1kg/s$



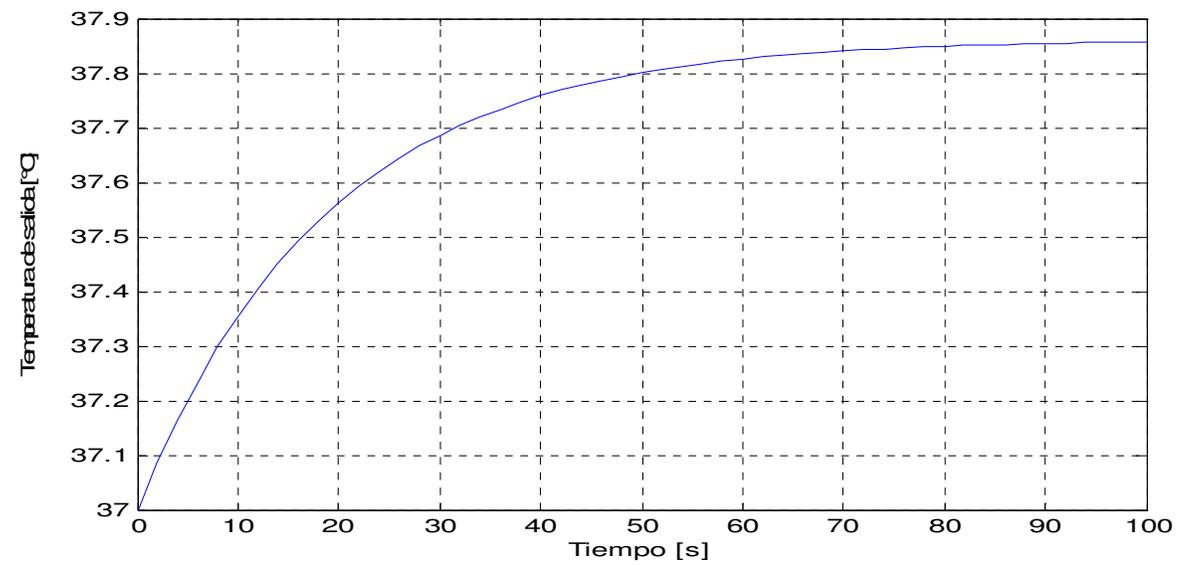
Fuente: Simulink Matlab

Figura 32: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 350W, \dot{m} = 0.1kg/s$



Fuente: Simulink Matlab

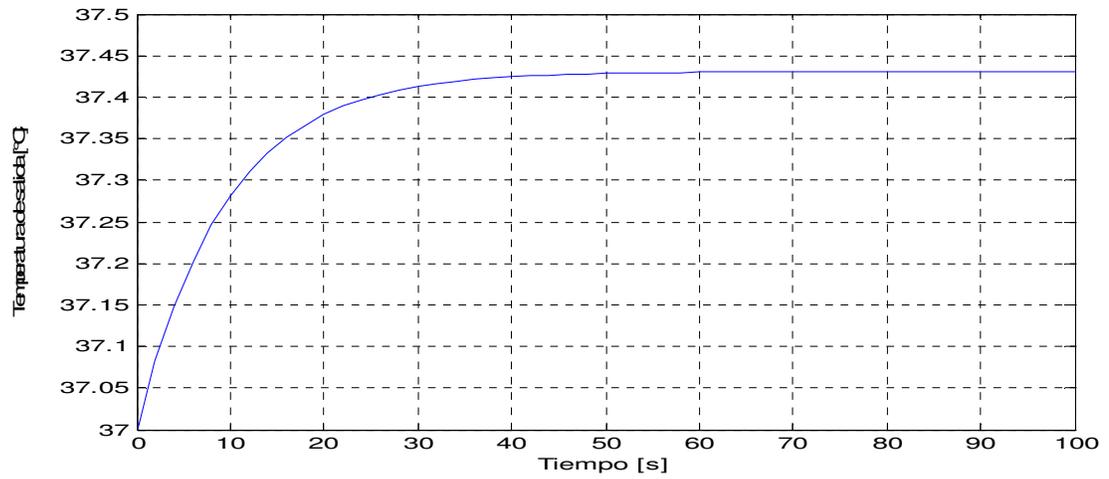
Figura 33: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 360W, \dot{m} = 0.1kg/s$



Fuente: Simulink Matlab

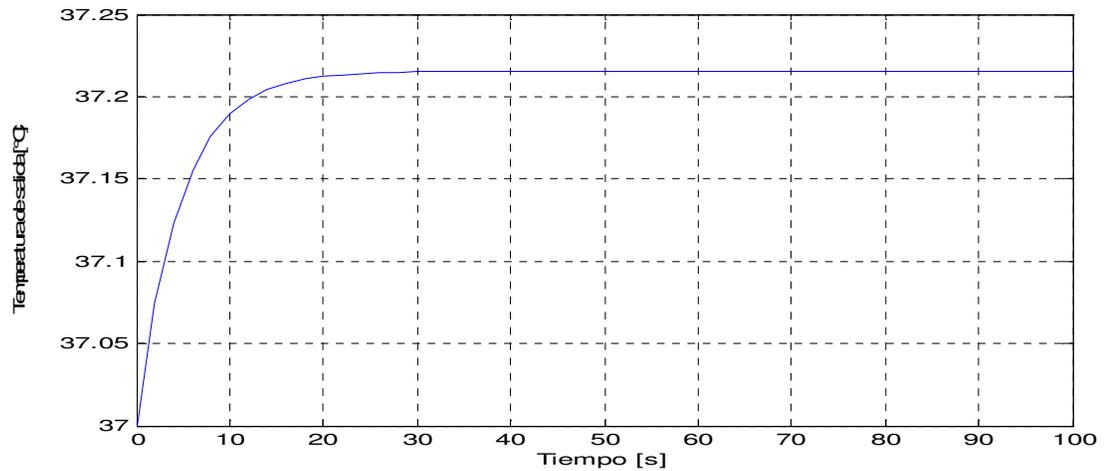
Aumentando el flujo másico y manteniendo el flujo de calor constante

Figura 34: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 360W, \dot{m} = 0.2kg/s$



Fuente: Simulink Matlab

Figura 35: Temperatura de salida VS Tiempo: $Q = 360W, \dot{m} = 0.4kg/s$



Fuente: Simulink Matlab

15. CONCLUSIONES

Luego de realizar satisfactoriamente el proceso de caracterización experimental del equipo para el estudio de los fenómenos de ebullición y condensación del laboratorio de plantas térmica (TCEC), y analizando los datos podemos identificar las características de manejo del equipo y sus componentes, así también como los parámetros que se pueden manejar en estos equipos llegando a las siguientes conclusiones:

- El montaje de las pruebas fue acordado aplicando las normas de seguridad, ya que es la parte principal para realizar dichos ensayos.
- En este documento se encuentra una guía en el cual se muestran los pasos a seguir para realizar este tipo de pruebas basados en experimentos ya realizados.
- Aplicando y utilizando el uso de las herramientas del software, se observó que el tiempo de estabilización de las temperaturas a través del tiempo al variar el caudal de entrada agua y salida de la misma temperaturas (tanto del fluido frío como del fluido caliente) está entre los 30 y 50 segundos.
- Para este equipo TCEC se pudo notar que al incrementar la temperatura entre los rangos de (10-20-30-40°C), no hubo un cambio significativo en la efectividad del sistema, debido a que la diferencia de temperaturas no afecta drásticamente en el mismo.
- Es necesario realizar ensayos preliminares para hallar la corriente apropiada entre el electrodo de referencia y el de trabajo cuyo valor nos ayudara a saber cuál rango de voltaje es el apropiado para trabajar.
- La importancia de los datos obtenidos radica en que sirven de base para el cálculo de futuras experiencias, este es un equipo que contribuye al aprendizaje de los estudiantes a identificar los diferentes fenómenos ya estudiados.

16. RECOMENDACIONES

- Se recomienda desocupar los tramos de tuberías, cilindro y otros electos en lo posible no dejar agua dentro de los mismos después de cada experiencia.
- No exceder la temperatura de operación limite recomendada por el fabricante en el depósito de agua caliente.
- No realizar experiencias que expongan el equipo a periodos de operación demasiados extensos ya que esto provoca el recalentamiento de afecta la efectividad de la mismas variando los datos de muestra.
- Investigar o implementar una solución para la reutilización del agua, puede ser por medio de un depósito para esta agua que garantice que la temperatura es la adecuada para recircular por el sistema o con la utilización del banco de ensayos de torre de enfriamiento, utilizar esta agua para realizar esta prueba también.

17. OBSERVACIONES

- Existen problemas de transcripción en los manuales de prácticas de los equipos, por lo tanto hay que tener precaución al momento de tomarlos como guía u objeto de estudio o capacitación para no incurrir en errores.
- La unidad de servicio TCEC no se debe someter a largas periodos de trabajo debido a que tiende a recalentarse (por operación y por el fluido de trabajo). Luego de exceder su tiempo de trabajo, el caudal de operación asignado con los actuadores del software decrece limitando el equipo a condiciones de operatividad no mayores a $SC-1 = 2 - 2,2 \text{ L/min}$.
- Actualmente el agua que se utiliza viene directamente del servicio público a través de un llave y esta a su vez luego de pasar por la tubería va directamente al desagüe, con lo cual se desperdicia demasiada agua aumentando el costo de funcionamiento de los equipos. Se podría tener en cuenta el diseño de un depósito de agua fría para el recirculamiento de la misma o la utilización de la torre de enfriamiento como elemento para reutilizar el agua que sale del intercambiador de calor.
- No se realizó la práctica con el fluido caliente por la tubería para evitar daños en el material, debido a la variación de temperaturas.

18. BIBLIOGRAFIA

- <http://www.edibon.com/>
- www.edibon.com/products/catalogues/es/CAI.pdf
- www.edibon.com/products/catalogues/es/FSS.pdf
- www.edibon.com/products/catalogues/es/CAL.pdf
- www.edibon.com/products/catalogues/es/Mini-ESN.pdf
- [Www.edibon.com/products/catalogues/es/units/thermodynamicsthermotechnics/esn-thermodynamics/ESN-THERMODYNAMICS.pdf](http://www.edibon.com/products/catalogues/es/units/thermodynamicsthermotechnics/esn-thermodynamics/ESN-THERMODYNAMICS.pdf)
- EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-09, EDO1-10, Agosto 2010.
- [http://www.edibon.com/products/?area=thermodynamicsthermotechnics&subarea=heatexchange.](http://www.edibon.com/products/?area=thermodynamicsthermotechnics&subarea=heatexchange)
- A.F.MILLS - Transferencia de calor –Mc Graw Hill
- Simulink Matlab