

# **Diseño y construcción de un sistema de vacío, para prácticas de laboratorio de termodinámica en la Universidad Internacional SEK, QUITO, AÑO 2013 – 2014.**

Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Campus Carcelén.

Ingeniería en Química Industrial.

Autor: Bryan David Bravo Castro.

Revisado por: MSC Suly Rodríguez.

Correo electrónico: bryan\_17d@hotmail.com.

## **RESUMEN**

La termodinámica es la rama de la Física que estudia los procesos en los que se transfiere energía en forma de calor o trabajo, para facilitar su comprensión y estudio se diseñó y construyó un sistema cerrado con la capacidad de aislar una determinada cantidad de agua destilada (sustancia pura) con respecto al ambiente. De esta manera mediante la manipulación de dos variables dependientes, se pudo obtener la curva de saturación dentro de los rangos establecidos y sus correspondientes propiedades termodinámicas básicas (volumen específico, energía interna, entropía y entalpía).

El proceso consiste en establecer una presión inferior a la del ambiente y suministrar calor a la sustancia hasta alcanzar su punto de ebullición, que corresponde a la temperatura en la cual la presión de vapor del líquido iguala la presión dentro del sistema. A medida que la temperatura se estabiliza, se suministra presión al sistema mediante la válvula de veteo y se registra la presión a la que la temperatura vuelve a estabilizarse. A partir de estos datos de temperatura y presión se pudo obtener una fracción del diagrama de saturación de agua.

Una vez validado los datos obtenidos con los presentados en otras investigaciones, se procedió al cálculo de las propiedades termodinámicas básicas mencionadas anteriormente, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en esta investigación corresponden a datos experimentales a escala de laboratorio.

## **INTRODUCCIÓN**

El origen del desarrollo de esta investigación surge ante la necesidad de comprender, de una manera más práctica, los cambios de estado de sustancias puras y como se desarrolla un diagrama de saturación de una sustancia. Por otra parte, este proyecto de investigación contribuye con el desarrollo de los laboratorios de la Universidad Internacional SEK y las prácticas que se efectúen a futuro en las

carreras correspondientes a la facultad de Ciencias Ambientales.

El estudio de la Termodinámica de una sustancia puede resultar compleja si no se tiene presente los conceptos fundamentales de cambios de fase de una sustancia, los estados de saturación del líquido, del gas y como varían las relaciones líquido-gas en un sistema cerrado. Este equipo permite aislar el sistema por completo y establecer condiciones iniciales de partida para el desarrollo de las prácticas. De esta

manera, se consigue la evaporación del agua, mediante el registro del diferencial de alturas en un medidor de presión, lo que permite estructurar el diagrama de saturación de agua. Partiendo de los datos de presión y temperatura, se obtienen los datos correspondientes a las propiedades termodinámicas como: volumen específico, entropía y entalpía; para líquido saturado y vapor saturado.

## MARCO TEÓRICO

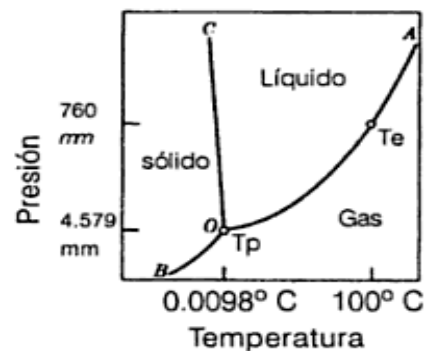
Inicialmente, se debe especificar que un sistema de vacío se caracteriza por presentar una presión de equilibrio en todas sus componentes, esto significa que en cualquier punto de estos, se puede registrar el mismo dato de presión o cantidad de flujo de aire. Los equipos de cristal que constituyen el sistema, constan de secciones esmeriladas que a su vez ayudan a mantener acoplado en conjunto todas las partes y aíslan de mejor manera el ambiente dentro del mismo. Mediante ese mecanismo se puede garantizar que el flujo de aire, dentro de todo el sistema, sea manejable mediante la válvula de venteo (Universidad Politécnica de Madrid, 2000).

La relación presión versus temperatura dentro de las sustancias simples compresibles, que se encuentran constituidas por una sustancia pura, se encuentra vinculada con el volumen específico. A la temperatura y al volumen específico se los considera como variables independientes, mientras que a la presión se la considera como una función de ambas. Mediante una proyección en un plano se puede evidenciar como la presión influye con relación a la temperatura y al volumen específico, como es el caso del agua en donde a mayor presión, se requiere mayor cantidad de energía calorífica

para alcanzar su ebullición y a la inversa cuando la presión disminuye (Eduardo Bottani, 2006).

El diagrama de fases de una sustancia pura detalla tres regiones denotadas por la curva de sublimación (entre la fase sólido y vapor), la curva de fusión (entre la fase sólida y líquida) y la curva de ebullición (entre la fase líquida y vapor). A estas curvas se las conoce como curvas de transición (Rolle, 2011). A continuación, en la “Figura 1.1” se representa un diagrama de fases del agua.

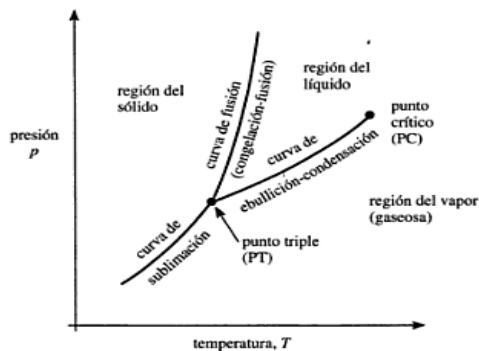
**Figura 1.1.** Diagrama de Fases para el Agua.



Elaborado por: (Eduardo Bottani, 2006).

El punto en donde las tres curvas se interceptan se conoce como punto triple y es en donde los tres estados pueden permanecer presentes (líquido, sólido y gaseoso) a la vez a manera de una mezcla. La “Figura 1.2” describe como interceptan las tres curvas de estado de una sustancia y su punto triple.

**Figura 1.2.** Comportamiento de una sustancia pura.



Elaborado por: (Rolle, 2011).

Las Propiedades Termodinámicas son características propias de las sustancias que se pueden calcular, medir o cuantificar. Dichas propiedades que se efectúan mediante experimentación y resolución de cálculos son: la temperatura ( $T$ ), la presión absoluta ( $P$ ), volumen específico ( $V_f$ ), entalpía ( $H$ ), entropía ( $S$ ), entre otras (Universidad Nacional de Colombia, 2014).

## METODOLOGÍA

Para efectuar la investigación se procedió a diseñar y emplear el equipo en una serie de análisis y operaciones, en las cuales se obtienen datos a partir de la manipulación de las variables temperatura y presión.

La metodología empleada consiste en realizar cálculos fundamentados a partir de los datos obtenidos en la práctica, para hallar los valores de las variables dependientes, por ejemplo la temperatura de saturación de la sustancia pura y como consecuencia de una resolución matemática, obtener los valores correspondientes al volumen

específico del líquido, la entropía, la entalpía y la energía interna. A partir de estos datos, se procede a construir un diagrama que representa la curva de saturación del agua dentro de los límites alcanzados en el laboratorio, correspondiente a la sustancia pura evaluada (agua destilada).

El método utilizado se detalla a continuación:

- 1) Inicialmente la variable que se manipula es la temperatura del fluido y se procede a incrementarla hasta que se alcance el punto de ebullición ( $T^\circ = 67^\circ\text{C}$ ) que corresponde a la igualación de la presión del fluido con la del sistema, correspondiente a la presión inicial ( $P_{\text{abs.}} = 25,3725 \text{ kPa.}$ ). A partir de este punto, la sustancia pura empieza a desprender vapor. Para este proceso se emplea una temperatura moderada de la manta calefactora (nivel = 40).
- 2) Posteriormente se debe establecer la temperatura en  $T^\circ = 67,1^\circ\text{C}$  y se toma registro del diferencial de alturas dentro del manómetro en  $U$ .
- 3) A continuación, se mantiene un calentamiento leve reduciendo a la mitad la potencia de la manta calefactora (nivel = 20) y se suministra cantidades mínimas de aire al sistema, empleando la válvula de venteo (centímetro y medio de aire al sistema), y cada vez que se estabilice la temperatura, se registra el diferencial de alturas dentro del manómetro.
- 4) Mediante estos datos se construye la tabla de temperatura de saturación del agua destilada para las condiciones presentes en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK.

5) Finalmente se almacenan todos los datos en un programa de fácil acceso, que ahorre tiempo al estudiante al momento de requerir un dato específico de las tablas de líquido y vapor saturado. Este programa presenta una serie de fórmulas básicas para comprender y entender cómo se obtienen los datos proyectados automáticamente en la hoja de cálculo.

Teniendo en cuenta que el error establecido para este tipo de prácticas de laboratorio y metodología es del 10% al 5%, se efectuaron 20 réplicas de la práctica, como parte de la investigación, para dar validez de los datos obtenidos y constatar que el procedimiento es el correcto y óptimo para su ejecución.

## RESULTADOS

El proceso de adaptación de modelos de gran escala a una de laboratorio, consiste en dimensionar equipos de fácil obtención y manipulación para facilitar la comprensión del proceso evaluado. La investigación se basa en construir un sistema en donde se emplea agua destilada como sustancia pura para encontrar las temperaturas de ebullición a distintas presiones recreadas dentro del mismo sistema.

En primer lugar es necesario garantizar un aislamiento por parte de los equipos o instrumentos a utilizar, debido a que es fundamental mantener una presión constante y fija según lo demanden las prácticas. Tomando en cuenta el objetivo de diseñar un sistema de vacío para manipular una sustancia pura, fueron seleccionados algunos

instrumentos de laboratorio que acoplados entre sí puedan recrear un ambiente cerrado.

El esquema del sistema de vacío consta de 4 partes fundamentales:

- Fuente de calor.
- Bomba de vacío.
- Medidor de presión.
- Estructura donde se desarrolle el proceso.

Para el diseño del sistema de vacío se parte de las propiedades de la sustancia que se va a manipular, en este caso es agua destilada como sustancia pura. Teniendo en cuenta que el agua destilada es agua tratada mediante procesos de destilación en donde se elimina trazas de impurezas e iones, se buscó equipos que permitan contener esta sustancia teniendo en cuenta que va a llegar a su punto de ebullición. De esta manera, el primer parámetro de diseño es la utilización de agua destilada en el sistema de vacío.

Otro parámetro de diseño importante es la resistencia de los materiales utilizados para fabricar el sistema, además, estos deben brindar la capacidad de poder visualizar cómo se comporta el agua destilada en el proceso de calentamiento y en qué momento alcanza el punto de ebullición. Estos aspectos son limitantes para muchos recipientes o instrumentos que pueden ser empleados. Uno de los instrumentos de laboratorios que garantiza una visualización de la sustancia son los elaborados en vidrio y como se va a mantener en proceso de calentamiento continuo, deben poseer las mismas propiedades (inertes y refractarias) que

los instrumentos de laboratorio. Se decidió trabajar con un balón de vidrio borosilicato, debido a que éste soporta hasta 800 °C sin ablandarse (Dharan, 2002).

Por lo tanto las condiciones, en las cuales se realizan las prácticas, no pueden superar esta temperatura. A continuación se muestran las posibles opciones para el diseño del equipo mediante la “Figura 1.3”.

**Figura 1.3.**Opciones de instrumentos de vidrio borosilicato.



Elaborado por: (Pixmac, 2014).

**Fuente de calentamiento del sistema.-** este instrumento debe garantizar una transferencia de calor óptima que permita trabajar con el fluido, de una manera controlada y evitando que se produzca una ebullición descontrolada, teniendo en cuenta que el instrumento que contiene el agua destilada es un balón o matraz de borosilicato. El dispositivo más recomendado en base a los requerimientos descritos, es una camisa calefactora, debido a que su diseño se encuentra enfocado en proporcionar mejor distribución de calor a lo largo del matraz o balón.

En la “Figura 1.4” se muestran algunos ejemplos de mantas calefactoras según su capacidad. La evaluación de los equipos disponibles en stock en los principales distribuidores detalló que la manta calefactora de capacidad de 250 ml alcanza temperaturas de hasta 300 °C, temperatura que sobrepasa la

requerida (se necesita un máximo de 91.7 °C para alcanzar la ebullición del agua a nivel de Quito), pero mantas de mayor capacidad alcanzan temperaturas superiores, lo cual representa una pérdida de energía.

**Figura 1.4.**Opciones de fuentes de calentamiento.



Elaborado por: (Stuart, 2014).

**Volumen.-** es importante establecer el volumen requerido del balón, según la cantidad de agua utilizada en el sistema de vacío y la capacidad de la manta calefactora. El volumen de agua destilada deberá ser el suficiente para cumplir con todas las variaciones de temperatura y se determina que siempre debe haber agua en el balón. También, el recipiente no puede estar completamente lleno, ya que se complica su calentamiento e implica una mayor duración de la práctica. Por esta razón, se establece que la relación de volumen de agua con respecto al balón debe ser del 40% (Valencia, 2002). Con este criterio de diseño, se estableció que para una manta de 250 ml se debe utilizar un volumen de agua destilada de 100 ml, siendo estos nuevos parámetros de diseño.

**Refrigerante.-** una vez que se estructuró la parte inicial del equipo, se evaluó la manera de formar un sistema cerrado, que presente una vía de salida

para conectar la bomba encargada de retirar el flujo de aire del interior del sistema. Dentro de esta estructura de vacío fue necesario adicionar un refrigerante en la parte superior del matraz que garantice en su totalidad la disminución de agua destilada a lo largo de las prácticas. Al emplear un refrigerante los vapores que ascienden por el cristal tiene contacto con las paredes frías y con un ambiente más caliente que da como origen la condensación del gas y con ayuda de la gravedad, caen nuevamente al matraz. Esto impide que el agua destilada en estado gaseoso se distribuya por todo el sistema y se condense en zonas frías generando pérdida de sustancia (ejemplo: trampa de vapor, mangueras, etc.).

Existen dos tipos de refrigerantes los cuales son los más utilizados para dispositivos de reflujo, son el de bolas y el de serpentín, llamado también refrigerante de Graham. El refrigerante de serpentín es más utilizado para procesos de destilaciones en donde hay un compuesto volátil, como es el caso de una destilación de alcohol. Mientras que el refrigerante de bolas se emplea en reflujo en donde no existe un compuesto muy volátil o generalmente cuando se trabaja con agua (H. D. Durst, 2007). Debido a que dentro de la investigación no se efectuó ningún proceso de destilación de sustancias volátiles, se escogió un refrigerante de bolas con boquillas 24/40 esmerilado a los extremos, de esta forma se puede garantizar conexiones más sólidas entre las partes del sistema de vacío.

Una representación del refrigerante seleccionado se muestra en la “Figura 1.5”.

**Figura 1.5.**Refrigerante de bolas esmerilado 24/40.



Elaborado por: (Pixmac, 2014).

**Bomba de vacío.-** es un dispositivo empleado actualmente en un sin número de aplicaciones, debido a que permite eliminar el flujo de aire dentro de un sistema parcialmente. Estos equipos se clasifican principalmente por su estructura interna y por su potencia (hp). Para la realización de la investigación se evaluó como aspecto fundamental generar un porcentaje de vacío dentro de todo el sistema y que con la ayuda de un manómetro permita realizar la experimentación. Existen industrias especializadas en el desarrollo de equipos de bajas capacidades para laboratorios y aspectos didácticos. Dentro del mercado las capacidades de las bombas a disposición nacional son de 1/8 de hp, 1/4 hp, 1/3 hp, 1/2 hp, 1 hp y potencias más altas para usos industriales. La potencia reestablecida en el equipo denota una cantidad de succión que se mide en pies cúbicos por minuto (Columbec, 2013). Estimando el tamaño del sistema se vació total y los volúmenes se llegó a la conclusión que se podría emplear una bomba de baja capacidad, pero la disponibilidad en muchas ocasiones es un limitante por lo cual se adquirió la bomba de vacío de

1/4 hp que tiene una capacidad de succión de 3 cfm (pies cúbicos por minuto). En la “Figura 1.6” se presenta los tipos de bombas presentes en el mercado nacional.

**Figura 1.6.**Bombas de vacío.



Elaborado por: (Columbec, 2013).

**Medidor de presión.-** el criterio de construcción empleado para este dispositivo consistió en la facilidad que representaba visualizar los datos resultantes de la práctica mediante la utilización de un manómetro de mercurio en “U”. Existen diferentes tipos de manómetros, como es el caso del de aguja, en donde la precisión del observador tiene que ser muy exacta para obtener un resultado correcto. Esto se debe a que en muchos casos la escala dada no es la óptima, debido a que no se los emplea para registrar cantidades pequeñas en cortos plazos. Por otra parte están los manómetros digitales en donde sus costos son muy elevados, ya que sus usos son enfocados más en la industria que en un laboratorio.

La construcción de un manómetro en “U” es más sencilla y económica, únicamente se requiere una superficie en donde va la escala, un tubo de vidrio que se encuentre doblado en forma de “U” y mercurio metálico líquido. El criterio de diseño del manómetro fue la altura de las columnas en “U” en base a

la cantidad de vacío que se necesitaba asegurar dentro del sistema. Para estimar esta cantidad, se fundamentó en aspectos bibliográficos específicamente para reconocer el número de datos que van a ser posible obtener en cada una de las prácticas. Se llegó a la conclusión que el manómetro en “U” debe medir 70 cm de alto en donde existe 10 centímetros de seguridad y 5 centímetros de arco en la parte inferior. De igual manera, se estipuló que el mercurio debe llegar a una altura de 26 cm en las dos columnas con el objetivo de alcanzar un diferencial de alturas empleando la bomba de vacío de 40 cm entre las dos columnas, tal y como se muestra en la “Figura 1.7”.

**Figura 1.7.** Manómetro en “U”.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

A continuación, se estructuró el esquema completo del equipo, antes de su construcción, con el objetivo de presenciar cambios y también estimar accesorios necesarios como mangueras, conectores y abrazaderas.

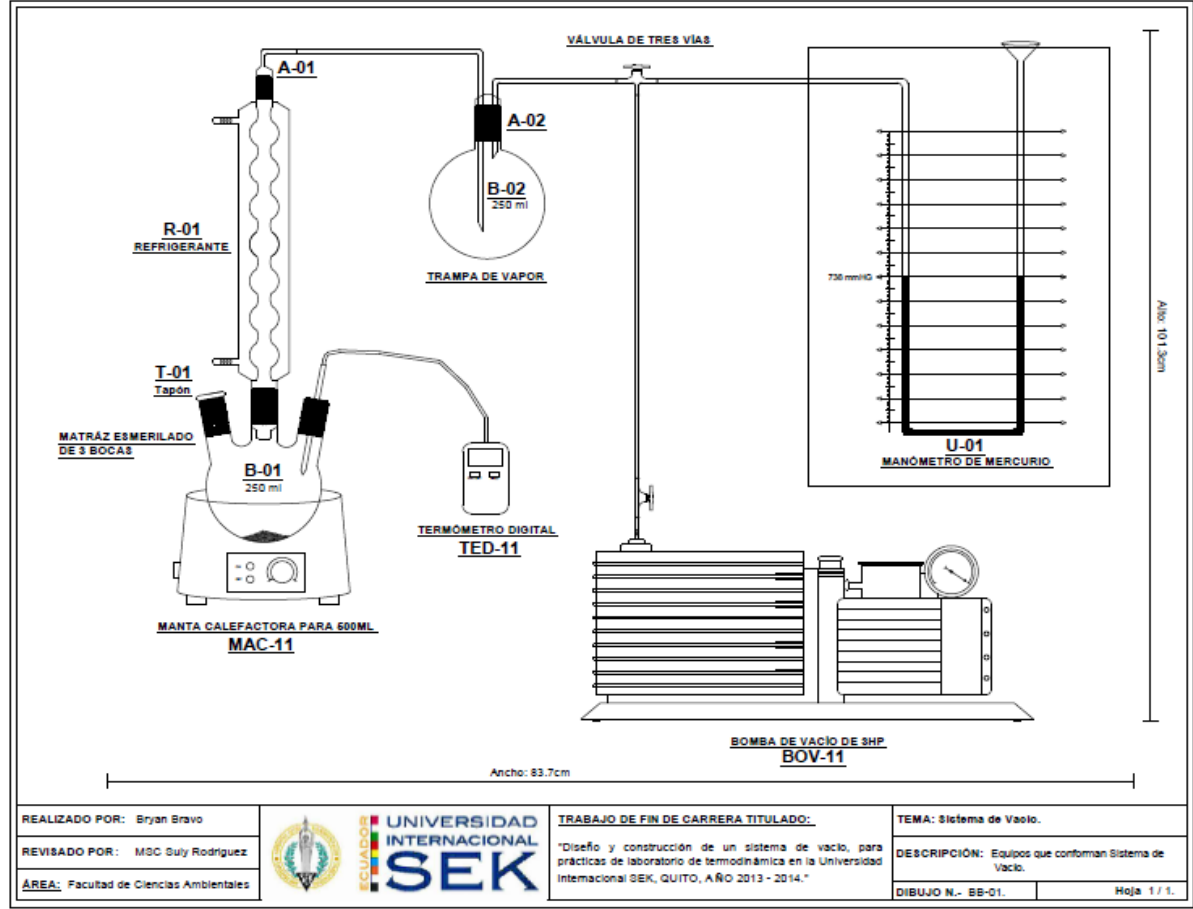
El matraz principal fue modificado para poder insertar un termómetro por una de las boquillas, mientras que por la otra se puede añadir o eliminar agua destilada al sistema al iniciar o finalizar la práctica.

Como medida de seguridad para la bomba de vacío, se introdujo al esquema una trampa de vapor con la función de retener partículas del agua destilada, en el caso de que cierta cantidad de ésta pase por el refrigerante sin condensarse y pueda dañar al equipo

Finalmente, se complementa el diseño del sistema con la determinación de la

longitud global del equipo, ya que es conveniente establecer el área en donde debe estar ubicado y almacenado el sistema, para que no se presenten inconvenientes por espacio. Esto se estableció sumando la longitud de la bomba, de la manta calefactora, de las conexiones y el ancho del manómetro en “U”. Las dimensiones obtenidas se observan en la “Figura 1.8”.

**Figura 1.8.** Dimensiones globales del sistema de vacío.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

En la “Figura 1.9”se visualiza el sistema de vacío acoplado por completo.

**Figura 1.9.** Sistema de vacío ensamblado.





Elaborado por: (Bravo, 2014).

Dentro del proceso de recolección de datos, es importante prestar atención al momento en el que se alcanza una temperatura estable, este valor será distinto para cada una de las presiones dispuestas dentro del sistema. Al disminuir la potencia de la manta calefactora, el calentamiento de la sustancia es lento, permitiendo así distinguir cuando la temperatura se estabiliza en un dato constante hasta que se adicione nuevamente un centímetro y medio de aire al sistema. Se recomienda emplear una tabla ordenada y bien estructurada que permita identificar al investigador los datos obtenidos con facilidad. Este proceso garantiza el resultado de la experimentación. En la “Tabla A” se representa un formato diseñado para la recolección de datos.

**Tabla A.** Formato para la recolección de datos experimentales.

DATOS DE INGRESO		
<u>Temperatura ( t °C )</u>	<u>h<sub>1</sub> (cm Hg )</u>	<u>h<sub>2</sub> (cm Hg )</u>
	<u>1</u>	

Temperatura ambiente	Altura inicial 1	Altura inicial 2	↓
	Diferencial de 40 cm		
Primera temperatura en la que se registró ebullición	Altura 1	Altura 2	↓
Temperatura de ebullición 2	Altura 3	Altura 4	
Temperatura de ebullición 3	Altura 5	Altura 6	↓
Se repite el procedimiento hasta alcanzar un nivel de mercurio de 26 cm en las dos columnas, a una temperatura aproximada de 91.7°C.			

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Partiendo de los datos obtenidos se procedió a analizar las variables, de acuerdo a medidas estadísticas, son la temperatura y las alturas. Se obtuvieron los datos medios o promedios que se observan a continuación en la “Tabla B”. los datos presentados pertenecen al conjunto de réplicas efectuadas.

**Tabla B.** Temperatura y alturas promedio o medias de las réplicas.

**Media o promedio**

	T [°C]	h1 [cmHg]	h2 [cmHg]
Inicial	21,96	6,00	46,00
Ebullición	67,85	8,65	43,47
	68,92	9,12	42,96
	70,45	10,31	41,89
	72,14	11,33	40,87
	73,65	12,24	39,81
	75,29	13,17	39,11
	76,56	14,15	38,48
	78,51	15,17	37,76
	80,24	16,33	35,79
	81,34	17,17	35,05
	82,57	18,12	34,09
	83,44	19,15	32,89
	84,36	20,20	31,93
	85,62	21,37	31,23
	86,48	22,13	30,20
	87,54	23,12	29,12
	89,15	24,08	28,18
	90,39	25,01	26,82
	91,58	26,00	26,00

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Se observa que los valores de temperatura obtenidos son coherentes y se encuentran en el rango adecuado, en base a una comparación con los datos presentes en las “Tablas bibliográficas para los datos de temperatura y presión de saturación” referente a los rangos de medidos. A partir de estos aspectos y verificando su validez, se efectuó la curva de saturación.

Para realizar la curva de saturación del agua destilada, primero se debe calcular

el diferencial de alturas. Esto se realiza mediante la resta de la altura 2 y de la altura 1. El diferencial de alturas representa a la variación de presión y a su vez, la resta de estas, a la presión atmosférica y se obtuvieron las presiones absolutas. Lo descrito anteriormente, se detalla en la “Tabla C” con datos medios Cabe mencionar que dentro las unidades de presiones deben ser kilo pascales, por lo cual se realizó la requerida conversión de unidades.

**Tabla C.** Diferencial de alturas o presiones medias o promedio.

**Datos Calculados**

h1 [cmHg]	h2 [cmHg]	$\Delta h$ [cmHg]	$\Delta h$ [mmHg]	P atmosférica [mmHg]	P absoluta [mmHg]	T [°C]	P absoluta [kPa]
33,831	73,831	40	400	538,31	138,31	21,96	18,44
36,481	71,303	34,822	348,22	538,31	190,09	67,85	25,34
36,951	70,7875	33,8365	338,365	538,31	199,945	68,92	26,66
38,136	69,721	31,585	315,85	538,31	222,46	70,45	29,66
39,161	68,696	29,535	295,35	538,31	242,96	72,14	32,39
40,066	67,636	27,57	275,7	538,31	262,61	73,65	35,01
40,996	66,936	25,94	259,4	538,31	278,91	75,29	37,18
41,976	66,306	24,33	243,3	538,31	295,01	76,56	39,33
42,996	65,586	22,59	225,9	538,31	312,41	78,51	41,65
44,161	63,616	19,455	194,55	538,31	343,76	80,24	45,83
45,001	62,876	17,875	178,75	538,31	359,56	81,34	47,94
45,951	61,921	15,97	159,7	538,31	378,61	82,57	50,48
46,981	60,721	13,74	137,4	538,31	400,91	83,44	53,45
48,031	59,765	11,734	117,34	538,31	420,97	84,36	56,12
49,196	59,0585	9,8625	98,625	538,31	439,685	85,62	58,62
49,956	58,031	8,075	80,75	538,31	457,56	86,48	61,00
50,951	56,951	6	60	538,31	478,31	87,54	63,77
51,911	56,011	4,1	41	538,31	497,31	89,15	66,30
52,841	54,651	1,81	18,1	538,31	520,21	90,39	69,36
53,831	53,831	0	0	538,31	538,31	91,58	71,77

Elaborado por: (Bravo, 2014).

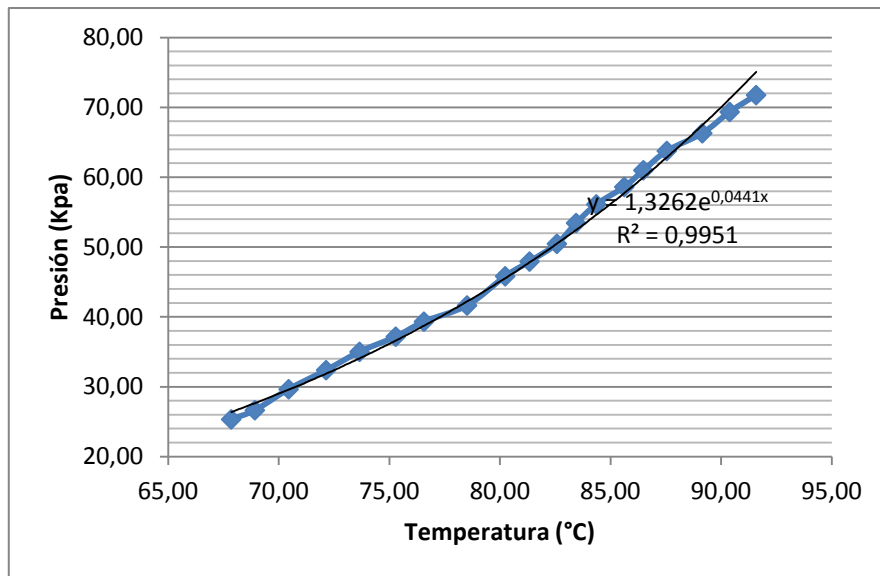
Como mecanismo de validación de los datos se calculó la moda correspondiente a las medidas efectuadas y de igual manera se corroboró la validez de los datos al presentar una desviación promedio entre las medidas de 0.2

Una vez que se obtuvo el valor correspondiente a la presión absoluta para cada una de las temperaturas del rango de experimentación, se procedió a construir la curva de saturación de agua específico para los datos obtenidos, tal como se muestra en la “Figura 2.0”

Finalmente se comprobaron los datos obtenidos partiendo del gráfico obtenido

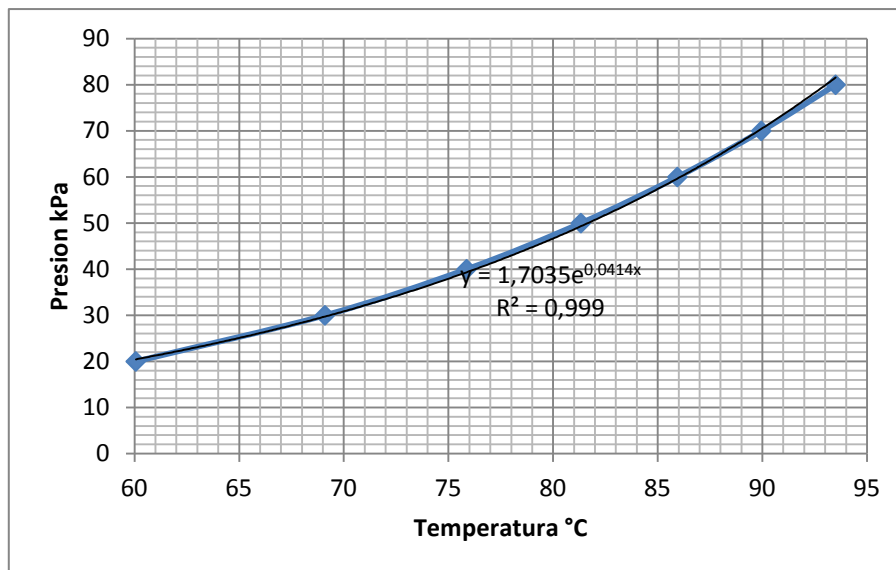
empleando los datos bibliográficos correspondientes a tablas de vapor de agua saturada. Mediante la “Figura 2.1” se presenta la gráfica correcta en base a los datos existentes en las tablas bibliográficas mencionadas anteriormente, específicamente para el mismo rango efectuado dentro de la experimentación.

**Figura 2.0.** Curva de saturación del agua, con respecto a la media de los datos.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

**Figura 2.1.** Curva de saturación del agua con datos bibliográficos.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Finalmente validada la experimentación, se efectuaron los cálculos para obtener los datos correspondientes a las propiedades termodinámicas en análisis. En la “Tabla D” se proyectan los datos obtenidos.

**Tabla D.** Tabla de vapor del agua destilada para condiciones de Quito (presión de 0.7083atm y temperatura de 21°C).

TABLA DE VAPOR DE AGUA										
			Volumen específico		Energía interna		Entalpía		Entropía	
T [°C]	P absoluta [kPa]	P absoluta [bar]	Liq saturado [vf] x 10 <sup>3</sup>	Vap saturado [vg]	Liq saturado [Uf]	Vap saturado [Ug]	Liq saturado [Uf]	Vap saturado [Ug]	Liq saturado [Uf]	Vap saturado [Ug]
21.96	18.44	0.184	1.003	21.569	133.358	2419.447	133.358	2560.161	0.470	8.387
67.85	25.34	0.253	1.007	12.428	216.192	2433.597	176.699	2578.895	0.611	8.185
68.92	26.66	0.267	1.007	12.424	216.215	2433.612	176.748	2587.401	0.611	8.185
70.45	29.66	0.297	1.007	12.417	216.269	2433.647	176.862	2591.376	0.612	8.184
72.14	32.39	0.324	1.010	8.897	125.776	2442.879	205.098	2591.766	0.701	8.061
73.65	35.01	0.350	1.010	8.894	125.902	2451.501	205.173	2591.796	0.701	8.061
75.29	37.18	0.372	1.010	8.891	126.007	2458.420	205.234	2591.820	0.701	8.061
76.56	39.33	0.393	1.010	8.888	126.111	2464.138	205.295	2591.844	0.701	8.061
78.51	41.65	0.417	1.013	6.974	226.844	2449.687	226.894	2599.787	0.768	7.971
80.24	45.83	0.458	1.013	6.970	226.940	2449.716	226.990	2599.826	0.768	7.971
81.34	47.94	0.479	1.013	6.969	226.988	2449.731	227.038	2599.846	0.769	7.971
82.57	50.48	0.505	1.015	5.754	244.667	2455.688	244.618	2608.284	0.822	7.900
83.44	53.45	0.535	1.015	5.753	244.724	2455.705	244.675	2608.306	0.822	7.900
84.36	56.12	0.561	1.015	5.751	244.776	2455.720	244.727	2608.327	0.823	7.900
85.62	58.62	0.586	1.015	5.750	244.824	2455.734	244.775	2608.346	0.823	7.900
86.48	61.00	0.610	1.016	4.912	259.777	2460.499	259.847	2614.897	0.869	7.843
87.54	63.77	0.638	1.016	4.911	259.824	2460.512	259.894	2614.915	0.869	7.842
89.15	66.30	0.663	1.016	4.910	259.867	2460.525	259.937	2614.931	0.869	7.842
90.39	69.36	0.694	1.016	4.909	259.918	2460.540	259.988	2614.951	0.869	7.842
91.58	71.77	0.718	1.022	4.430	273.053	2464.709	273.054	2619.816	0.908	7.782

Elaborado por: (Bravo, 2014).

## CONCLUSIONES

El equipo que se propuso a lo largo de la investigación y que se construyó en base a una serie de parámetros de seguridad, restricciones de stock en el mercado y condiciones de diseño, cumple con su objetivo principal de permitir recolectar datos de presión y temperatura de ebullición de agua destilada a distinta presión. Los resultados alcanzados demuestran que se permite aislar correctamente el sistema y garantizan que su operación sea segura.

El funcionamiento del sistema de vacío es adecuado, si se realizan todos los pasos indicados en el protocolo de uso

del equipo, ya que si se omite una etapa, los datos de temperatura o presión varían y se alteran las curvas de saturación de agua destilada.

El sistema de vacío es de fácil implementación y uso, pero los resultados generados de su experimentación cambian con respecto a las condiciones ambientales. De esta forma, los datos presentados poseen un pequeño margen de diferencia (0,15%) con los datos bibliográficos, debido a que se desarrollaron en la ciudad de Quito-Ecuador, en donde la presión es de 0.7083 atmosferas (538.31 mmHg), mientras que la mayoría de experimentaciones se las realiza a

condiciones ideales que son 1 atmósfera de presión (760 mmHg).

Sin embargo se puede constatar los cambios de estado que existe en una sustancia líquida al ser suministrado calor. A medida que la temperatura asciende, la presión incrementa directamente proporcional y a medida que el calor evapora la sustancia, la cantidad de líquido desciende mientras se incrementa el vapor. Si se continúa suministrando calor la cantidad de líquido disminuye casi en su totalidad generando así vapor sobrecalentado.

Varias prácticas de laboratorio pueden ser desarrolladas utilizando como fundamento práctico al sistema de vacío implementado, lo cual indica que el equipo es beneficioso, útil y eficaz para el desarrollo estudiantil, principalmente para las cátedras de Termodinámica. Además, todas las prácticas generadas en la presente investigación poseen como primera etapa a la generación de datos de presión absoluta y temperatura para utilizarlos en diferentes cuestionarios, garantizando que el alumno comprenda el comportamiento de una sustancia pura con respecto al cambio de fase ocurrido en el sistema de vacío.

Los cálculos necesarios, para la generación de las tablas de líquido y vapor saturado para la generación de la curva de saturación del agua y para calcular datos termodinámicos, son complejos y toman mucho tiempo para el alumno o experimentador. Por esta razón, es necesario el uso de la hoja de cálculo desarrollada en la presente investigación, la cual permite un manejo adecuado de los datos y una generación rápida de los resultados deseados,

eliminando o reduciendo el tiempo requerido para una práctica o experimentación con el sistema de vacío.

De esta manera, el establecer el diagrama de saturación del agua basándose en datos obtenidos a partir de prácticas realizadas con el sistema de vacío es sencillo y eficiente, en donde se observan fácilmente el comportamiento de la sustancia pura utilizada. Además, la curva obtenida mediante el sistema de vacío diseñado en la presente investigación, es generada con resultados fiables, ya que se determinó que los datos de varianza y desviación estándar son pequeños, lo cual indica confiabilidad de los resultados, alcanzando valores de varianza de 0.994 comparando con el valor máximo de confianza que es 1, provocando además, una buena repetitividad de la experimentación.

Todo lo anteriormente mencionado no puede llegar a alcanzarse sin una buena manipulación del sistema de vacío y sin la aplicación de las hojas de mantenimiento preventivo diseñadas para las partes principales del equipo, ya que se pueden generar fallas en el sistema alterando los resultados de las prácticas.

### **Recomendaciones Finales**

- Se debe tener en cuenta, antes de emplear el sistema de vacío, la posición de las dos válvulas para evitar inconvenientes al momento de usar el equipo.
- El uso de una sustancia grasa como aditivo en las uniones esmeriladas de vidrio permite un sello casi

completo en todo el sistema, por lo cual es de suma importancia verificar que se encuentren lubricadas todas las conexiones.

- El manómetro en forma de U contiene mercurio líquido al ser una sustancia que tiende a agruparse y evita que se retenga en las paredes del manómetro. De igual manera por su aspecto blanco plateado permite registrar su movimiento con facilidad. Se descartó el uso de agua o glicerina en el manómetro debido a que estas sustancias no fluyen con rapidez dentro del tubo y en algunos casos, se depositan pequeñas cantidades en las paredes del tubo.
- Se debe trabajar en una superficie estable para que las lecturas del manómetro en U sean correctas.
- Se recomienda realizar un mantenimiento a la bomba de vacío cada 2 años como medida de control establecida por el proveedor del equipo.
- Se sugiere realizar el mismo procedimiento pero empleando distintas sustancias puras y comparar sus propiedades termodinámicas entre sí.
- Es necesario desarrollar prácticas que sean didácticas y permitan evidenciar a los alumnos las cátedras aprendidas a lo largo de las carreras. Esto se debe a que muchos fenómenos que ocurren en el transcurso de la vida pueden ser entendidos mediante la aplicación de prácticas de laboratorio.
- Es importante promover el diseño de equipos dentro de la Universidad que sirvan de complemento a lo

largo del estudio. Esto debe estar enfocado en la construcción de equipos que permitan representar procesos actualmente empleados en la industria pero a escala de laboratorio.

## **Bibliografía**

**Columbec. (2013). *Bombas de vacío*.**

**Quito: Columbec.**

Dharan, M. (2002). *Control de Calidad en los Laboratorios Clínicos*. Barcelona: Reverté S.A.

Eduardo Bottani, H. O. (2006). *Química General*. Santa Fé: EdicionesUNL.

H. D. Durst, G. W. (2007). *Química Orgánica Experimental*. Barcelona: Reverté S.A.

Pixmac. (2014). *Instrumentos para laboratorio*. Génova: Pond5.

Rolle, K. (2011). *Termodinámica*. Pearson Prentice Hall.

Stuart. (2014). *Mantas calefactoras*. Madrid: Medical Expo.

Universidad Nacional de Colombia. (13 de Febrero de 2014). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 13 de Febrero de 2014, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001762/contenidos/propunido.htm>

Universidad Politécnica de Madrid. (2000). *Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el 15 de Julio de 2014, de

<http://dcain.etsin.upm.es/~goni/tesis/capitulo2.pdf>

Valencia, A. (2002). *Sistemas Abiertos*.  
Barcelona: Universidad de  
Barcelona.