

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de fin de carrera titulado:

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

Realizado por:

BRYAN DAVID BRAVO CASTRO

Director del proyecto:

MSC SULY RODRÍGUEZ

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

Quito, 15 de Septiembre del 2014

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, BRYAN DAVID BRAVO CASTRO, con cédula de identidad # 172353561-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink that reads "Bryan Bravo". The signature is written in a cursive style and is placed on a light blue rectangular background.

Bryan David Bravo Castro
C.C.: 1701704502353561-1

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE VACÍO, PARA
PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE TERMODINÁMICA EN LA
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, QUITO, AÑO 2013 –
2014”**

Realizado por:

BRYAN DAVID BRAVO CASTRO

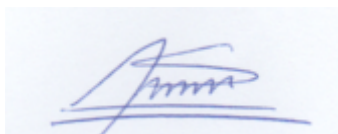
como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

ha sido dirigido por la profesora:

MSC SULY RODRÍGUEZ

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



SULY RODRÍGUEZ

DIRECTORA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

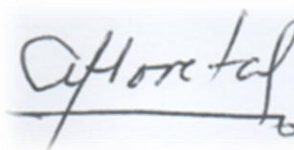
ING. ANA RODRÍGUEZ

ING. ALONSO MORETA

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador.



ING. ANA RODRÍGUEZ



ING. ALONSO MORETA

Quito, 08 de Septiembre de 2014

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi familia que siempre estuvo pendiente y con la predisposición de ayudar en el proceso de realización del presente trabajo de investigación. Por formarme como una persona de bien y con valores sólidos que me han ayudado a salir adelante ante todos los acontecimientos de la vida.

De igual manera, a mis maestros que me supieron influenciar con sus conocimientos, lecciones y experiencias dentro de mi formación en el transcurso del periodo Universitario.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer en primer lugar a Dios por haber permitido y destinado alcanzar este gran logro en mi vida.

A mis padres que gracias a su esfuerzo me permitieron estudiar una de las carreras de mayor peso dentro de la industria productiva y de mi preferencia.

A la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK por permitirme desarrollar mis conocimientos y aprendizajes para convertirme en un profesional de calidad.

A mi directora de tesis, Química Suly Rodríguez y tribunal, Ing. Ana Rodríguez e Ing. Alonso Moreta por su tiempo, esfuerzo y dedicación, quienes con su sabiduría y conocimientos, supieron guiarme dentro de la ejecución de la investigación para que se efectúe de la mejor manera.

También me gustaría agradecer a mis profesores y amigos que durante toda mi carrera profesional han aportado con sus conocimientos y experiencias para culminar mis estudios con éxito.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1 | El problema de investigación..... | 14 |
| 1.1.1 | Planteamiento del problema | 14 |
| 1.1.2 | Diagnóstico del problema. | 15 |
| 1.1.3 | Pronóstico. | 15 |
| 1.1.4 | Control del pronóstico. | 16 |
| 1.1.5 | Formulación del problema..... | 16 |
| 1.2 | Sistematización de problema..... | 17 |
| 1.3 | Objetivo general. | 17 |
| 1.4 | Objetivo específico..... | 17 |
| 1.5 | Justificaciones. | 18 |
| 1.6 | Marco teórico..... | 19 |
| 1.6.1 | Estado Actual de la Investigación..... | 31 |
| 1.7 | Adopción de una perspectiva teórica | 32 |
| 1.8 | Marco conceptual | 32 |
| 1.9 | Hipótesis..... | 35 |
| 1.10 | Identificación y caracterización de variables. | 35 |
| 2 | MÉTODO..... | 36 |
| 2.1 | Nivel de estudio. | 37 |
| 2.2 | Modalidad de investigación. | 38 |
| 2.3 | Método..... | 38 |
| 2.4 | Población y muestra..... | 38 |
| 2.5 | Selección de instrumentos de investigación | 38 |
| 2.6 | Validez y confiabilidad de los instrumentos..... | 39 |
| 2.7 | Procesamiento de datos..... | 40 |
| 3 | RESULTADOS | 42 |
| 3.1 | Diseño y Construcción..... | 42 |
| 3.2 | Levantamientos de Datos..... | 51 |
| 3.2.1 | Protocolo..... | 53 |
| 3.3 | Presentación y Análisis de Resultados..... | 64 |
| 3.4 | Aplicación Práctica. | 78 |
| 3.4.1 | Práctica de laboratorio 1 | 78 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.4.2 | Práctica de laboratorio 2 | 80 |
| 3.4.3 | Práctica de laboratorio 3 | 81 |
| 3.4.4 | Hoja de cálculo | 83 |
| 3.4.4.1 | Diseño de la Hoja de cálculo. | 84 |
| 3.4.5 | Manual de mantenimiento del sistema de vacío. | 87 |
| 3.4.5.1 | Hojas de mantenimiento y calibración de equipos para sistema de vacío. 90 | |
| 4 | DISCUSIÓN..... | 93 |
| 4.1 | Conclusiones | 93 |
| 4.2 | Recomendaciones | 95 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 97 |
| | ANEXO 1 | 99 |

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| | | |
|----------------|---|----|
| Figura 1.1. | Diagrama de Fases para el Agua. | 21 |
| Figura 1.2. | Comportamiento de una sustancia pura. | 22 |
| Figura 1.3. | Presión atmosférica en milímetros de mercurio a distinta altura. | 24 |
| Figura 1.4. | Ilustración de las mediciones de la presión..... | 25 |
| Tabla A. | Tabla de vapor y agua saturada en base a temperatura..... | 29 |
| Tabla B. | Tabla de vapor y agua saturada en base a presión. | 30 |
| Tabla C. | Formato de tabla para recopilación de datos experimentales. | 41 |
| Elaborado por: | (Bravo, 2014)..... | 41 |
| Figura 1.5. | Opciones de instrumentos de vidrio borosilicato. | 43 |
| Elaborado por: | (Pixmac, 2014)..... | 43 |
| Figura 1.6. | Opciones de fuentes de calentamiento. | 45 |
| Figura 1.7. | Primera parte del sistema de vacío..... | 45 |
| Figura 1.8. | Refrigerante de bolas esmerilado 24/40. | 47 |
| Figura 1.9. | Bombas de vacío. | 48 |
| Figura 2.0. | Manómetro en “U”..... | 49 |
| Figura 2.1. | Esquema preliminar del sistema de vacío. | 50 |
| Figura 2.2. | Dimensiones globales del sistema de vacío. | 51 |
| Figura 2.3. | Sistema de vacío ensamblado. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.4. Nivel inicial en las columnas de mercurio 26 cm. | 54 |
| Figura 2.5. Conexión del sistema con la bomba de vacío. | 55 |
| Figura 2.6. Agua destilada (100 ml). | 56 |
| Figura 2.7 Agua destilada al sistema. Figura 2.8. Núcleos de ebullición..... | 57 |
| Figura 2.9.Posición correcta para válvula de 3 vías. | 58 |
| Figura 3.0. Válvula de venteo..... | 58 |
| Figura 3.1. Adición de grasas en conexiones. | 59 |
| Elaborado por: (Bravo, 2014). | 59 |
| Figura 3.2. Circulación de agua en refrigerante. | 60 |
| Figura 3.3. Inicio del calentamiento a una potencia de 40. | 60 |
| Figura 3.4. Sistema de vacío en funcionamiento..... | 61 |
| Figura 3.5. Temperatura estable al final de la experimentación..... | 62 |
| Tabla D. Formato para la recolección de datos experimentales. | 63 |
| Tabla E. Temperatura y alturas promedio o medias de las réplicas. | 66 |
| Tabla F. Análisis estadístico de la temperatura. | 67 |
| Tabla G. Presiones absolutas medias o promedio. | 69 |
| Tabla H. Presiones absolutas de acuerdo a la moda. | 69 |
| Tabla I. Diferencial de alturas o presiones medias o promedio..... | 70 |
| Tabla J. Diferencial de alturas o presiones de acuerdo a la moda. | 71 |
| Tabla K. Varianza de los datos recolectados. | 72 |
| Tabla L. Desviación estándar de los datos recolectados. | 72 |
| Figura 3.6. Curva de saturación del agua, con respecto a la media de los datos. | 74 |
| Figura 3.7. Curva de saturación del agua, con respecto a la moda..... | 74 |
| Figuras 3.8. Diagrama para datos bibliográficos | 75 |
| Figura 3.9 Diagrama para datos experimentales. | 76 |
| Tabla M. Tabla de vapor del agua destilada para condiciones de Quito (presión de 0.7083atm y temperatura de 21°C)..... | 77 |
| Tabla N. Hoja de cálculo (primera sección). | 85 |
| Tabla O. Hoja de cálculo (segunda sección). | 85 |
| Tabla P. Hoja de cálculo (tercera sección). | 86 |
| Tabla Q. Hoja de cálculo que proyectada los resultados (cuarta sección). | 87 |
| Tabla R. Codificación e Inventario de Equipos y Piezas. | 90 |
| Tabla S. Cronograma de Mantenimiento con Especificaciones. | 91 |
| Tabla T. Ficha de control para sistema de vacío. | 92 |

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.

Palabras Claves

Termodinámica, sistema cerrado, sustancias puras, ambiente, punto de ebullición, diagrama de saturación, energía interna, volumen específico, entropía y entalpía.

ABSTRACT

Thermodynamics is the branch of physics that studies the processes by which energy is transferred in the form of heat or work, to facilitate the compression and study was designed and built a closed system with the ability to isolate a particular amount of distilled water (pure substance) with respect to the environment. In this way through the manipulation of two dependent variables, we were able to obtain the saturation curve within the ranges set and their corresponding basic thermodynamic properties (internal energy, specific volume, entropy and enthalpy).

The process is to establish a lower pressure than the environment and provide heat to the substance until it reaches its boiling point, which corresponds to the temperature at which the vapor pressure of the liquid equals the pressure within the system. As the temperature stabilizes, pressure is supplied to the system through the relief valve and is recorded the pressure at which the temperature returns to stabilize. From these data of temperature and pressure we were able to obtain a fraction of the diagram of water saturation.

Once validated data obtained with those presented in other investigations, the calculation of the basic thermodynamic properties mentioned above, taking into account that the values obtained in this research correspond to experimental data on laboratory scale.

KEY WORDS

Thermodynamics closed system, pure substances, environment, boiling point, saturation diagram, internal energy, specific volume, entropy and enthalpy.

1 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 proyecto de investigación se encuentra enfocado al estudio y comprensión de la cátedra de Termodinámica. Por estas razones, se realizó un equipo que permite experimentar con los cambios de estado de sustancias puras, mediante el control de dos variables principales que son: temperatura y presión.

El equipo construido permite generar vacío dentro de todo el sistema, de esta manera se recrea un nuevo ambiente en donde se puede alcanzar su punto de ebullición empleando una menor cantidad de energía calorífica, este se efectúa debido a que a menor presión las sustancias ebullicen a menor temperatura. Esta sustancia se encuentra dentro de un recipiente resistente a altas temperaturas y posee un sensor que permite identificar la temperatura del sistema en donde se está efectuando la ebullición de la sustancia pura. Por otra parte, un medidor de presión detalla la variación de la presión, con el incremento de temperatura, en cualquier momento del proceso.

De esta manera, se puede obtener los estados termodinámicos de saturación de la sustancia pura, que en este caso será agua destilada, y así, se desarrolla un diagrama de saturación del agua.

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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.

Al poseer un matraz conectado a un refrigerante se redujo en un mayor nivel la pérdida de la sustancia pura dentro de todo el proceso. Como complemento del desarrollo de investigación, se procede a emplear las tablas termodinámicas establecidas para sustancias puras, en este caso de agua. Esto se puede llegar a obtener debido a que se utiliza una sustancia pura en donde únicamente es necesario conocer dos propiedades termodinámicas intensivas e independientes para establecer el estado termodinámico estable de una sustancia pura.

Se ha investigado como la temperatura del fluido aumenta progresivamente hasta alcanzar el punto de ebullición, a medida que la sustancia empieza a ganar energía calorífica en sus moléculas, comienza a reducir su volumen líquido e incrementa el volumen de vapor adicionándole presión al sistema. Por esta razón, se compensa el vacío existente en el sistema hasta llegar a estabilizar la temperatura, posterior a esto se

procede a tomar lectura de la temperatura contenida en el matraz, mientras se vaya adicionando presión al sistema por medio de la válvula de desfogue. Con fundamento a los datos recopilados de presión y temperatura, se procede a realizar el diagrama correspondiente a la curva de saturación del agua. De esta manera, se puede valorar los datos presentes en las tablas de líquido y vapor saturado, con la diferencia de que ahora se va a poder visualizar los cambios que acontecen al momento de suministrar energía al fluido puro.

1.1.2 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.

Se debe fundamentar los conceptos que forman parte del aprendizaje de las distintas materias, mediante el uso de prácticas que permitan evidenciar los fenómenos y el porqué de su aparición. Por esta razón es necesario realizar la investigación del uso de este sistema como material adicional y práctico en el aprendizaje de la Termodinámica. Un sistema de vacío permite interpretar de mejor manera como la temperatura o la presión son variables fundamentales dentro de una sustancia y como al incrementar o disminuir una unidad, las propiedades termodinámicas cambian en una sustancia pura.

1.1.3 PRONÓSTICO.

El proyecto final se encuentra enfocado en la construcción de un equipo que consta de una matraz de cristal esmerilado de tres bocas, un refrigerante de bolas, una trampa de vacío, una bomba de vacío, un manómetro de mercurio, un medidor de temperatura, que permite que los estudiantes consoliden bases fundamentales a lo largo de sus estudios, relacionados con la cátedra de Termodinámica. Mediante la incorporación de investigaciones afines a las cátedras se garantiza una mejor comprensión académica y la consolidación de laboratorios con mayor disponibilidad de prácticas dentro de la Universidad.

Para una formación académica más completa, se requiere de la incorporación de laboratorios con la capacidad de cumplir las necesidades estimadas en el pensum de estudio. Por lo que, este proyecto se encuentra destinado para que en un futuro, se estructure un laboratorio de Operaciones Unitarias como complemento en la formación de las diversas carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Ambientales.

1.1.4 CONTROL DEL PRONÓSTICO.

La facultad de Ciencias Ambientales cuenta con una variedad de equipos e instrumentos que permiten adaptar prácticas didácticas dentro del estudio de distintas cátedras. Estas limitaciones pueden llegar a generar vacíos dentro del periodo de aprendizaje al no poder desarrollar ciertas prácticas por falta de equipos. Por lo tanto, es de suma importancia incentivar esta investigación y el desarrollo de equipos en escala de laboratorio, que favorezcan el entendimiento de procesos más específicos empleados en las industrias.

1.1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Es importante que los laboratorios de la facultad de Ciencias Ambientales cuenten con un sistema de vacío, como equipo fundamental para el entendimiento de la cátedra de Termodinámica y que permita suplir las dudas de los estudiantes estructurando conocimientos sólidos sobre la Ingeniería?

1.2 SISTEMATIZACIÓN DE PROBLEMA.

¿Por qué se debe usar un fluido puro?

¿Qué sustancia pura se utilizará por qué?

¿Cuál será el volumen de sustancia pura que se empleará?

¿Cómo ayudará a consolidar fundamentos en los estudiantes?

¿Cuál es la importancia de implementar un sistema de vacío en los laboratorios?

¿Cuáles serán los materiales necesarios para su construcción?

¿Qué tan importante es conocer y entender las tablas de líquido y vapor saturado?

¿Cuán importante es conocer la entropía y entalpía de un fluido?

¿Qué medidas de seguridad se deberán efectuar al momento de utilizar el equipo?

¿Cuáles serán los parámetros de operación para el equipo?

1.3 OBJETIVO GENERAL.

1.3.1.1 Diseñar y construir un sistema de vacío como equipo práctico para los laboratorios de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO.

1.4.1 Determinar el funcionamiento del sistema de vacío a través de los parámetros de funcionamiento ideal del mismo (temperatura y presión).

- 1.4.2 Desarrollar una hoja de cálculo en Excel para realizar cálculos de las tablas de líquido y vapor saturado, enfocado a prácticas realizadas con el sistema de vacío
- 1.4.3 Establecer el diagrama de saturación del agua basándose en datos obtenidos a partir de prácticas realizadas con el sistema de vacío.
- 1.4.4 Implementar prácticas de laboratorio encaminados a la cátedra de Termodinámica, como complemento al entendimiento de sustancias puras y sus cambios de fase.
- 1.4.5 Elaborar un manual de mantenimiento general con su respectivo cronograma de mantenimiento preventivo para las partes principales de los equipos y sus respectivos periodos de calibración del mismo.

1.5 JUSTIFICACIONES.

Para implementar equipos prácticos que contribuyan en el estudio de las Ingenierías, se ha puesto en marcha el desarrollo de la investigación y operación de un sistema de vacío, debido a que esto permite evidenciar el cambio de fase de una sustancia pura lo cual permite comprender de mejor manera conceptos y fenómenos referenciados a la cátedra de Termodinámica. De igual manera, este equipo garantiza el entendimiento de las propiedades termodinámicas de los fluidos, que en ciertos casos no son muy bien entendidas cuando se las estudia con una metodología teórica y no en base a prácticas.

La investigación se encuentra enfocada en permitir a los estudiantes de la Facultad experimentar las variables presión y temperatura de los fluidos, dando como resultado la comprensión de procesos industriales cotidianos.

1.6 MARCO TEÓRICO.

La investigación efectuada consiste en la implementación de términos, conceptos, fundamentos y teorías que rigen la Termodinámica, por ende es de suma importancia tener bien definidos los conocimientos necesarios.

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).

Dentro de la investigación, se trabaja en un sistema cerrado en donde se manipula la variable “Presión”, este cambio permite adaptar condiciones que demostrarán distintas temperaturas o puntos de ebullición de la sustancia en base a la presión existente dentro del sistema, es decir que la presión de vapor del líquido iguala la presión de vapor del medio en que se encuentra. De esta manera, se procede a obtener datos específicos del diagrama de saturación del agua (Michael Moran, 2005). Con la ayuda de estos datos experimentales se procede a calcular los datos correspondientes a volumen específico, entalpía y entropía para el sistema desarrollado en el laboratorio.

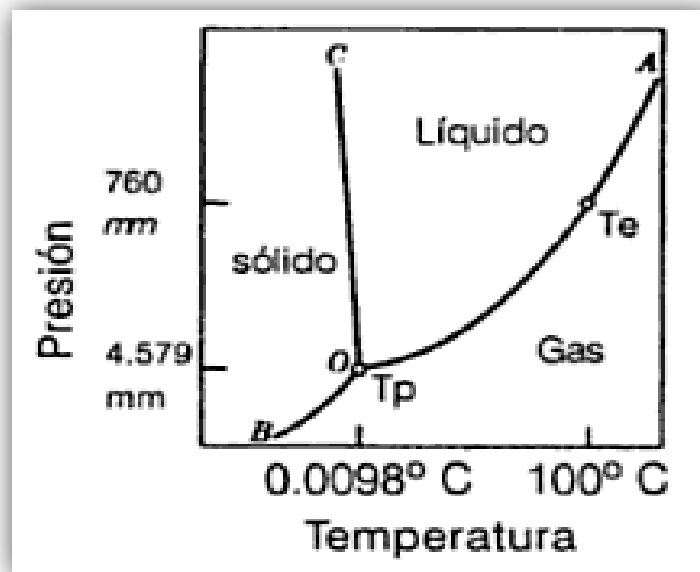
La relación presión versus temperatura dentro de las sustancias simples compresibles, que se encuentran constituidas por una sustancia pura, se encuentra vinculada con el volumen específico. A la temperatura y al volumen específico se los considera como variables independientes, mientras que a la presión 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. A este esquema se lo conoce como diagrama de fases y permite estudiar el equilibrio líquido-vapor de una sustancia (Eduardo Bottani, 2006).

Las sustancias puras son uniformes en su composición química y a su vez son estables, estas propiedades se refieren a que la sustancia no sufre cambios mientras permanezca en el estado que se observa la misma. Los ejemplos de sustancias puras más comunes son: oxígeno gaseoso, el agua, el cobre puro, el dióxido de carbono, entre otros (Rolle, 2011). El proceso de la investigación se lleva a cabo mediante la manipulación de una sustancia pura, que en este caso será agua debido a su fácil accesibilidad y bajo costo de adquisición.

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.

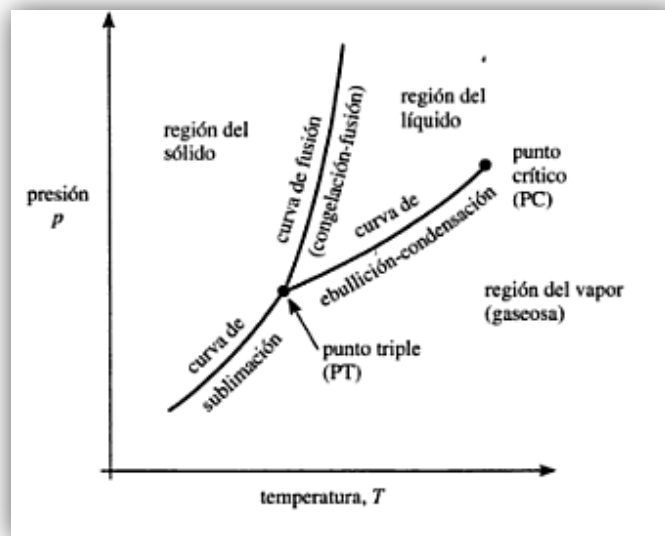


Elaborado por: (Eduardo Bottani, 2006).

En termodinámica se entiende como fase de transición a la transformación de un sistema de una fase inicial a otra. Esto se puede efectuar en base a un parámetro de orden que es dependiente a varios factores y específico para cada sistema termodinámico. En la investigación se procede a mantener un sistema ordenado, en donde la transición de fase o cambio de fase se da en base al incremento o descenso de temperatura (Fuenzalida, 2002).

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).

Para el cálculo de las propiedades termodinámicas existen varias modalidades de resolución, ya sea empleando diagramas, tablas, ecuaciones y programas de cálculo, que permiten a su vez, reducir el tiempo de investigación y son de mucha utilidad hoy en día. Para la mayoría de las sustancias y sus relaciones existentes entre sus propiedades termodinámicas, resulta muy complejo expresarlas por medio de ecuaciones simples. En estos casos es necesario utilizar tablas o diagramas preestablecidos, acompañados de algunos cálculos.

Cierto grupo de tablas especifican y mencionan propiedades termodinámicas de las sustancias en estado puro, estas propiedades pueden medirse con facilidad, pero con

otras no es posible hacerlo de manera directa y se calculan mediante las relaciones que las vinculan con propiedades medibles (Rolle, 2011).

Las propiedades evaluadas son las siguientes:

- La *presión* (P) es la interacción que da como resultado por unidad de área de las partículas moleculares en contra de las paredes que las contiene, como se detalla en la siguiente ecuación.

$$\text{Presión} = (\text{fuerza}) / (\text{área}) \qquad \text{Ec. N}^{\circ}1 \text{ (Mott, 2000).}$$

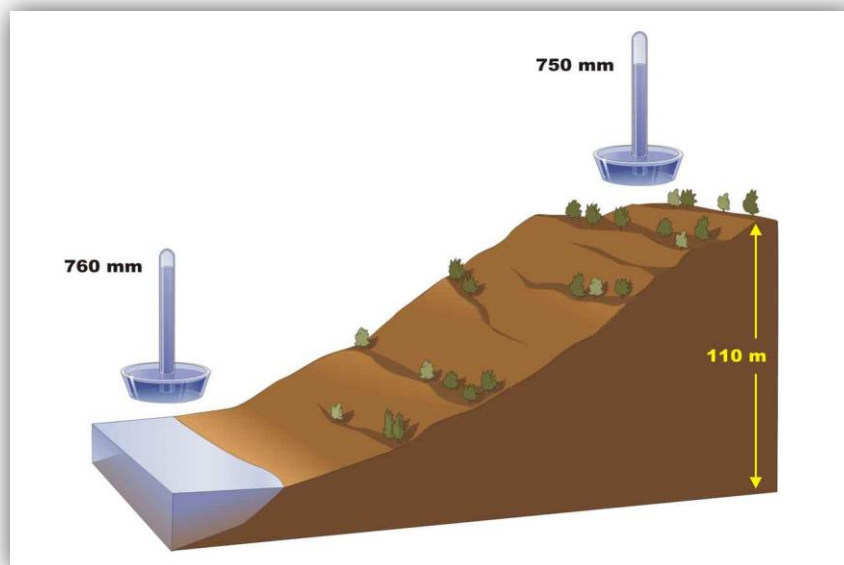
La presión es una medida de la frecuencia de las veces que una partícula pasa por un mismo punto. La presión dentro de un fluido en reposo depende de la profundidad que se requiera medir y es equivalente para todas las direcciones. Al poseer un fluido en reposo se puede emplear un manómetro que permita estimar la presión del sistema o de un fluido en una tubería, los cuales pueden ganar o perder presión como consecuencia de un aporte energético (transferencia de calor, trabajo ganado de una bomba, entre otros). La presión se expresa en unidades de: Atm, mHg, mmHg, pulgHg, Pa, Bar, kgf/cm², lbf/cm², MPa, kPa, PSI (Mott, 2000).

Al realizar cálculos relacionados a presión de fluidos, se debe efectuar la medición en relación con alguna presión de referencia. Se emplea comúnmente la presión atmosférica como medida de referencia y la presión resultante que se mide se conoce como presión manométrica. Se considera presión absoluta de un fluido a la medición en base al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces, en otros países, los

diseños se hacen a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios (Mott, 2000).

La presión atmosférica es la influencia o presión que ejerce el aire o masa gaseosa presente en la Tierra. Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg² (101,35Kpa), disminuyendo estos valores con la altitud, como se puede presenciar en la “Figura 1.3”.

Figura 1.3. Presión atmosférica en milímetros de mercurio a distinta altura.



Elaborado por: (Mott, 2000).

La presión manométrica es superior a la atmosférica y es obtenida por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión absoluta (variable a calcular) y la presión atmosférica que existe. La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro (Michael Moran, 2005). A continuación, se detalla la fórmula que permite calcular la presión absoluta (abs).

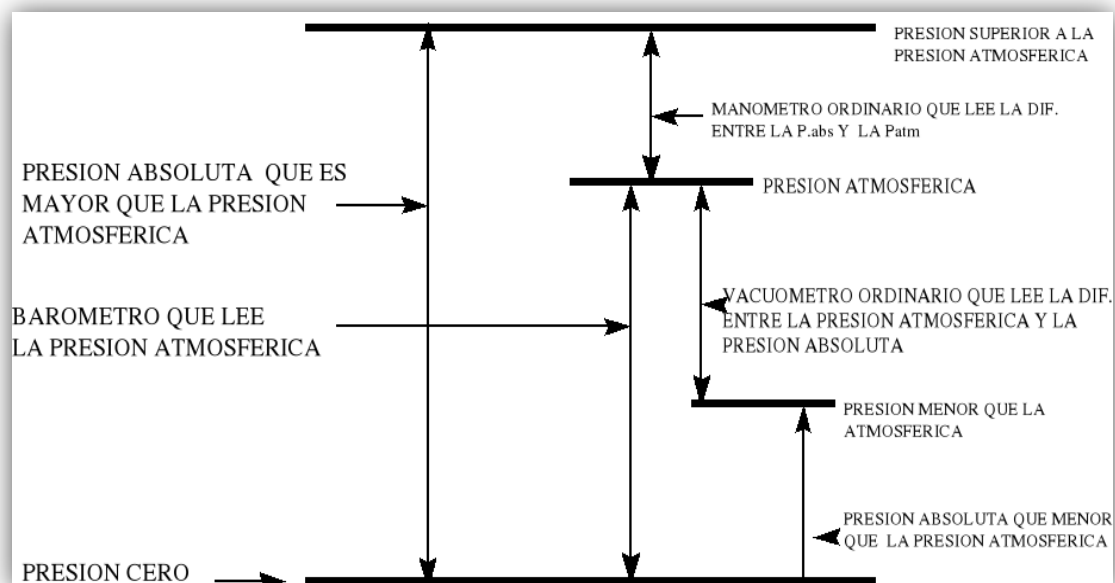
$$\text{Presión Absoluta} = \text{Presión Manométrica} + \text{Presión Atmosférica} \quad \text{Ec. N}^\circ 2 \text{ (Mott, 2000)}$$

Al usar el término de vacío se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica, que normalmente se miden, mediante los mismos tipos de elementos con que se cuantifican las presiones superiores a la atmosférica, es decir, por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente. Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto y por lo general, se expresa a modo de centímetros de mercurio (cmHg), metros de agua, etc.

De la misma manera que para las presiones manométricas, las variaciones de la presión atmosférica tienen solo un efecto pequeño en las lecturas del indicador de vacío. Sin embargo, las variaciones pueden llegar a ser de importancia ya que todo el intervalo hasta llegar al cero absoluto solo comprende 760 mmHg (Mott, 2000).

En la “Figura 1.4” se puede visualizar la relación entre las distintas presiones existentes.

Figura 1.4. Ilustración de las mediciones de la presión.



Elaborado por: (Mott, 2000).

- La *temperatura* (T) se define como un potencial que provoca un flujo de calor, el cual está asociado con el grado de vibración molecular y la energía cinética de átomos, moléculas y electrones. La temperatura es una medida del movimiento molecular de las partículas que conforman un sistema (Yanes Cengel, 2011).
- Se considera *presión de vapor* (P_{vapor}) a la fase gaseosa existente de una sustancia, ya sea líquida o sólida, que coexiste debido a que una porción de sus moléculas se pierden por vaporización. El aumento de la temperatura en una sustancia influye directamente en la misma al aumentar la presión de vapor hasta el punto de llegar a igualar la presión externa del ambiente, alcanzando así el punto de ebullición. Teniendo en cuenta lo mencionado, se puede deducir que a la presión a la que se manipule una sustancia, será necesario igualar la presión de vapor para llegar al punto de ebullición (Morris, 2001).

La presión de vapor de una sustancia es sensible a los cambios de temperatura, pero casi imperceptible al cambio de presión, debido a que la presión del exterior no varía significativamente al momento de realizar experimentaciones. Para la investigación se efectúa un cambio de presión dentro de un sistema aislado, logrando así igualar la presión de vapor a distintas presiones fijadas por el investigador para notar su influencia (Morris, 2001).

- El *volumen específico* (V_f) es la terminología empleada para describir el volumen ocupado por unidad de masa de una sustancia o material. De igual manera, representa la inversa de la densidad de una sustancia. Esta propiedad no depende de la cantidad de materia presente, es decir que es una propiedad intensiva de las sustancias, tales como: el punto de ebullición, el brillo, el color, la dureza, el punto

de fusión, entre otros. La fórmula empleada para el cálculo del volumen específico de una sustancia corresponde a (Rolle, 2011):

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad \text{Ec. N°3 (Rolle, 2011).}$$

donde, V es el volumen, m es la masa y ρ es la densidad del material.

- La *energía interna* (U) está asociada con el movimiento y con la posición de las partículas, de los átomos y de las moléculas; también es una energía asociada con la estructura del átomo y con los diferentes enlaces entre partículas, átomos y moléculas. La energía interna es la medida del contenido energético de la materia y sus unidades de energía interna son KiloJoule (kJ), Kilocalorías (kcal) y BTU. Entre tanto, las unidades de la energía interna específica son kJ/kg, kcal/kg, BTU/lb (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2014).
- La *entalpía* (H) es la energía interna que posee un flujo de materia más el trabajo que impulsa el movimiento de dicho flujo. El cambio de entalpía con respecto a un nivel de referencia mide el contenido energético de una corriente de materia que fluye a través de un ducto. Tanto la entalpía total (H), como la entalpía específica (h), se definen simplemente como entalpía y estas se calculan mediante las siguientes ecuaciones (Michael Moran, 2005).

$$H = U + PV \quad \text{Ec.N°4 (Michael Moran, 2005).}$$

$$h = u + Pv \quad \text{Ec.N°5 (Michael Moran, 2005).}$$

(Cuando se menciona por unidad de masa)

Las unidades de entalpía son kJ, kcal y BTU. Entre tanto las unidades de la entalpía específica son kJ/Kg, kcal/kg y BTU/lb (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2014).

- La *entropía* (S) es la medida del grado de desorden de un sistema como consecuencia de la diversificación de los estados energéticos presentes en la materia. En otras palabras, la entropía es la medida de la distribución de estos estados energéticos (Termodinámica Química Fundamental, 1972). La fórmula general empleada para el cálculo de la entropía de gases ideales es la siguiente:

$$S = S_{ref} + C_p \ln \left(\frac{T}{T_{ref}} \right) + R \ln \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \quad \text{Ec.N}^\circ 6 \text{ (Termodinámica Química Fundamental, 1972).}$$

En donde:

S_{ref} : Entropía de referencia.

P_{ref} : Presión de referencia.

T_{ref} : Temperatura de referencia.

Con fundamento en cálculos efectuados, todos estos datos se recopilan en las denominadas tablas de vapor de agua, que son uno de los instrumentos que se emplea como parte del proceso del desarrollo de la investigación. La recopilación de estos datos se presentan a continuación en la “Tabla A”, en donde se demuestran datos en relación a la temperatura y la “Tabla B” presentan datos en base a la presión.

Tabla A. Tabla de vapor y agua saturada en base a temperatura.

| Temp, °C | Presión bar | Volumen específico m ³ /kg | | Energía interna kJ/kg | | Entalpía kJ/kg | | | Entropía kJ/kg K | |
|-------------|----------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | | |
| | | Líquido sat, v _f x 10 ³ | Vapor sat, v _g | Líquido sat, u _f | Vapor sat, u _g | Líquido sat, h _f | Vapor vaporiz., h _g | Vapor sat, h _g | Líquido sat, s _f | Vapor sat, s _g |
| 01 | 0.00611 | 1.0002 | 206.136 | 0.00 | 2375.3 | 0.01 | 2501.3 | 2501.4 | 0.0000 | 9.1562 |
| 4 | 0.00813 | 1.0001 | 157.232 | 16.77 | 2380.9 | 16.78 | 2491.9 | 2508.7 | 0.0610 | 9.0514 |
| 5 | 0.00872 | 1.0001 | 147.120 | 20.97 | 2382.3 | 20.98 | 2489.6 | 2510.6 | 0.0761 | 9.0257 |
| 6 | 0.00935 | 1.0001 | 137.734 | 25.19 | 2383.6 | 25.20 | 2487.2 | 2512.4 | 0.0912 | 9.0003 |
| 8 | 0.01072 | 1.0002 | 120.917 | 33.59 | 2386.4 | 33.60 | 2482.5 | 2516.1 | 0.1212 | 8.9501 |
| 10 | 0.01228 | 1.0004 | 106.379 | 42.00 | 2389.2 | 42.01 | 2477.7 | 2519.8 | 0.1510 | 8.9008 |
| 11 | 0.01312 | 1.0004 | 99.857 | 46.20 | 2390.5 | 46.20 | 2475.4 | 2521.6 | 0.1668 | 8.8766 |
| 12 | 0.01402 | 1.0005 | 93.784 | 50.41 | 2391.9 | 50.41 | 2473.0 | 2523.4 | 0.1806 | 8.8524 |
| 13 | 0.01497 | 1.0007 | 88.124 | 54.60 | 2393.3 | 54.60 | 2470.7 | 2525.3 | 0.1953 | 8.8285 |
| 14 | 0.01598 | 1.0008 | 82.848 | 58.79 | 2394.7 | 58.80 | 2468.3 | 2527.1 | 0.2099 | 8.8048 |
| 15 | 0.01705 | 1.0009 | 77.926 | 62.99 | 2396.1 | 62.99 | 2465.9 | 2528.9 | 0.2246 | 8.7814 |
| 16 | 0.01818 | 1.0011 | 73.333 | 67.18 | 2397.4 | 67.19 | 2463.6 | 2530.8 | 0.2390 | 8.7582 |
| 17 | 0.01938 | 1.0012 | 69.044 | 71.38 | 2398.8 | 71.38 | 2461.2 | 2532.6 | 0.2535 | 8.7351 |
| 18 | 0.02064 | 1.0014 | 65.038 | 75.57 | 2400.2 | 75.58 | 2458.8 | 2534.4 | 0.2679 | 8.7123 |
| 19 | 0.02198 | 1.0016 | 61.293 | 79.76 | 2401.6 | 79.77 | 2456.5 | 2536.2 | 0.2823 | 8.6897 |
| 20 | 0.02339 | 1.0018 | 57.791 | 83.95 | 2402.9 | 83.96 | 2454.1 | 2538.1 | 0.2966 | 8.6672 |
| 21 | 0.02487 | 1.0020 | 54.514 | 88.14 | 2404.3 | 88.14 | 2451.8 | 2539.9 | 0.3109 | 8.6450 |
| 22 | 0.02645 | 1.0022 | 51.447 | 92.32 | 2405.7 | 92.33 | 2449.4 | 2541.7 | 0.3251 | 8.6229 |
| 23 | 0.02810 | 1.0024 | 48.574 | 96.51 | 2407.0 | 96.52 | 2447.0 | 2543.5 | 0.3393 | 8.6011 |
| 24 | 0.02985 | 1.0027 | 45.883 | 100.70 | 2408.4 | 100.70 | 2444.7 | 2545.4 | 0.3534 | 8.5794 |
| 25 | 0.03169 | 1.0029 | 43.360 | 104.88 | 2409.8 | 104.89 | 2442.3 | 2547.2 | 0.3674 | 8.5580 |
| 26 | 0.03363 | 1.0032 | 40.994 | 109.06 | 2411.1 | 109.07 | 2439.9 | 2549.0 | 0.3814 | 8.5367 |
| 27 | 0.03567 | 1.0035 | 38.774 | 113.25 | 2412.5 | 113.25 | 2437.6 | 2550.8 | 0.3954 | 8.5156 |
| 28 | 0.03782 | 1.0037 | 36.690 | 117.42 | 2413.9 | 117.43 | 2435.2 | 2552.6 | 0.4093 | 8.4946 |
| 29 | 0.04008 | 1.0040 | 34.733 | 121.60 | 2415.2 | 121.61 | 2432.8 | 2554.5 | 0.4231 | 8.4739 |
| 30 | 0.04246 | 1.0043 | 32.894 | 125.78 | 2416.6 | 125.79 | 2430.5 | 2556.3 | 0.4369 | 8.4533 |
| 31 | 0.04496 | 1.0046 | 31.166 | 129.96 | 2418.0 | 129.97 | 2428.1 | 2558.1 | 0.4507 | 8.4329 |
| 32 | 0.04759 | 1.0050 | 29.540 | 134.14 | 2419.3 | 134.15 | 2425.7 | 2559.9 | 0.4644 | 8.4127 |
| 33 | 0.05034 | 1.0053 | 28.011 | 138.32 | 2420.7 | 138.33 | 2423.4 | 2561.7 | 0.4781 | 8.3927 |
| 34 | 0.05324 | 1.0056 | 26.571 | 142.50 | 2422.0 | 142.50 | 2421.0 | 2563.5 | 0.4917 | 8.3728 |
| 35 | 0.05628 | 1.0060 | 25.216 | 146.67 | 2423.4 | 146.68 | 2418.6 | 2565.3 | 0.5053 | 8.3531 |
| 36 | 0.05947 | 1.0063 | 23.940 | 150.85 | 2424.7 | 150.86 | 2416.2 | 2567.1 | 0.5188 | 8.3336 |
| 38 | 0.06632 | 1.0071 | 21.602 | 159.20 | 2427.4 | 159.21 | 2411.5 | 2570.7 | 0.5468 | 8.2950 |
| 40 | 0.07384 | 1.0078 | 19.523 | 167.56 | 2430.1 | 167.57 | 2406.7 | 2574.3 | 0.5725 | 8.2570 |
| 45 | 0.09593 | 1.0099 | 15.258 | 188.44 | 2436.8 | 188.45 | 2394.8 | 2583.2 | 0.6387 | 8.1648 |
| 50 | 0.1235 | 1.0121 | 12.032 | 209.32 | 2443.5 | 209.33 | 2382.7 | 2592.1 | 0.7038 | 8.0763 |
| 55 | 0.1576 | 1.0146 | 9.568 | 230.21 | 2450.1 | 230.23 | 2370.7 | 2600.9 | 0.7679 | 7.9913 |
| 60 | 0.1994 | 1.0172 | 7.671 | 251.11 | 2456.6 | 251.13 | 2358.5 | 2609.6 | 0.8312 | 7.9096 |
| 65 | 0.2503 | 1.0199 | 6.197 | 272.02 | 2463.1 | 272.06 | 2346.2 | 2618.3 | 0.8935 | 7.8310 |
| 70 | 0.3119 | 1.0228 | 5.042 | 292.95 | 2469.6 | 292.98 | 2333.8 | 2626.8 | 0.9549 | 7.7553 |
| 75 | 0.3858 | 1.0259 | 4.131 | 313.90 | 2475.9 | 313.93 | 2321.4 | 2635.3 | 1.0155 | 7.6824 |
| 80 | 0.4739 | 1.0291 | 3.407 | 334.86 | 2482.2 | 334.91 | 2308.8 | 2643.7 | 1.0753 | 7.6122 |
| 85 | 0.5783 | 1.0325 | 2.828 | 355.84 | 2488.4 | 355.90 | 2296.0 | 2651.9 | 1.1343 | 7.5446 |
| 90 | 0.7014 | 1.0360 | 2.361 | 376.85 | 2494.5 | 376.92 | 2283.2 | 2660.1 | 1.1925 | 7.4791 |
| 95 | 0.8465 | 1.0397 | 1.982 | 397.88 | 2500.6 | 397.96 | 2270.2 | 2668.1 | 1.2500 | 7.4159 |
| 100 | 1.014 | 1.0435 | 1.673 | 418.94 | 2506.5 | 419.04 | 2257.0 | 2676.1 | 1.3069 | 7.3549 |

Elaborado por: (Michael Moran, 2005).

Tabla B. Tabla de vapor y agua saturada en base a presión.

| Presión | Temp, bar | Volumen específico | | Energía interna | | Entalpía | | | Entropía | |
|---------|--------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | m ³ /kg | | kJ/kg | | kJ/kg | | | kJ/kg K | |
| | | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Vapor | Líquido | Vapor |
| | °C | sat, v _f × 10 ³ | sat, v _g | sat, u _f | sat, u _g | sat, h _f | vaporiz, h _{fg} | sat, h _g | sat, s _f | sat, s _g |
| 0,04 | 28,96 | 1,0040 | 34,800 | 121,45 | 2415,2 | 121,46 | 2432,9 | 2554,4 | 0,4226 | 8,4746 |
| 0,06 | 36,16 | 1,0064 | 23,739 | 151,53 | 2425,0 | 151,53 | 2415,9 | 2567,4 | 0,5210 | 8,3304 |
| 0,08 | 41,51 | 1,0084 | 18,103 | 173,87 | 2432,2 | 173,88 | 2403,1 | 2577,0 | 0,5926 | 8,2287 |
| 0,10 | 45,81 | 1,0102 | 14,674 | 191,82 | 2437,9 | 191,83 | 2392,8 | 2584,7 | 0,6493 | 8,1502 |
| 0,20 | 60,06 | 1,0172 | 7,649 | 251,38 | 2456,7 | 251,40 | 2358,3 | 2609,7 | 0,8320 | 7,9085 |
| 0,30 | 69,10 | 1,0223 | 5,229 | 289,20 | 2468,4 | 289,23 | 2336,1 | 2625,3 | 0,9439 | 7,7686 |
| 0,40 | 75,87 | 1,0265 | 3,993 | 317,53 | 2477,0 | 317,58 | 2319,2 | 2636,8 | 1,0259 | 7,6700 |
| 0,50 | 81,33 | 1,0300 | 3,240 | 340,44 | 2483,9 | 340,49 | 2305,4 | 2645,9 | 1,0910 | 7,5939 |
| 0,60 | 85,94 | 1,0331 | 2,732 | 359,79 | 2489,6 | 359,86 | 2293,6 | 2653,5 | 1,1453 | 7,5320 |
| 0,70 | 89,95 | 1,0360 | 2,365 | 376,63 | 2494,5 | 376,70 | 2283,3 | 2660,0 | 1,1919 | 7,4797 |
| 0,80 | 93,50 | 1,0380 | 2,087 | 391,58 | 2498,8 | 391,66 | 2274,1 | 2665,8 | 1,2329 | 7,4346 |
| 0,90 | 96,71 | 1,0410 | 1,869 | 405,06 | 2502,6 | 405,15 | 2265,7 | 2670,9 | 1,2695 | 7,3949 |
| 1,00 | 99,63 | 1,0432 | 1,694 | 417,36 | 2506,1 | 417,46 | 2258,0 | 2675,5 | 1,3026 | 7,3594 |
| 1,50 | 111,4 | 1,0528 | 1,159 | 466,94 | 2519,7 | 467,11 | 2226,5 | 2693,6 | 1,4336 | 7,2233 |
| 2,00 | 120,2 | 1,0605 | 0,8857 | 504,49 | 2529,5 | 504,70 | 2201,9 | 2706,7 | 1,5301 | 7,1271 |
| 2,50 | 127,4 | 1,0672 | 0,7187 | 535,10 | 2537,2 | 535,37 | 2181,5 | 2716,9 | 1,6072 | 7,0527 |
| 3,00 | 133,6 | 1,0732 | 0,6058 | 561,15 | 2543,6 | 561,47 | 2163,8 | 2725,3 | 1,6718 | 6,9919 |
| 3,50 | 138,9 | 1,0786 | 0,5243 | 583,95 | 2546,9 | 584,33 | 2148,1 | 2732,4 | 1,7275 | 6,9405 |
| 4,00 | 143,6 | 1,0836 | 0,4625 | 604,31 | 2553,6 | 604,74 | 2133,8 | 2738,6 | 1,7766 | 6,8959 |
| 4,50 | 147,9 | 1,0882 | 0,4140 | 622,25 | 2557,6 | 623,25 | 2120,7 | 2743,9 | 1,8207 | 6,8565 |
| 5,00 | 151,9 | 1,0926 | 0,3749 | 639,68 | 2561,2 | 640,23 | 2108,5 | 2748,7 | 1,8607 | 6,8212 |
| 6,00 | 158,9 | 1,1006 | 0,3157 | 669,90 | 2567,4 | 670,56 | 2086,3 | 2756,8 | 1,9312 | 6,7600 |
| 7,00 | 165,0 | 1,1080 | 0,2729 | 696,44 | 2572,5 | 697,22 | 2066,3 | 2763,5 | 1,9922 | 6,7080 |
| 8,00 | 170,4 | 1,1148 | 0,2404 | 720,22 | 2576,8 | 721,11 | 2048,0 | 2769,1 | 2,0462 | 6,6628 |
| 9,00 | 175,4 | 1,1212 | 0,2150 | 741,83 | 2580,5 | 742,83 | 2031,1 | 2773,9 | 2,0946 | 6,6226 |
| 10,0 | 179,9 | 1,1273 | 0,1944 | 761,68 | 2583,6 | 762,81 | 2015,3 | 2778,1 | 2,1387 | 6,5863 |
| 15,0 | 198,3 | 1,1539 | 0,1318 | 843,16 | 2594,5 | 844,84 | 1947,3 | 2792,2 | 2,3150 | 6,4448 |
| 20,0 | 212,4 | 1,1767 | 0,09963 | 906,44 | 2600,3 | 908,79 | 1890,7 | 2799,5 | 2,4474 | 6,3409 |
| 25,0 | 224,0 | 1,1973 | 0,07998 | 959,11 | 2603,1 | 962,11 | 1841,0 | 2803,1 | 2,5547 | 6,2575 |
| 30,0 | 233,9 | 1,2165 | 0,06668 | 1004,8 | 2604,1 | 1008,4 | 1795,7 | 2804,2 | 2,6457 | 6,1869 |
| 35,0 | 242,6 | 1,2347 | 0,05707 | 1045,4 | 2603,7 | 1049,8 | 1753,7 | 2803,4 | 2,7253 | 6,1253 |
| 40,0 | 250,4 | 1,2522 | 0,04978 | 1082,3 | 2602,3 | 1087,3 | 1714,1 | 2801,4 | 2,7964 | 6,0701 |
| 45,0 | 257,5 | 1,2692 | 0,04406 | 1116,2 | 2600,1 | 1121,9 | 1676,4 | 2798,3 | 2,8610 | 6,0199 |
| 50,0 | 264,0 | 1,2859 | 0,03944 | 1147,8 | 2597,1 | 1154,2 | 1640,1 | 2794,3 | 2,9202 | 5,9734 |
| 60,0 | 275,6 | 1,3187 | 0,03244 | 1205,4 | 2589,7 | 1213,4 | 1571,0 | 2784,3 | 3,0267 | 5,8892 |
| 70,0 | 285,9 | 1,3513 | 0,02737 | 1257,6 | 2580,5 | 1267,0 | 1505,1 | 2772,1 | 3,1211 | 5,8133 |
| 80,0 | 295,1 | 1,3842 | 0,02352 | 1305,6 | 2569,8 | 1316,6 | 1441,3 | 2758,0 | 3,2068 | 5,7432 |
| 90,0 | 303,4 | 1,4178 | 0,02048 | 1350,5 | 2557,8 | 1363,3 | 1378,9 | 2742,1 | 3,2858 | 5,6772 |
| 100 | 311,1 | 1,4524 | 0,01803 | 1393,0 | 2544,4 | 1407,6 | 1317,1 | 2724,7 | 3,3596 | 5,6141 |
| 110 | 318,2 | 1,4886 | 0,01599 | 1433,7 | 2529,8 | 1450,1 | 1255,5 | 2705,6 | 3,4295 | 5,5527 |
| 120 | 324,8 | 1,5267 | 0,01426 | 1473,0 | 2513,7 | 1491,3 | 1193,6 | 2684,9 | 3,4962 | 5,4924 |

Elaborado por: (Michael Moran, 2005).

1.6.1 Estado Actual de la Investigación

Instituto PCE.- se considera una prioridad fundamental considerar las características fundamentales de una bomba de vacío para su correcta selección, los cuales son:

- 1) La presión límite o presión mínima de entrada.
- 2) La cantidad de gas evacuado por unidad de tiempo.
- 3) El tiempo necesario para alcanzarla.

Estos factores no dependen sólo de la bomba utilizada, sino también del recipiente a evacuar (presión de vapor de sus partes constitutivas, fugas, etc.) (Instituto P.C.E., 2014).

CHEMISTRY I - LABORATORY EXERCISE MANUAL.- la determinación de la temperatura de ebullición de algunos líquidos puros son parte de una serie de metodologías empleadas para establecer tablas de cambio de fase, con respecto a la temperatura y a la presión (Jeschofnig, 2001).

Termodinámica- Yanes A Cengel.- una sustancia pura presenta en su composición química una estructura fija en cualquier parte. Así mismo, no tiene que estar conformada por un solo compuesto, tal es el caso del aire, en donde cualquier volumen que se tome del mismo, presenta las mismas proporciones de gases que lo compone y se da al ser esta una mezcla homogénea. Por lo contrario, una mezcla de agua y aceite no es una sustancia pura, debido a que el aceite no es soluble en el agua y se separa en dos fases muy diferenciadas (Yanes Cengel, 2011).

Las sustancias puras presentan fases diferentes, como es el caso del cobre que a temperatura y presión ambiente es un sólido, pero a las mismas condiciones el mercurio

es líquido y el nitrógeno es gas. Aunque existen tres fases principales (líquida, sólida y gaseosa), una sustancia puede tener varias fases dentro de la principal. Por ejemplo, el hierro puede tener tres fases sólidas o el helio puede estar en dos fases distintas de líquido, etc. (Yanes Cengel, 2011).

1.7 ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA

Dentro de los aspectos de mayor importancia se encuentra el funcionamiento de la bomba de vacío y considerar el volumen de aire que contiene el sistema en donde se desarrolla el estudio. Además, se debe considerar que al trabajar con agua como sustancia pura, se tiene la facilidad de poseer todos los datos requeridos para la investigación al ser esta una de las sustancias más estudiadas a lo largo de la historia. Con toda esta información se garantiza la operación del equipo y además, una serie de medidas de seguridad de operación.

La investigación se encuentra relacionada a una serie de experimentaciones a pequeña escala que se han efectuado a lo largo del tiempo para poder estudiar y comprender el cambio de las fases de una sustancia pura y la caracterización de las propiedades termodinámicas en relación a la temperatura y presión de operación.

Cabe mencionar que la investigación se fundamenta principalmente en el libro de Termodinámica de los autores *Yuner A Cengel* y *Michael A. Boles*, en donde se estudia con mayor profundidad a las sustancias puras.

1.8 MARCO CONCEPTUAL

Principios de la Termodinámica:

- **La Energía se Conserva.-** la primera ley de la termodinámica detalla que cualquier tipo de energía, se conserva o se transforma, pero por ninguna excepción conocida,

la energía puede crearse o destruirse. La energía se encuentra presente todo el tiempo en un constante ciclo de transformación (Voet, 2004).

- **La entropía del Universo tiende a incrementar en relación al tiempo.-** el segundo principio de la termodinámica dictamina que si bien la materia y la energía no se pueden crear ni destruir, sí que se transforman, establece el sentido en el que se produce dicha transformación. Esto se refiere a como las moléculas tienden al desorden y como fluyen en una dirección (Rolle, 2011).
- **En un Sistema finito de procesos definidos, no es posible alcanzar el cero absoluto.-**es el resultado de experimentar en un régimen térmico cercano al cero absoluto. De esta manera, se expresa que es imposible alcanzar el cero absoluto con un proceso que no sea reversible. Esto se debe a que cerca del cero absoluto, el cambio de entropía es cero, y la única forma reversible de bajar más la entropía, resultaría de tener un ambiente más frío que el del cero absoluto, lo cual es imposible (Rolle, 2011).
- **Bomba de Vacío.-** el método de trabajo de las bombas de vacío es extraer moléculas de gas de un volumen sellado para generar un vacío parcial. Dado que el rango de trabajo es de una presión limitada, la evacuación de los sistemas de vacío se realiza en varias etapas, usando en cada una de ellas una clase de bomba distinta (Instituto P.C.E., 2014).

El funcionamiento de las bombas de vacío se define como la velocidad de bombeo y la cantidad de gas evacuado por una unidad de tiempo. Dos características esenciales de las bombas de vacío son:

- La presión límite, también llamada presión mínima de entrada.
- El tiempo necesario para alcanzar dicha presión (Quiminet, 2014).

- **Líquido Saturado:** se denomina a la fase del agua que si al agregar energía (calor), una fracción de él pasa a la fase vapor, a presión ambiente (1 bar), lo que ocurre a los 100°C. La energía agregada produce un cambio de fase y es un aporte de calor latente (Román, 1999).
- **Líquido Subsaturado:** es cuando al agregar una pequeña cantidad de energía al líquido genera un aumento de temperatura. La energía agregada produce un cambio de temperatura y no de fase, en este caso se considera un aporte de calor sensible (Román, 1999).
- **Vapor Sobrecalentado.-** se crea por el sobrecalentamiento del vapor saturado o húmedo para alcanzar un punto mayor al de saturación. Esto quiere decir que es un vapor que contiene mayor temperatura y menor densidad que el vapor saturado en una misma presión. También es usado principalmente para el movimiento-impulso de aplicaciones de equipos como turbinas, y normalmente no es usado para las aplicaciones de transferencia de calor (TLV International Inc., 2014).
- **Vapor Húmedo.-**es la forma más común de vapor que se pueda experimentar en plantas industriales. Cuando el vapor se genera utilizando una caldera, generalmente contiene humedad proveniente de las partículas de agua no vaporizadas, las cuales son arrastradas hacia las líneas de distribución de vapor. Incluso las mejores calderas pueden descargar vapor conteniendo de un 3% a un 5% de humedad (TLV International Inc., 2014).
- **Manómetro en "U".-** el término manómetro es el empleado para describir a los instrumentos empleados para medir presión. La forma más tradicional de medir presión en forma precisa utiliza un tubo de vidrio en forma de "U", donde se deposita una cantidad de líquido de densidad conocida (para presiones altas, se utiliza habitualmente mercurio para que el tubo tenga dimensiones razonables; sin

embargo, para presiones pequeñas el manómetro en U de mercurio sería poco sensible).

Este tipo de manómetros tiene una ganancia que expresa la diferencia de presión entre los dos extremos del tubo mediante una medición del diferencial de alturas (es decir, una longitud).

- **Válvulas de venteo.-** es un elemento que permite evacuar rápidamente el fluido de suministro de una válvula operada neumáticamente o manualmente. La existencia de este tipo de implementos garantiza un correcto y seguro funcionamiento de sistemas cerrados que contiene altas presiones o flujos. También se consideran como instrumentos de seguridad (EPTA, 2014).

1.9 HIPÓTESIS.

Para el diseño de equipos, no se aplica el uso de una Hipótesis.

1.10 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES.

Variable Independiente.

- Temperatura del entorno.
- Presión del entorno.

Variables Dependientes.

- Temperatura del sistema.
- Presión del sistema.
- Materiales constituyentes de los equipos.

2 MÉTODO

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.

Para el progreso de prácticas de laboratorio, el programa tiene la utilidad de evaluar si los datos obtenidos en la práctica difieren o no de los valores bibliográficos.

2.1 NIVEL DE ESTUDIO.

Exploratorio.-garantiza la consolidación de conceptos y ayuda a esclarecer de mejor manera la termodinámica de fluidos, mediante la revisión y puesta en práctica de conceptos, fórmulas y teorías relacionadas a la Ingeniería.

Explicativo.-permite comprender de manera práctica el cambio de fases en una sustancia pura, de igual manera ayuda a establecer los diagramas relacionados a los fenómenos presentes de la investigación y finalmente entender los conceptos de las

propiedades termodinámicas de un fluido. Al manipular las variables independientes se relaciona el vínculo o dependencia existente con las propiedades termodinámicas de la sustancia pura. En esta investigación se empleó agua destilada como sustancia pura.

2.2 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.

La investigación se realizó mediante la modalidad de **Proyecto Especial**. El fundamento de la modalidad consiste en diseñar y construir un equipo tangible que sea de uso de la facultad, como material adicional de aprendizaje para los estudiantes, que facilita el entendimiento y conceptualización de aspectos relacionados a la cátedra de Termodinámica.

2.3 MÉTODO.

Método Deductivo.-esta investigación se basa en transformar tecnologías de gran escala a procesos a escala de laboratorio, manteniendo las condiciones y parámetros bien identificados y controlados, para garantizar la seguridad del alumno que lo utilice.

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población: Sustancias Puras.

Muestras: Agua Destilada.

2.5 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Como instrumentos fundamentales para el desarrollo de la investigación se emplean procedimientos prácticos y también análisis de los resultados obtenidos en cada una de las experimentaciones.

Mediante la **experimentación** se realiza el estudio del fenómeno correspondiente a la sustancia pura escogida, bajo las condiciones preestablecidas y normadas en estudios anteriores. Estos análisis se efectuaron en las instalaciones de la Universidad Internacional SEK, específicamente en los laboratorios.

Pruebas piloto.-se empleó pruebas piloto como medidas de control para el equipo, esto permite garantizar el funcionamiento correcto del mismo, de esta manera se pudo validar la investigación y desarrollar futuras prácticas en donde se amplíen y consoliden conceptos mediante el aprendizaje práctico. La importancia de las pruebas piloto es permitir validar la metodología desarrollada en este estudio, y para este caso se efectuaron 20 réplicas de la práctica.

2.6 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

La modalidad de validación del método consistió en realizar una serie de prácticas repetitivas que como resultado reflejen datos reales o similares a los existentes en tablas o diagramas de las fuentes bibliográficas, desarrollando el número indicado de réplicas para brindar validez a los resultados.

En base a los resultados de las pruebas piloto, se establecieron las condiciones de operación del equipo que garanticen obtener datos acertados.

El método práctico que se ha efectuado en el equipo requiere de mucha precisión por parte del estudiante que lo esté manipulando. Cuanto más precisa sea la recolección de datos de la práctica, se obtienen resultados más reales y acertados. En el transcurso de la práctica se debe manipular el equipo con cuidado para evitar inconvenientes.

Se debe conocer que los datos obtenidos en la investigación son específicamente para condiciones de presión y temperatura de Quito-Ecuador, específicamente de las instalaciones de la Universidad.

Otra medida de control para la brindar confiabilidad de los datos es mantener los equipos o partes internas calibradas, como es el caso del correcto funcionamiento del termómetro, el cual debe registrar una temperatura ambiente de alrededor de 21,8 °C (temperatura ambiente promedio en el laboratorio de la Universidad). La cantidad empleada de agua destilada debe ser siempre de 100 ml, debido a que el diseño y construcción del equipo se efectuó con esa cantidad como parámetro de diseño. El tubo de cristal del manómetro en “U” se debe encontrar sin golpes o trizaduras y el nivel de mercurio de las dos columnas debe coincidir en el valor de 26 cm de mercurio, en base a la escala planteada en la sección milimetrada. Finalmente, la bomba no debe presentar fugas de cualquier tipo de fluido y el nivel de aceite debe estar dentro del nivel establecido en el mismo equipo.

Tomando en cuenta estas recomendaciones, se garantizó el funcionamiento del sistema de vacío y que los resultados de las experimentaciones sean acertados.

2.7 PROCESAMIENTO DE DATOS

Se debe mantener un registro ordenado de los datos obtenidos para cada una de las variables que se haya evaluado (presión y temperatura), a partir de los mismos se procede a emplear fundamentos, fórmulas y deducciones para calcular las propiedades termodinámicas (entropía, entalpía y volumen específico) de las variaciones de temperatura del agua destilada (sustancia pura) o para cada diferencial de presión

respectivamente y es por esto que se debe manejar los datos de una manera ordenada, mediante un registro bien estructurado. Se recomienda emplear tablas con la disposición que se muestra en la “Tabla C”, de esta forma es más sencillo interpretar los mismos.

Tabla C. Formato de tabla para recopilación de datos experimentales.

| <u>Temperatura (t °C)</u> | <u>h1 (cm_{Hg})</u> | <u>h2 (cm_{Hg})</u> |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Ingresar temperatura inicial | Ingresar altura inicial del manómetro. | Ingresar altura final del manómetro. |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

A partir de los datos obtenidos y calculados se realizaron las curvas Presión vs Temperatura, Presión vs Volumen Específico, entre otras, dependiendo de los requerimientos de la práctica que se desee realizar.

3 RESULTADOS

3.1 Diseño y Construcción

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.

Sustancia pura.- en 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 1.5”.

Figura 1.5.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. Las mantas calefactoras se clasifican según capacidad y consumo energético. En este caso, el criterio de diseño es la capacidad de calor que puede transmitir al agua destilada y si es suficiente para alcanzar el punto de ebullición.

En la “Figura 1.6” 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. Por esta razón, se optó por la utilización de una manta de 250 ml, que garantiza una buena transferencia de calor y alcanza la temperatura deseada sin una pérdida significativa de energía, además, esta debe trabajar en cualquier tipo de diseño con un margen de 20% de seguridad (JP Selecta, 2014).

Figura 1.6.Opciones de fuentes de calentamiento.



Elaborado por: (Stuart, 2014).

En la “Figura 1.7” se describe un segmento del sistema de vacío, observando que la manta cubre perfectamente al balón y a la sustancia pura garantizando su calentamiento. La sustancia debe estar en contacto con la fuente de calentamiento todo el tiempo.

Figura 1.7.Primera parte del sistema de vacío.



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 reflujos 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. Además, esta boquilla 24/40 esmerilada es la más común para balones de 250 ml, por lo que se garantiza una perfecta conexión entre el balón y el refrigerante. Una representación del refrigerante seleccionado se muestra en la “Figura 1.8”.

Figura 1.8.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 1.9” se presenta los tipos de bombas presentes en el mercado nacional.

Figura 1.9.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 2.0”.

Figura 2.0. Manómetro en “U”.



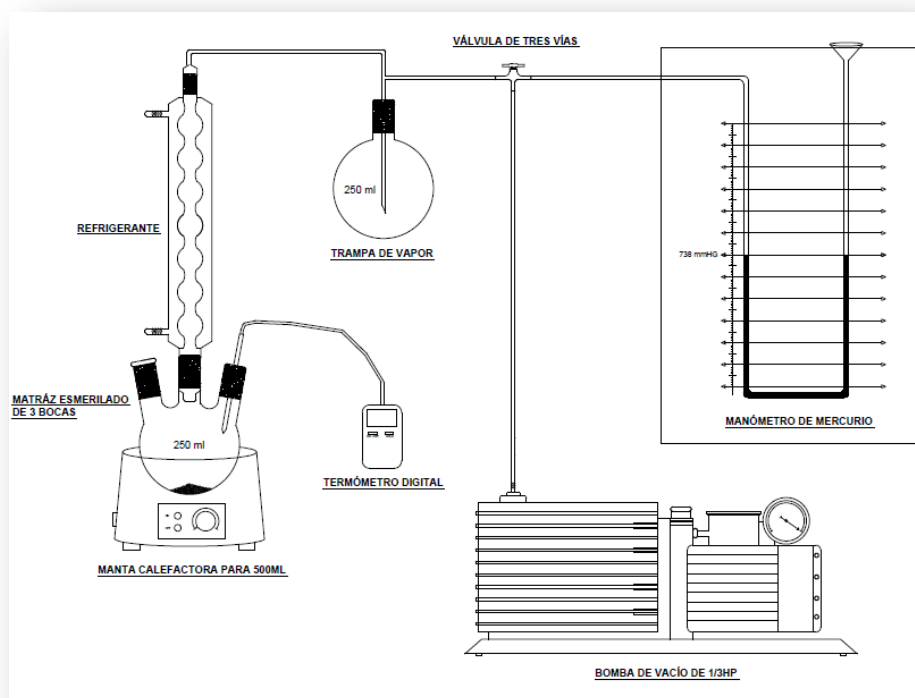
Elaborado por: (Bravo, 2014).

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. Para esta parte del equipo se empleó un matraz de igual capacidad que el matraz principal para prevenir que el agua destila sobrepase esta etapa. Mediante la “Figura 2.1” muestra el esquema del sistema de vacío completo.

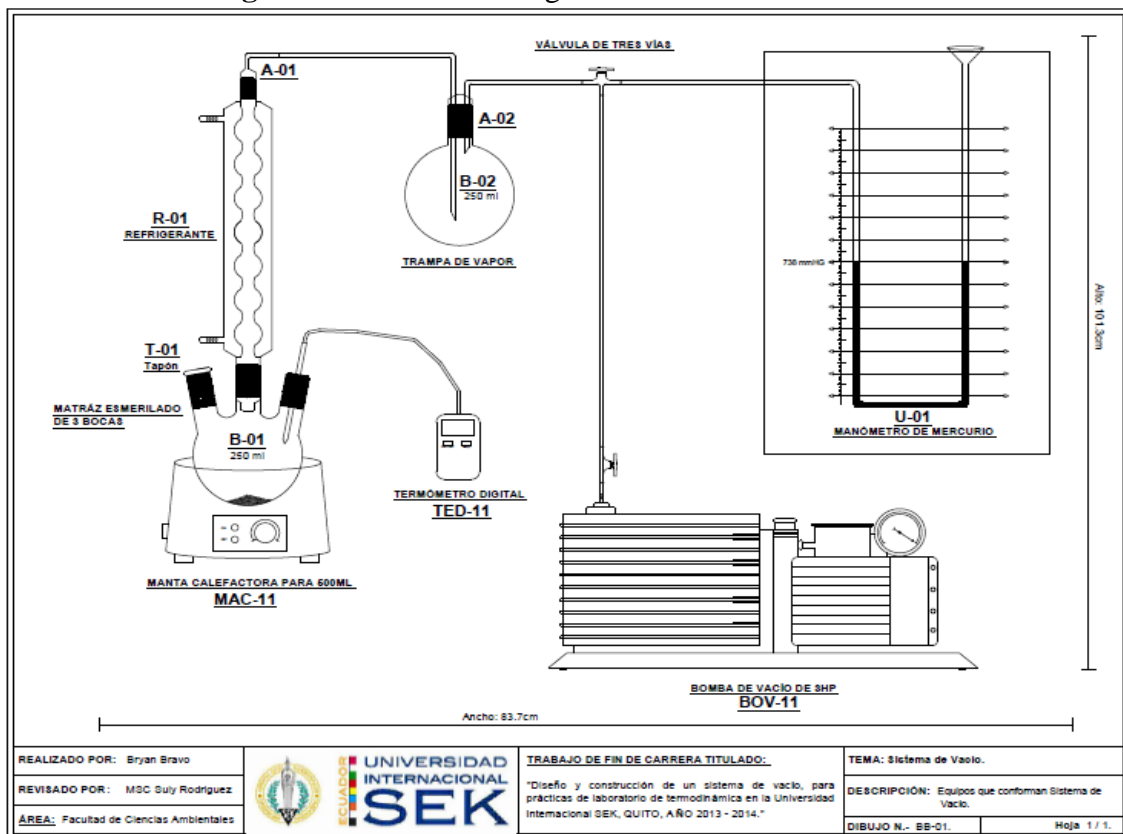
Figura 2.1.Esquema preliminar del sistema de vacío.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

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 2.2”.

Figura 2.2. Dimensiones globales del sistema de vacío.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

3.2 Levantamientos de Datos.

El desarrollo de la investigación se efectuó en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK, con el fin de obtener datos consistentes y reales. Para la recolección

de los datos fue indispensable comenzar con el diseño del sistema de vacío, por lo que se procedió al ensamble del equipo con el objetivo de verificar su funcionamiento, condiciones de operación y descartar fallas o fugas.

Como medida de seguridad y para garantizar un aislamiento completo del sistema con el exterior, se emplearon abrazaderas metálicas entre las concesiones de los instrumentos. Finalmente, en la “Figura 2.3” se visualiza el sistema de vacío acoplado por completo.

Figura 2.3. Sistema de vacío ensamblado.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Mediante la experimentación se fijó el protocolo a seguir al momento de realizar las prácticas con este tipo de sistema propuesto en la investigación. El protocolo es necesario para que el investigador o experimentador pueda repetir cada paso por cada réplica, estableciéndose las acciones necesarias para el funcionamiento correcto del sistema, evitando errores de ejecución por parte del investigador.

3.2.1 Protocolo

Inicialmente, es fundamental evaluar de manera visual que el conjunto de instrumentos que conforman el sistema de vacío se encuentren en buen estado y en la posición adecuada, tomando en cuenta el esquema planteado anteriormente en la “Figura 2.3”.

Luego se procedió a verificar que la manta calefactora funcione con normalidad al igual que la bomba de vacío. El modo de verificar su funcionamiento consiste en conectarlos a la corriente y accionar los interruptores de encendido y así analizar si están funcionando correctamente o no.

Como medida de seguridad para los equipo, en la bomba de vacío el nivel de aceite debe estar dentro de lo preestablecido por el fabricante, nunca por debajo del nivel marcado y la manta calefactora debe trabajar con corriente de 220 voltios.

De igual manera, fue necesario constatar que el nivel de mercurio en el manómetro corresponda al valor de 26 cm de mercurio en las dos columnas, así como se muestra en la “Figura 2.4”, esto garantizó una buena experimentación con resultados válidos, reduciendo así, los inconvenientes que se puedan manifestar en el sistema.

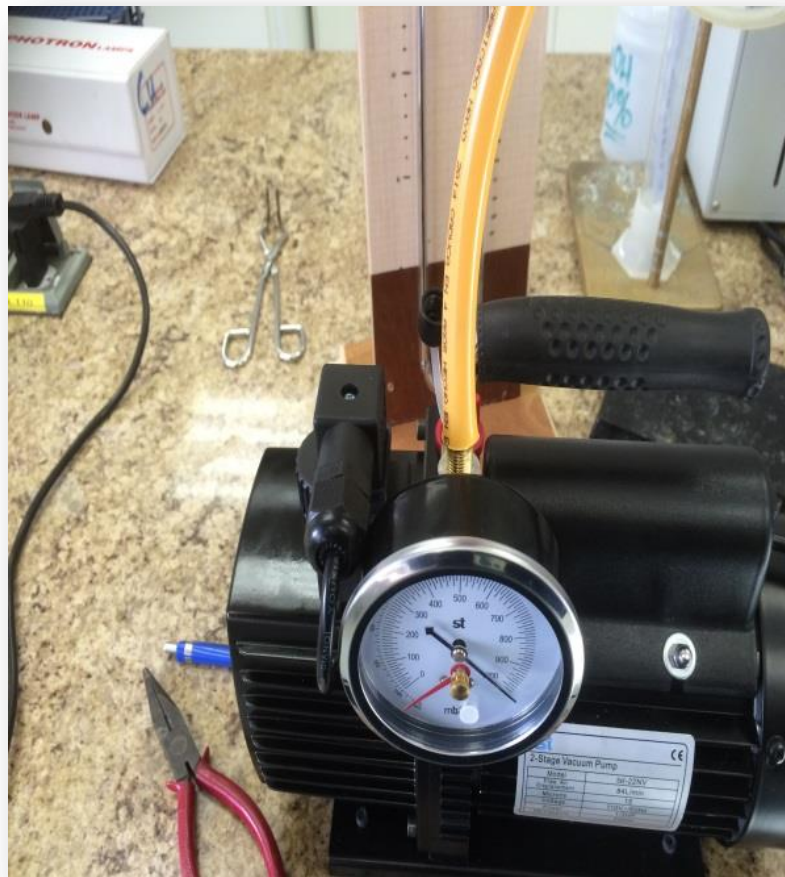
Figura 2.4. Nivel inicial en las columnas de mercurio 26 cm.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

A continuación, se conectó el sistema a la bomba de vacío, verificando que el interruptor se encuentre en apagado, como se muestra en la “Figura 2.5”. Posteriormente, se conectaron los equipos (bomba y manta calefactora) a una fuente de energía eléctrica.

Figura 2.5. Conexión del sistema con la bomba de vacío.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Además, es necesario recordar que el voltaje de funcionamiento para la bomba de vacío es 110 voltios y para la manta calefactora es de 220 voltios. Se debe tener cuidado al momento de conectarlos para evitar daños o pérdidas de los equipos. Una vez conectados a la luz, se procedió a suministrar al sistema la cantidad de 100 ml de agua destilada (“Figura 2.6”), debido a que es la cantidad base a la cual se fundamentó el diseño del sistema de vacío.

Figura 2.6. Agua destilada (100 ml).



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Para continuar con la experimentación, se retiró la tapa de cristal en una de las boquillas del balón principal, se suministró la sustancia pura acompañada de núcleos de ebullición para que permitan tener una mejor distribución del calor y provoquen una ebullición más controlada, como se muestra en las “Figuras 2.7” y “Figuras 2.8”. Los núcleos de ebullición empleados fueron perlas de vidrio inertes que siempre deben ser ingresados al sistema.

Figura 2.7 Agua destilada al sistema.**Figura 2.8.** Núcleos de ebullición.

Elaborado por: (Bravo, 2014).

A continuación, se verificó la posición inicial de las dos llaves. La llave de tres vías no se debe abrir en ningún momento del proceso porque podría originar el paso del mercurio hacia todo el sistema, dando como resultado quizás el daño más costoso a la bomba. En la “Figura 2.9” se muestra la posición correcta que debe llevar la válvula de tres vías. La válvula o llave de paso será muy útil como válvula de alivio o venteo para el sistema, ya que esta permite controlar el ingreso de aire y esta muestra en la “Figura 3.0”. Las posiciones correctas de las válvulas son:

Figura 2.9. Posición correcta para válvula de 3 vías.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Figura 3.0. Válvula de venteo.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Al mantener cerrado el paso de la válvula de venteo se puede accionar la bomba de vacío con normalidad sin que el mercurio recorra todo el sistema de una manera

descontrolada. A continuación, se accionó la bomba y, con sumo cuidado, se abrió la válvula hasta alcanzar un diferencial de alturas en las columnas de mercurio de 40 cm e inmediatamente se volvió a cerrar la llave de venteo para poder apagar la bomba y no perder el vacío generado en el sistema. Se recomienda dejar un diferencial de alturas de 42 cm entre las dos columnas y luego de apagar y desconectar la bomba del sistema, mediante el uso de la válvula de alivio, se deja ingresar pequeñas cantidades de aire al sistema hasta fijar los 40 cm establecidos como condiciones iniciales.

Se constató que no existían pérdidas de presión en el sistema, mediante la verificación del manómetro en “U”, caso contrario, será necesario abrir la válvula de venteo para que la presión del sistema sea igual a la del ambiente, luego se lubricó las partes esmeriladas con grasa para que el sello sea más adecuado y se volvió a conectar el sistema a la bomba de vacío para repetir nuevamente el proceso. La “Figura 3.1” muestra cómo se lubrican las conexiones.

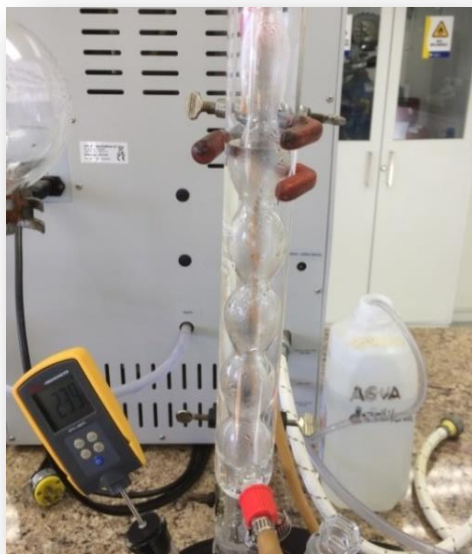
Figura 3.1. Adición de grasas en conexiones.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Luego se accionó el sistema de ingreso de agua al refrigerante, como se muestra en la “Figura 3.2”, para que el agua dentro del mismo se encuentre en un flujo constante y finalmente se encendió la manta calefactora, en una potencia de nivel 40, como se ilustra en la “Figura 3.3”.

Figura 3.2. Circulación de agua en refrigerante.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Figura 3.3. Inicio del calentamiento a una potencia de 40.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

El tiempo requerido para que el agua alcance el punto de ebullición y que la temperatura se estabilice empleando la potencia de 40 en la manta, es de 9 a 10 minutos. Esto se debe a que la presión absoluta del sistema es inferior a la del entorno, es así como el agua alcanza el punto de ebullición a una temperatura de 67 °C. En la “Figura 3.4” se muestra el sistema de vacío en funcionamiento. La válvula de venteo se encuentra en posición de cerrado, por lo cual aísla las condiciones del sistema. Al visualizar el manómetro en “U”, en la “Figura 3.4”, se distingue un diferencial de alturas entre las dos columnas, este valor corresponde a la presión manométrica cuando se trabaja con sustancias puras. Este valor permite calcular la presión absoluta correspondiente a cada temperatura.

Figura 3.4. Sistema de vacío en funcionamiento.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Posteriormente, se redujo la potencia de la placa a la mitad (nivel 20) para mantener una temperatura baja, esto permite que sea más evidente la estabilización de la temperatura a distintas presiones, para lo cual se puede dar inicio a la manipulación de la variable presión. Es necesario emplear la válvula de venteo para ingresar un flujo de aire al sistema progresivamente. Cada vez que se adiciona un centímetro y medio de aire al sistema, registrado en manómetro en “U”, será necesario esperar que la temperatura del interior del balón se estabilice respectivamente para esa medición de presión y de esta manera se recolectó los datos de la lectura del diferencial de las alturas en el manómetro, así como de la temperatura interna del sistema. Este proceso se repitió hasta igualar el nivel de mercurio a 26 cm en las dos columnas y en donde se alcanza una temperatura de alrededor de 91.7°C como se muestra en la “Figura 3.5”.

Figura 3.5. Temperatura estable al final de la experimentación.



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 D” se representa un formato diseñado para la recolección de datos.

Tabla D. Formato para la recolección de datos experimentales.

| DATOS DE INGRESO | | |
|--|--|--|
| <u>Temperatura (t °C)</u> | <u>h₁ (cm_{Hg})</u> | <u>h₂ (cm_{Hg})</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).

Finalmente, después de una serie consecutiva de repeticiones de la práctica se consigue registrar datos con mayor certeza para la investigación. La ejecución de réplicas, a más de que permite validar el método, ayudan a identificar errores al momento del registro de datos, por lo cual se ha establecido condiciones óptimas de manejo de los equipos y se las detalla a continuación.

- Realizar la experimentación en un superficie plana, de tal manera que el manómetro en “U” se encuentre alineado y las alturas proyectadas no sean incorrectas.

- Inspeccionar que no exista partículas de mercurio disperso por el tubo de cristal.
- Accionar la bomba de vacío, con la válvula de venteo cerrada y conectada a la bomba, esto garantiza que el mercurio no sea absorbido por la bomba. Una vez encendida la bomba se procede a manipular la válvula de venteo para permitir generar el vacío en el sistema y se cerrará dicha válvula en el momento que se haya alcanzado la presión requerida dentro del sistema (18,44 kPa ; $\Delta h = 40$ cm).
- Manipular la válvula de venteo con cuidado para evitar que se presionen las conexiones o que se genere movimiento en las otras partes del sistema (manta calefactora, refrigerante, etc.)
- Una vez iniciada la práctica es necesario tener contacto visual constante con el termómetro para identificar cuando la temperatura se fije.
- Se reduce la potencia de calentamiento de la manta calefactora una vez que se haya alcanzado el primer punto de ebullición, caso contrario la sustancia se calentará violentamente y no será posible recolectar los datos.
- Adicionar siempre un centímetro y medio de aire al sistema, de esta manera será posible evidenciar como la temperatura incrementa hasta estabilizarse al momento de alcanzar el punto de ebullición específico a cada presión.

Tomando en cuenta las condiciones óptimas de operación del sistema de vacío detalladas con anterioridad, los datos obtenidos presentarán un alto porcentaje de acierto.

3.3 Presentación y Análisis de Resultados.

Los datos recolectados se basaron en las 20 réplicas efectuadas debido al margen de error de la técnica, cuidando siempre que todas las condiciones de trabajo sean las mismas en cada réplica, para que ningún error pueda alterar los resultados. Las réplicas

se las encuentra en el “ANEXO 1” y en cada una de estas, se observan los cálculos necesarios para el desarrollo de la curva de saturación del agua destilada.

Para determinar la curva de saturación de agua primero se realizó un análisis estadístico para brindar confiabilidad de los resultados y analizar las variaciones que hay entre datos. Además, se calculó una media aritmética de todos los datos obtenidos, agrupándolos en tres variables importantes que son: temperatura, altura 1 (h_1) y altura 2 (h_2).

La media aritmética es una medida de tendencia, en la cual se agrupan datos referentes a un punto central, y es comúnmente conocida como promedio. En los tipos de medias, se encuentra la media muestral, que se calcula mediante la relación entre la sumatoria de los valores de las observaciones y el total de las mismas. Esta relación se la expresa de acuerdo a la siguiente ecuación (Webster, 2000):

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad \text{Ec. N° 7 (Webster, 2000).}$$

En donde, X representa la media muestral, $X_{1,2,3,n}$ son las observaciones o datos y n es el total de observaciones. Esta medida de tendencia se acopla perfectamente a la presente investigación, por lo que se realizó una tabla promedio o media de todos los valores de las réplicas.

De acuerdo a estos valores, se determinó otra medida de tendencia central llamada “Moda”. Esto se realizó debido a que es necesario un mayor análisis estadístico. La moda es la observación que se repite en un mayor número y esta fue utilizada para expresar los datos con respecto a las tres variables indicadas anteriormente.

Con estas medidas de tendencia, fue fundamental determinar las variaciones o la dispersión de los datos. Estas variaciones determinan cuan certeros son los datos

recolectados en el sistema de vacío. El primer indicador de desviación utilizado fue la varianza. Esta representa el promedio de las observaciones y la desviación que existe con respecto a la media. La ecuación necesaria para su cálculo se expresa a continuación (Webster, 2000).

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{N} \quad \text{Ec.N}^\circ 8 \text{ (Webster, 2000).}$$

En donde, X representa la media muestra, $X_{1,2,3,n}$ son las observaciones o datos, N es el total de observaciones y σ^2 es la varianza. Si a esta medida se la somete a una raíz cuadrada, se obtiene el segundo indicador de desviación, el cual es el conocido como “Desviación Estándar”. Este es el principal indicador de desviación de los resultados.

Las variables que se deben analizar, de acuerdo a medidas estadísticas, son la temperatura y las alturas. Se aplicó la ecuación número 7 y se obtuvieron los datos medios o promedios que se observan en la “Tabla E”.

Tabla E. 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 A y B” referente a los rangos de temperatura y presión. A partir de estos aspectos y verificando su validez, se efectuó la curva de saturación. Además, las alturas representan los valores que son utilizados para calcular el diferencial y respectivamente la presión absoluta. Por esta razón, es necesario calcular la siguiente medida de tendencia central explicada anteriormente. De esta manera, se aplicaron todas las fórmulas mencionadas anteriormente (Ec.Nº8) y se obtuvo la “Tabla F”, en donde se presenta la moda de las tres variables.

Tabla F. Análisis estadístico de la temperatura.

| | <u>Moda</u> | | |
|------------|-------------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,50 | 8,60 | 43,30 |
| | 68,65 | 9,00 | 43,10 |
| | 70,31 | 10,30 | 41,70 |
| | 72,20 | 11,20 | 40,90 |
| | 73,62 | 12,30 | 39,70 |
| | 75,40 | 13,00 | 39,10 |
| | 76,42 | 14,00 | 38,70 |
| | 78,51 | 15,00 | 37,90 |
| | 80,50 | 16,40 | 35,80 |
| | 81,31 | 17,00 | 35,00 |
| | 82,60 | 18,00 | 34,00 |
| | 83,28 | 19,00 | 32,90 |

| | | |
|-------|-------|-------|
| 84,20 | 20,00 | 31,90 |
| 85,57 | 21,30 | 31,00 |
| 86,40 | 22,00 | 30,00 |
| 87,32 | 23,00 | 29,10 |
| 89,10 | 24,00 | 28,00 |
| 90,64 | 25,30 | 26,80 |
| 91,64 | 26,00 | 26,00 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Se debe analizar la anterior tabla, porque representan a los valores que se repitieron en el transcurso de las prácticas. Esto se efectuó con el fundamento de obtener datos representativos de las muestras realizadas y son pilares fundamentales para validar la investigación.

Estos valores de presión son manométricos, esto quiere decir que no se toma en consideración a la presión atmosférica. Este dato es sumamente importante para realizar los cálculos de presión a nivel de Quito. Si se agrega el valor de la presión atmosférica en Quito, cuyo valor es de 53.831 mm Hg, se obtiene el correcto dato de la presión absoluta a una temperatura específica. Esta presión no puede ser calculada tan solo con la sumatoria de las presiones, ya que se debe sumar o restar la diferencia que existe entre el nivel base (26 mm Hg), el cual representa a la presión manométrica del sistema.

De esta manera, se establecen dos condiciones a tomar en cuenta:

- Si el dato de las alturas obtenido es mayor a los 26 mm Hg, se debe restar de la altura este valor y este, a su vez, se le suma el valor de 53.831 mm Hg para calcular la presión absoluta requerida.
- Si el dato de las alturas es menor a 26 mm Hg, se debe restar de este valor el dato de presión, obteniéndose como resultado a la presión absoluta requerida.

Estas consideraciones y fórmulas fueron utilizadas para generar la “Tabla G”, en donde se observan los valores de presiones absolutas medias o promedio con respecto a la

temperatura. De igual forma, los datos de presión absoluta con respecto a la temperatura se encuentran en la “Tabla H”, obtenidos a partir de la medida de tendencia central, que es la moda.

Tabla G. Presiones absolutas medias o promedio.

| | Media o promedio | | |
|------------|------------------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,96 | 33,83 | 73,83 |
| Ebullición | 67,85 | 36,48 | 71,30 |
| | 68,92 | 36,95 | 70,79 |
| | 70,45 | 38,14 | 69,72 |
| | 72,14 | 39,16 | 68,70 |
| | 73,65 | 40,07 | 67,64 |
| | 75,29 | 41,00 | 66,94 |
| | 76,56 | 41,98 | 66,31 |
| | 78,51 | 43,00 | 65,59 |
| | 80,24 | 44,16 | 63,62 |
| | 81,34 | 45,00 | 62,88 |
| | 82,57 | 45,95 | 61,92 |
| | 83,44 | 46,98 | 60,72 |
| | 84,36 | 48,03 | 59,77 |
| | 85,62 | 49,20 | 59,06 |
| | 86,48 | 49,96 | 58,03 |
| | 87,54 | 50,95 | 56,95 |
| | 89,15 | 51,91 | 56,01 |
| | 90,39 | 52,84 | 54,65 |
| | 91,58 | 53,83 | 53,83 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Tabla H. Presiones absolutas de acuerdo a la moda.

| | Moda | | |
|------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22.00 | 33.831 | 73.831 |
| Ebullición | 67.50 | 36.431 | 71.131 |
| | 68.65 | 36.831 | 70.931 |
| | 70.31 | 38.131 | 69.531 |
| | 72.20 | 39.031 | 68.731 |
| | 73.62 | 40.131 | 67.531 |
| | 75.40 | 40.831 | 66.931 |

| | | |
|-------|--------|--------|
| 76.42 | 41.831 | 66.531 |
| 78.51 | 42.831 | 65.731 |
| 80.50 | 44.231 | 63.631 |
| 81.31 | 44.831 | 62.831 |
| 82.60 | 45.831 | 61.831 |
| 83.28 | 46.831 | 60.731 |
| 84.20 | 47.831 | 59.731 |
| 85.57 | 49.131 | 58.831 |
| 86.40 | 49.831 | 57.831 |
| 87.32 | 50.831 | 56.931 |
| 89.10 | 51.831 | 55.831 |
| 90.64 | 53.131 | 54.631 |
| 91.64 | 53.831 | 53.831 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

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 I” con datos medios y, en la “Tabla J”, con datos de la moda. Cabe mencionar que las unidades de presiones deben ser kilo pascales, por lo cual se realizó la requerida conversión de unidades.

Tabla I. Diferencial de alturas o presiones medias o promedio.

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|--------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [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).

Tabla J. Diferencial de alturas o presiones de acuerdo a la moda.

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|--------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,44 |
| 36,431 | 71,131 | 34,7 | 347 | 538,31 | 191,31 | 67,50 | 25,51 |
| 36,831 | 70,931 | 34,1 | 341 | 538,31 | 197,31 | 68,65 | 26,31 |
| 38,131 | 69,531 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,31 | 29,91 |
| 39,031 | 68,731 | 29,7 | 297 | 538,31 | 241,31 | 72,20 | 32,17 |
| 40,131 | 67,531 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 73,62 | 35,24 |
| 40,831 | 66,931 | 26,1 | 261 | 538,31 | 277,31 | 75,40 | 36,97 |
| 41,831 | 66,531 | 24,7 | 247 | 538,31 | 291,31 | 76,42 | 38,84 |
| 42,831 | 65,731 | 22,9 | 229 | 538,31 | 309,31 | 78,51 | 41,24 |
| 44,231 | 63,631 | 19,4 | 194 | 538,31 | 344,31 | 80,50 | 45,90 |
| 44,831 | 62,831 | 18 | 180 | 538,31 | 358,31 | 81,31 | 47,77 |
| 45,831 | 61,831 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,60 | 50,44 |
| 46,831 | 60,731 | 13,9 | 139 | 538,31 | 399,31 | 83,28 | 53,24 |
| 47,831 | 59,731 | 11,9 | 119 | 538,31 | 419,31 | 84,20 | 55,90 |
| 49,131 | 58,831 | 9,7 | 97 | 538,31 | 441,31 | 85,57 | 58,84 |
| 49,831 | 57,831 | 8 | 80 | 538,31 | 458,31 | 86,40 | 61,10 |
| 50,831 | 56,931 | 6,1 | 61 | 538,31 | 477,31 | 87,32 | 63,64 |
| 51,831 | 55,831 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 89,10 | 66,44 |
| 53,131 | 54,631 | 1,5 | 15 | 538,31 | 523,31 | 90,64 | 69,77 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,64 | 71,77 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Los datos sombreados en azul, son los requeridos para la construcción de la curva de saturación, pero estos deben ser analizados de acuerdo a las medidas de dispersión. Por esta razón, se calcularon la varianza y desviación estándar de la tabla media obtenida, principalmente de las tres variables mencionadas. La varianza de los datos se representa mediante la “Tabla K”. Además, en la “Tabla L” se calculó la desviación estándar de las observaciones recolectadas.

Tabla K. Varianza de los datos recolectados.

| Varianza | | | |
|-----------------|---------------|------------------|------------------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| Ebullición | 0,10 | 0,01 | 0,12 |
| | 0,06 | 0,01 | 0,13 |
| | 0,06 | 0,07 | 0,05 |
| | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| | 0,11 | 0,03 | 0,04 |
| | 0,05 | 0,02 | 0,02 |
| | 0,13 | 0,03 | 0,10 |
| | 0,15 | 0,03 | 0,05 |
| | 0,08 | 0,02 | 0,10 |
| | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| | 0,03 | 0,01 | 0,04 |
| | 0,04 | 0,02 | 0,06 |
| | 0,05 | 0,05 | 0,08 |
| | 0,04 | 0,10 | 0,27 |
| | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| | 0,18 | 0,02 | 0,02 |
| | 0,04 | 0,06 | 0,08 |
| | 0,06 | 0,42 | 0,09 |
| | 0,01 | 0,00 | 0,00 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Tabla L. Desviación estándar de los datos recolectados.

| Desviación Estándar | | | |
|----------------------------|---------------|------------------|------------------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 0,17 | 0,00 | 0,00 |
| Ebullición | 0,32 | 0,10 | 0,35 |

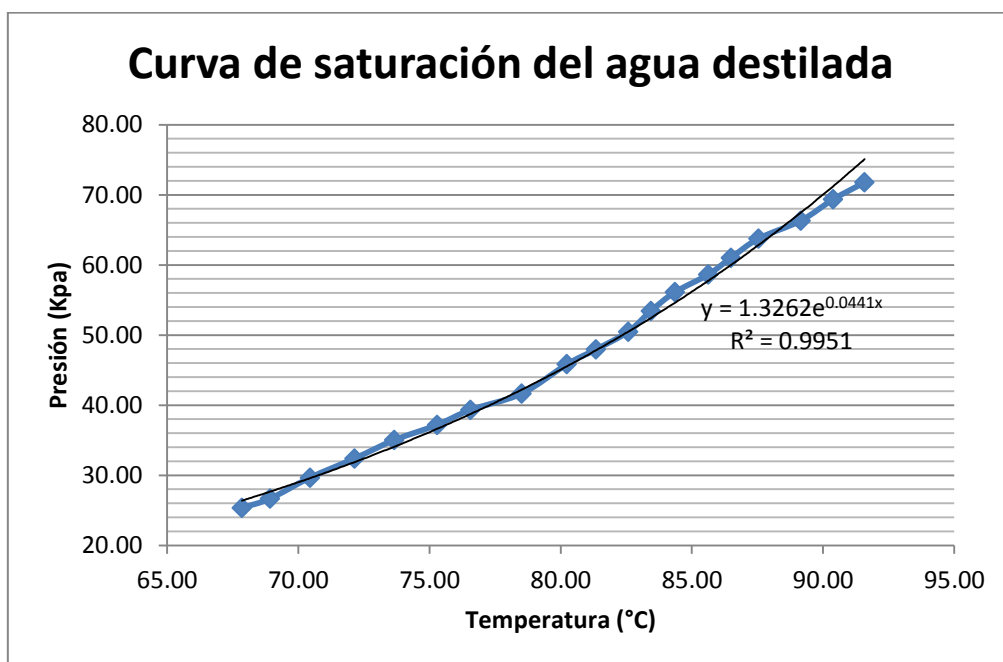
| | | |
|------|------|------|
| 0,25 | 0,11 | 0,36 |
| 0,25 | 0,26 | 0,23 |
| 0,13 | 0,18 | 0,17 |
| 0,34 | 0,16 | 0,20 |
| 0,23 | 0,15 | 0,13 |
| 0,36 | 0,18 | 0,31 |
| 0,39 | 0,17 | 0,22 |
| 0,28 | 0,15 | 0,32 |
| 0,19 | 0,18 | 0,13 |
| 0,16 | 0,11 | 0,19 |
| 0,19 | 0,15 | 0,25 |
| 0,22 | 0,21 | 0,28 |
| 0,20 | 0,31 | 0,52 |
| 0,20 | 0,19 | 0,19 |
| 0,43 | 0,13 | 0,12 |
| 0,19 | 0,24 | 0,27 |
| 0,24 | 0,65 | 0,29 |
| 0,11 | 0,00 | 0,00 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Como se observa en las tablas anteriores, las medidas de desviación son mínimas, lo cual brinda confiabilidad de los resultados, certifica el protocolo y el sistema de vacío utilizado, con un rango de error mínimo. Cabe mencionar que la varianza y desviación estándar son desviación que se generan a partir de la media o promedio.

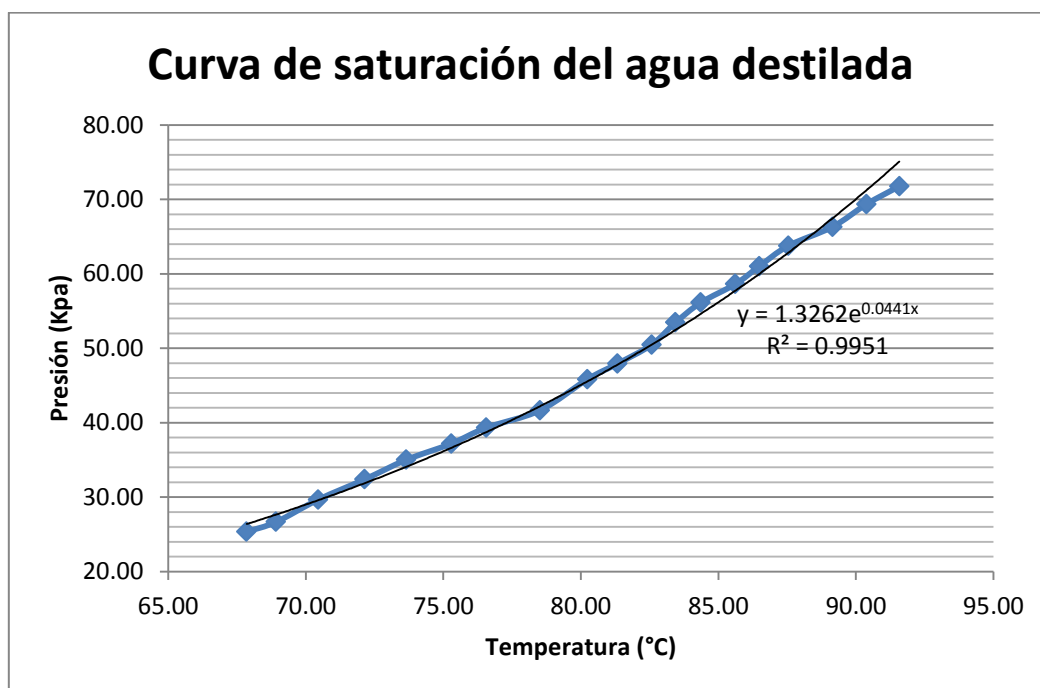
Ya que se obtuvieron estos resultados positivos, se realizaron las gráficas correspondientes a las curva de saturación del agua destilada, con respecto a las medidas de tendencia central. La primera curva (Figura 3.6) es la obtenida de las presiones absolutas medias y la “Figura 3.7”, representa a la moda.

Figura 3.6. Curva de saturación del agua, con respecto a la media de los datos.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Figura 3.7. Curva de saturación del agua, con respecto a la moda.



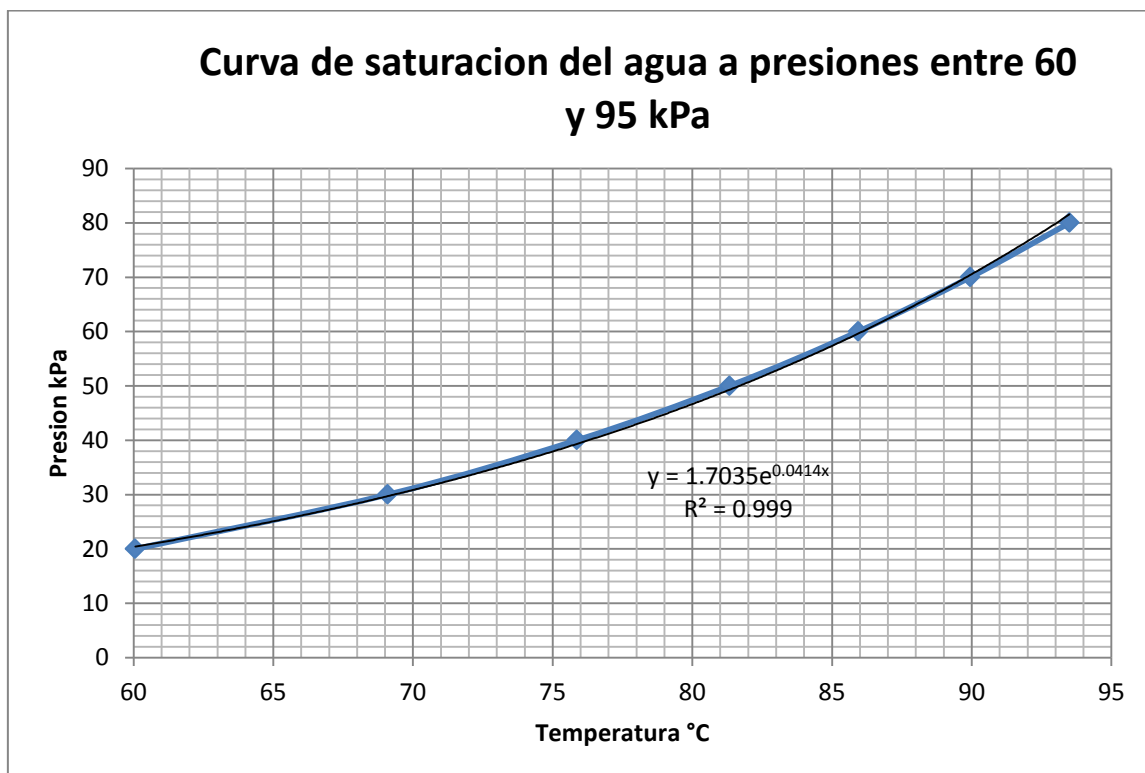
Elaborado por: (Bravo, 2014).

Las gráficas permiten evidenciar que los datos obtenidos en las réplicas se mantienen dentro del mismo rango y sus valores son cercanos a los expuestos en las Tablas A y B (ver página: 27 y 28). Estas gráficas permiten evidenciar que a medida que la temperatura incrementa, la presión incrementa y por consiguiente disminuye la cantidad del líquido mientras aumenta la cantidad de vapor saturado.

Graficando los datos bibliográficos que están dentro del rango obtenidos en las experimentación, se pudo constatar, que su similitud entre dichas gráficas existen. De esta manera se pudo validar la técnica empleada para los laboratorios de la Universidad.

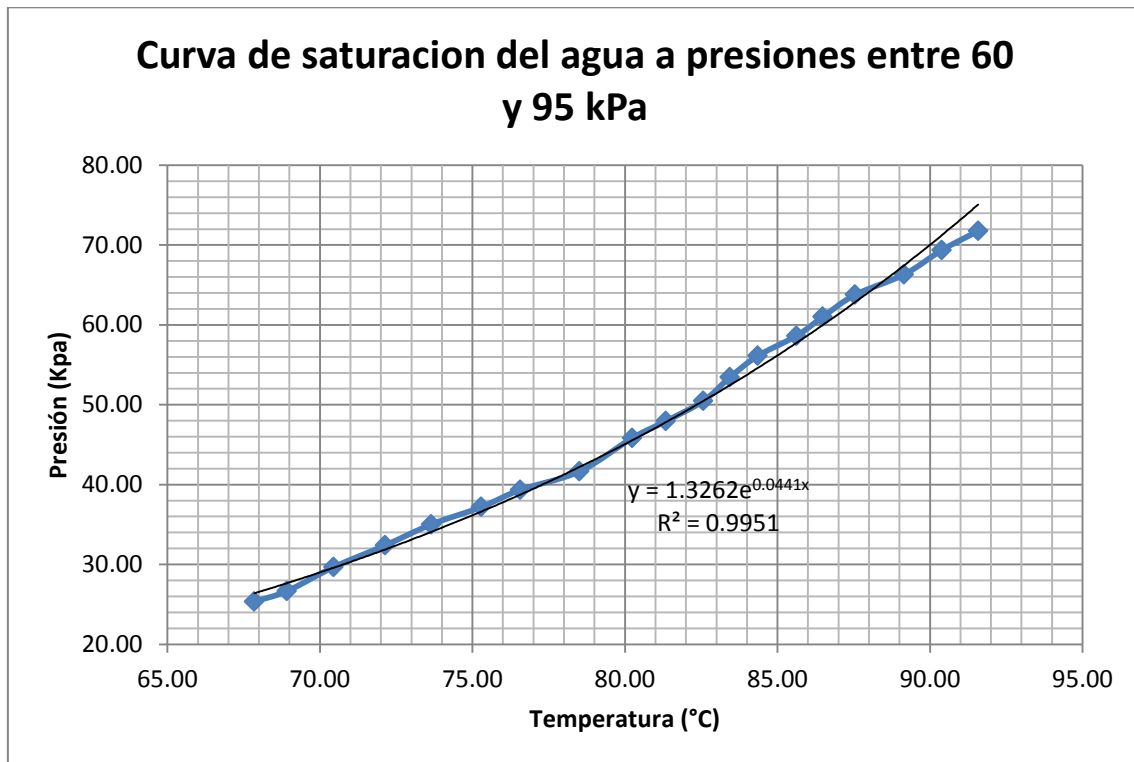
A continuación se presentan las “Figuras 3.8” y “Figura 3.9” correspondientes las gráficas mencionadas anteriormente.

Figuras 3.8. Diagrama para datos bibliográficos



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Figura 3.9 Diagrama para datos experimentales.



Elaborado por: (Bravo, 2014).

Una vez constatados y validado los datos obtenidos, se calcularon las siguientes propiedades termodinámicas: energía interna, volumen específico, entalpía y entropía. Esto fue realizado mediante la interpolación de los datos observados en las Tabla A y B (ver página: 27 y 28). De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados para las condiciones de Quito, cumpliéndose, con la “Tabla M”, la duplicación completa de las tablas de vapor de agua para los laboratorios de la Universidad Internacional SEK.

Los datos de energía interna, volumen específico, entalpía y entropía concuerdan con los datos presentados en Tablas A y B (ver página: 27 y 28). Por esta razón, las tablas pueden ser replicadas con facilidad al utilizar el sistema de vacío diseñado e implementado en los laboratorios de la universidad.

Tabla M. 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] | 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 | 0,18440 | 1,01611 | 8,74503 | 242,08757 | 2453,76686 | 242,10601 | 2605,79955 | 0,80350 | 7,94621 |
| 67,85 | 25,34 | 0,25343 | 1,01993 | 6,35593 | 260,90168 | 2462,95161 | 271,61353 | 2618,03547 | 0,89179 | 7,83375 |
| 68,92 | 26,66 | 0,26657 | 1,02060 | 6,03797 | 263,24303 | 2464,48886 | 276,58398 | 2617,22257 | 0,90649 | 7,81537 |
| 70,45 | 29,66 | 0,29659 | 1,02213 | 5,31155 | 268,59216 | 2468,00091 | 287,93961 | 2618,68278 | 0,94008 | 7,77337 |
| 72,14 | 32,39 | 0,32392 | 1,02330 | 4,93335 | 280,76057 | 2470,45713 | 296,01134 | 2628,00297 | 0,96351 | 7,74501 |
| 73,65 | 35,01 | 0,35012 | 1,02440 | 4,60954 | 293,42199 | 2481,31014 | 303,43843 | 2630,96333 | 0,98500 | 7,71918 |
| 75,29 | 37,18 | 0,37185 | 1,02532 | 4,34094 | 303,92485 | 2490,07906 | 309,59933 | 2633,41899 | 1,00282 | 7,69776 |
| 76,56 | 39,33 | 0,39331 | 1,02622 | 4,07563 | 314,29884 | 2497,62504 | 315,68463 | 2635,84453 | 1,02042 | 7,67659 |
| 78,51 | 41,65 | 0,41651 | 1,02708 | 3,86866 | 321,31301 | 2478,13936 | 321,36301 | 2638,13566 | 1,03665 | 7,65743 |
| 80,24 | 45,83 | 0,45831 | 1,02854 | 3,55393 | 330,88860 | 2481,02332 | 330,93860 | 2642,02274 | 1,06386 | 7,62563 |
| 81,34 | 47,94 | 0,47937 | 1,02928 | 3,39531 | 335,71458 | 2482,47680 | 335,76458 | 2643,98178 | 1,07757 | 7,60960 |
| 82,57 | 50,48 | 0,50477 | 1,03015 | 3,21576 | 341,36336 | 2484,17200 | 341,41432 | 2646,26266 | 1,09359 | 7,59095 |
| 83,44 | 53,45 | 0,53450 | 1,03107 | 3,06473 | 347,11629 | 2485,86666 | 347,17319 | 2648,52221 | 1,10974 | 7,57254 |
| 84,36 | 56,12 | 0,56125 | 1,03190 | 2,92886 | 352,29135 | 2487,39109 | 352,35360 | 2650,55479 | 1,12426 | 7,55599 |
| 85,62 | 58,62 | 0,58620 | 1,03267 | 2,80211 | 357,11942 | 2488,81332 | 357,18666 | 2652,45109 | 1,13781 | 7,54054 |
| 86,48 | 61,00 | 0,61003 | 1,03339 | 2,69519 | 361,47904 | 2490,09147 | 361,54904 | 2654,15195 | 1,14997 | 7,52675 |
| 87,54 | 63,77 | 0,63769 | 1,03419 | 2,59366 | 366,13772 | 2491,44702 | 366,20772 | 2655,95013 | 1,16287 | 7,51229 |
| 89,15 | 66,30 | 0,66303 | 1,03493 | 2,50070 | 370,40351 | 2492,68825 | 370,47351 | 2657,59666 | 1,17467 | 7,49904 |
| 90,39 | 69,36 | 0,69356 | 1,03581 | 2,38865 | 375,54490 | 2494,18426 | 375,61490 | 2659,58117 | 1,18890 | 7,48307 |
| 91,58 | 71,77 | 0,71769 | 1,03635 | 2,31229 | 379,27432 | 2495,26057 | 379,34609 | 2661,02589 | 1,19915 | 7,47197 |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

3.4 Aplicación Práctica.

El sistema de vacío puede ser utilizado en las clases de Termodinámica para afianzar los conocimientos de los estudiantes. De esta forma, es necesario presentar prácticas de laboratorio que pueden ser fácilmente realizadas por los estudiantes. Se presentan tres prácticas, con objetivos distintos, las cuales son suficientes para generar el conocimiento deseado.

Además, se diseñó e implementó una hoja de cálculo para facilitar el ingreso de los datos, la cual genera automáticamente los resultados deseados y la curva de saturación de agua.

3.4.1 Práctica de laboratorio 1

A continuación, se detalla el formato y el protocolo basado en la determinación de la temperatura del líquido saturado en un recipiente.

TEMPERATURA DEL LÍQUIDO SATURADO EN UN RECIPIENTE

Según metodología de: (Cengel & Boles, 2011)

Objetivos:

- Cuantificar presión de un recipiente.
- Determinar el volumen del recipiente.
- Determinar la relación entre la temperatura del líquido saturado con la presión y volumen.

Reactivos:

- 100 ml de agua destilada.
- Grasa o vaselina de petróleo

Materiales y equipos:

- Sistema de vacío.
- Núcleos de Ebullición.

Consideraciones generales:

Se debe asegurar que la sustancia pura sea agua destilada, lo cual indica que la sustancia no posee impurezas. A demás, verificar que la manta calefactora y la bomba de vacío estén conectadas en la corriente de energía necesaria.

Procedimiento:

- Agregar 100 ml de agua destilada en el balón del sistema.
- Ingresar núcleos de ebullición junto al agua.
- Abrir la válvula para permitir la generación de vacío.
- Prender la bomba y cerrar la válvula hasta que se alcance un diferencial de alturas de 40 cm, registrado en el manómetro de mercurio.
- Abrir la válvula de venteo para variar el diferencial de alturas o presiones, esperar que se estabilice la temperatura.
- Tomar apuntes de cada diferencial de presiones y temperaturas estabilizadas.
- Agregar los datos obtenidos a la hoja de cálculo y generar la curva de saturación del agua.

Cuestionario:

- Un recipiente rígido contiene 50 Kg de agua líquida saturada a 90°C. Determinar la presión en el recipiente y el volumen del mismo.

- ¿Cómo varían los datos si se utilizan 80 kg de agua destilada?

3.4.2 Práctica de laboratorio 2

De igual manera, se detalla el formato y el protocolo basado en la determinación de la temperatura de vapor saturado en un cilindro.

TEMPERATURA DE VAPOR SATURADO EN UN CILINDRO

Según metodología de: (Cengel & Boles, 2011)

Objetivos:

- Cuantificar la masa de una sustancia pura en un sistema.
- Determinar la temperatura de saturación.
- Comprender la definición de vapor de agua saturado.

Reactivos:

- 100 ml de agua destilada.
- Grasa o vaselina de petróleo

Materiales y equipos:

- Sistema de vacío.
- Núcleos de Ebullición.

Consideraciones generales:

Se debe asegurar que la sustancia pura sea agua destilada, lo cual indica que la sustancia no posee impurezas. A demás, verificar que la manta calefactora y la bomba de vacío estén conectadas en la corriente de energía necesaria.

Procedimiento:

- Agregar 100 ml de agua destilada en el balón del sistema.
- Ingresar núcleos de ebullición junto al agua.
- Abrir la válvula para permitir la generación de vacío.
- Prender la bomba y cerrar la válvula hasta que se alcance un diferencial de alturas de 40 cm, registrado en el manómetro de mercurio.
- Abrir la válvula de venteo para variar el diferencial de alturas o presiones, esperar que se estabilice la temperatura.
- Tomar apuntes de cada diferencial de presiones y temperaturas estabilizadas.
- Agregar los datos obtenidos a la hoja de cálculo y generar la curva de saturación del agua.

Cuestionario:

- Un dispositivo que consta de cilindro-émbolo contiene 2 pies³ de vapor de agua saturado a 50 psia de presión. Determine la temperatura y la masa del vapor dentro del cilindro.

3.4.3 Práctica de laboratorio 3

A continuación, se detalla el formato y el protocolo basado en la determinación del cambio de volumen y energía durante la evaporación.

CAMBIO DE VOLUMEN Y ENERGÍA DURANTE LA EVAPORACIÓN

Según metodología de: (Cengel & Boles, 2011)

Objetivos:

- Observar y analizar la variación de volumen cuando existe evaporación.
- Determinar la energía transferida al agua por medio de la evaporación, tomando como referencia a la entalpía de la sustancia.

Reactivos:

- 100 ml de agua destilada.
- Grasa o vaselina de petróleo

Materiales y equipos:

- Sistema de vacío.
- Núcleos de Ebullición.

Consideraciones generales:

Se debe asegurar que la sustancia pura sea agua destilada, lo cual indica que la sustancia no posee impurezas. A demás, verificar que la manta calefactora y la bomba de vacío estén conectadas en la corriente de energía necesaria.

Procedimiento:

- Agregar 100 ml de agua destilada en el balón del sistema.
- Ingresar núcleos de ebullición junto al agua.
- Abrir la válvula para permitir la generación de vacío.
- Prender la bomba y cerrar la válvula hasta que se alcance un diferencial de alturas de 40 cm, registrado en el manómetro de mercurio.

- Abrir la válvula de venteo para variar el diferencial de alturas o presiones, esperar que se estabilice la temperatura.
- Tomar apuntes de cada diferencial de presiones y temperaturas estabilizadas.
- Agregar los datos obtenidos a la hoja de cálculo y generar la curva de saturación del agua.

Cuestionario:

- Una masa de 200 gramos de agua líquida saturada se evapora por completo a una presión constante de 100 KPa. Determine:
 - El cambio de volumen.
 - La cantidad de energía transferida al agua.

3.4.4 Hoja de cálculo

Con los datos obtenidos experimentalmente, se procedió a elaborar una hoja de cálculo que permita ingresar datos recolectados, en un formato similar al planteado anteriormente, y que el sistema realice los cálculos necesarios para obtener todos los resultados de las tablas de vapor de agua. Se efectuó el mismo procedimiento para las 20 réplicas con el fin de poder obtener una visualización concreta de lo obtenido y así poderlo comparar con las fuentes bibliográficas.

En base a una hoja de cálculo simple se procedió a estructurar un esquema de fórmulas que permitirá calcular el diferencial de alturas entre las dos columnas, la corrección de la presión, la presión absoluta, la temperatura y el diagrama de saturación de para el agua destilada automáticamente, desplegando así, los resultados obtenidos en las réplicas. Se debe aclarar que los datos que se requiere hallar son la temperatura de

saturación y la presión absoluta, para lo cual se debe calcular el diferencial de alturas (Δh) entre las dos columnas ($h_2 - h_1$), y proyecte el valor en milímetros de mercurio. A continuación procederá a calcular el valor de la presión absoluta restando la presión atmosférica de Quito y la variación de altura en las mismas unidades ($P_{\text{atm}} - \Delta h = P_{\text{abs}}$). Dentro de la investigación está planteado trabajar con las siguientes unidades:

- Temperatura = [°C]
- Presión = [kPa]
- Volumen específico = [m³/kg]
- Energía interna = [kJ/kg]
- Entalpía = [kJ/kg]
- Entropía = [kJ/kg °K]

Una vez obtenido estos valores se podrá graficar el diagrama de saturación del agua para las condiciones establecidas en la investigación.

Partiendo de estos datos de temperatura y presión absoluta se podrá realizar un cálculo de interpolación de datos bibliográficos para calcular el volumen específico, la entalpía y entropía para líquido saturado, vapor saturado respectivamente. Como se detalla a continuación.

3.4.4.1 Diseño de la Hoja de cálculo.

La hoja de cálculo estará estructurada por 4 secciones correspondientes a los pasos que se deben efectuar al momento de su uso. En cada una de las secciones el investigador debe proporcionar datos al ordenador para que refleje los resultados de las prácticas.

La primera sección es de información general, como se muestra en la “Tabla N”, en donde se especificarán las condiciones en las cuales se va a trabajar. En el caso de ser

efectuada la experimentación en otro lugar diferente a los laboratorios de la universidad, deben ser modificados.

Tabla N. Hoja de cálculo (primera sección).

| HOJA DE EXPERIMENTACIÓN --/--/---- | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|-----|---|--------|------------------|--|--|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Presión de Quito | 0,7083 | atm | = | 538,31 | mm _{Hg} | | |
| Temperatura de Quito | 10,5 | °C | | 53,831 | cm _{Hg} | | |
| Temperatura de Laboratorio | 21,8 | °C | | | | | |
| | | | | | | | |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

La segunda sección esquematiza una tabla en donde se ingresa los datos obtenidos experimentalmente. En la “Tabla O” se proyecta la disposición con la cual se deben ingresar los datos.

Tabla O. Hoja de cálculo (segunda sección).

| | Datos obtenidos | | |
|------------|---|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | | | |
| Ebullición | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Nota: el alumno debe ingresar los datos obtenidos en las prácticas, para que la hoja de cálculo genere los resultados deseados. | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

A medida que los valores son ingresados a la hoja de cálculo, en la tercera sección automáticamente el sistema realiza cálculos para adaptar los valores a las unidades requeridas y proyecta como resultado el valor de la presión absoluta correspondiente a cada una de las temperaturas que fueron obtenidas a lo largo de la práctica. A continuación, en la “Tabla P” se visualiza la sección mencionada en donde los datos resultantes son la temperatura y presión absoluta de la sustancia pura evaluada (agua destilada). Con la ayuda de estos datos se efectúan cálculos para la obtención de las propiedades termodinámicas (volumen específico, energía interna, entropía y entalpía) para cada uno de los datos obtenidos.

Tabla P. Hoja de cálculo (tercera sección).

| Datos Calculados | | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Nota: al ingresar los datos, se generarán automáticamente los resultados. | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Tomando en cuenta datos bibliográficos y datos referentes a las Tabla A y Tabla B, en la cuarta sección el sistema se encarga de calcular los valores designados a cada una de las propiedades termodinámicas planteadas anteriormente, tal como se muestra en la

- **Materiales de vidrio:**

En el caso de este tipo de equipos o materiales se procede a constatar que no tengan agrietamientos, fisuras o deformaciones; de manera visual y empleando el tacto en todos los equipos. Los periodos de esta inspección corresponden a una vez antes de empezar las prácticas y nuevamente al finalizar la misma. Con el objetivo de poder reportar irregularidades con tiempo.

Se recomienda trabajar con cuidado con todos los equipos o materiales de vidrio del sistema debido a su grado de fragilidad.

- **Materiales eléctricos:**

El sistema de vacío posee dos equipos en los cuales, es necesario realizar un mantenimiento periódico y más riguroso para garantizar su funcionamiento a lo largo del tiempo. Dicho mantenimiento se describe a continuación.

Bomba de Vacío.- este tipo de equipo de laboratorio está diseñado para obtener resultados altamente satisfactorios durante mucho tiempo. Es necesario controlar permanentemente el nivel de aceite que se registra en un extremo de la bomba. Este nivel se verifica cuando la bomba se encuentra accionada y se debe observar su nivel en la mitad del visor transparente (Bombas tst S.A., 2014).

Se debe realizar el cambio de aceite cada vez que el mismo cambie su tonalidad, perdiendo su característica inicial (transparente). En el caso de que la bomba aspire gases ácidos es necesario que el cambio sea más seguido. Esto evitará que el ácido incorporado al aceite corroe el interior de la bomba (Bombas tst S.A., 2014).

Para sustituir el aceite de la bomba de vacío se realiza los siguientes pasos:

- Sacar el tapón de descarga y drenar el aceite.
- Colocar nuevamente en tapón y poner en marcha la bomba por un tiempo de 1 minuto.
- Volver a retirar el tapón para drenar todo el aceite del equipo. Repetir estos dos pasos las veces necesarias hasta drenar todo el aceite.
- Finalmente se adiciona la cantidad de aceite nuevo por la boca de carga hasta ocupar el nivel mínimo marcado.
- poner en marcha la bomba y verificar que el nivel de aceite es el adecuado.

Si se presenta una falla por parte del sistema del equipo se recomienda contactar con el proveedor del equipo para el diagnóstico de las fallas (Bombas tst S.A., 2014).

Manta calefactora.- este tipo de equipo de laboratorio requiere un mantenimiento muy riguroso, esto se debe a que sus partes internas se encuentran contenidas dentro de la carcasa que brinda aislamiento con el medio externo. Por su parte externa presenta un regulador de temperatura, el cual debe ser lubricado con aceite una vez cada 6 meses para impedir que sus conexiones tiendan a romperse por la fricción generada al momento de su uso (QUIRUMED, 2014).

La sección cóncava de la manta calefactora está compuesta por una resistencia recubierta en una manta que distribuye el calor uniformemente. Se recomienda inspeccionar, antes de cada práctica, que esta sección no se encuentre húmeda, debido a que se pudo haber filtrado agua a las conexiones internas del equipo y podría quemarlo. De igual manera se recomienda mantener limpio el recubrimiento de la resistencia térmica antes de ser utilizada.

De acuerdo con el proveedor del equipo, se recomienda sustituir la resistencia térmica cada 4 años, pero esto dependerá del uso que se le dé a la misma (QUIRUMED, 2014).

Si se presenta una falla por parte del sistema del equipo se recomienda contactar con el proveedor del equipo para el diagnóstico de las fallas (QUIRUMED, 2014).

3.4.5.1 Hojas de mantenimiento y calibración de equipos para sistema de vacío.

Tabla R. Codificación e Inventario de Equipos y Piezas.



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL

SEK

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK


CODIFICACIÓN E INVENTARIO DE EQUIPOS Y PIEZAS

SISTEMA DE VACÍO

| SECCIÓN: MATERIALES DE VIDRIO | | PÁG: 1 | |
|---|--|---------------------|--------------------------------|
| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | MARCA | CANTIDAD DE PIEZAS DE REPUESTO |
| A-01 | Adaptador (Refrigerante - manguera) | Artesanal | 0 |
| A-02 | Adaptador (Trampa de vacío - manguera) | Artesanal | 0 |
| B-01 | Balón de tres bocas. | BOECO | 0 |
| B-02 | Balón de trampa de vacío. | BOECO | 5 |
| R-01 | Refrigerante de bolas. | BOECO | 3 |
| T-01 | Tapón de boquilla. | BOECO | 1 |
| U-01 | Manómetro en "U" | Artesanal | 0 |
| SECCIÓN: MATERIALES ELÉCTRICOS | | | |
| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | MARCA | CANTIDAD DE PIEZAS DE REPUESTO |
| BOV- 11 | Bomba de vacío. | TST | 1 |
| MAC-11 | Manta calefactora. | GLASSCO | 0 |
| TED-11 | Termómetro digital. | DIGI-THERMO | 2 |
| <p>NOTA: Al momento de realizar el mantenimiento, se debe consultar con la persona encargada de laboratorio para confirma la cantidad de piezas de repuesto que exista en inventarios.</p> | | | |
| Realizado por: | | Verificado por: | |
| Bryan Bravo | | MSC. Suly Rodríguez | |
| Fecha: Septiembre 2014 | | | |

Elaborado por: (Bravo, 2014).


Tabla S. Cronograma de Mantenimiento con Especificaciones.

|  <div> UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK INSTRUCCIONES TÉCNICAS SISTEMA DE VACÍO </div> | | | | |
|--|--------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | PÁG: 2 | |
| T.M | CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | Tipo de personal necesario | Frecuencia |
| L | A-01 | Lubricar partes móviles y ajustar abrazaderas. | Estudiante | Antes de cada práctica. |
| L | A-02 | Lubricar partes móviles y ajustar abrazaderas. | Estudiante | Antes de cada práctica. |
| L | B-01 | Lubricar las boquillas esmeriladas. | Estudiante | Antes de cada práctica. |
| G | B-01 | Limpieza completa del balón. | Estudiante | Antes y después de cada práctica. |
| L | B-02 | Lubricar la boquilla esmerilada. | Estudiante | Antes de cada práctica. |
| G | B-02 | Limpieza completa del balón. | Estudiante | Antes y después de cada práctica. |
| G | R-01 | Limpieza completa del refrigerante. | Estudiante | Antes y después de cada práctica. |
| L | T-01 | Lubricar el tapón. | Estudiante | Antes de cada práctica. |
| M | U-01 | Ajustar abrazaderas. | Estudiante | Antes de cada práctica. |
| L | BOV-11 | Verificar el nivel de aceite y de ser necesario adicionar más del mismo. | Encargado de laboratorio | Semestral |
| G | MAC-11 | Limpieza superficial de la manta. | Encargado de laboratorio | Semanal |

| | | | | |
|---|--------|-----------------------------|--|-----------|
| HI | TED-11 | Calibración del termómetro. | Encargado de laboratorio | Semestral |
| <p align="center">IDENTIFICACIÓN DE SIGLAS: T.M= Tipo de actividad que se ejecuta. L= Lubricación. M= Mecánica. G= General. HI= Instrumental.</p> | | | | |
| Realizado por: Bryan Bravo | | | Verificado por: MSC. Suly Rodríguez | |
| Fecha: Septiembre 2014 | | | | |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

Tabla T. Ficha de control para sistema de vacío.

| TABLA T. Ficha de Control para Sistema de Vacío | | | | | | | | | |
|---|--------|--|----------------------------|--------|--|-------|--------|-------|--------|
|  | | UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK | | | | | | | |
| | | INSTRUCCIONES TÉCNICAS | | | | | | | |
| | | SISTEMA DE VACÍO | | | | | | | |
| MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | PÁG: 3 | | | | | |
| T.M | CODIGO | DESCRIPCIÓN | Tipo de personal necesario | Fecha | Nombre | Fecha | Nombre | Fecha | Nombre |
| L | A-01 | Lubricar partes móviles y ajustar abrazaderas. | Estudiante | | | | | | |
| L | A-02 | Lubricar partes móviles y ajustar abrazaderas. | Estudiante | | | | | | |
| L | B-01 | Lubricar las boquillas esmeriladas. | Estudiante | | | | | | |
| G | B-01 | Limpieza completa del balón. | Estudiante | | | | | | |
| L | B-02 | Lubricar la boquilla esmerilada. | Estudiante | | | | | | |
| G | B-02 | Limpieza completa del balón. | Estudiante | | | | | | |
| G | R-01 | Limpieza completa del refrigerante. | Estudiante | | | | | | |
| L | T-01 | Lubricar el tapón. | Estudiante | | | | | | |
| M | U-01 | Ajustar abrazaderas. | Estudiante | | | | | | |
| L | BOV-11 | Verificar el nivel de aceite y de ser necesario adicionar más del mismo. | Encargado de laboratorio | | | | | | |
| G | MAC-11 | Limpieza superficial de la manta. | Encargado de laboratorio | | | | | | |
| HI | TED-11 | Calibración del termómetro. | Encargado de laboratorio | | | | | | |
| <p align="center">IDENTIFICACIÓN DE SIGLAS: T.M= Tipo de actividad que se ejecuta. L= Lubricación. M= Mecánica. G= General. HI= Instrumental.</p> | | | | | | | | | |
| Realizado por: Bryan Bravo | | | | | Verificado por: MSC. Suly Rodríguez | | | | |
| Fecha: Septiembre 2014 | | | | | | | | | |

Elaborado por: (Bravo, 2014).

4 DISCUSIÓN

4.1 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 (0,03%) con los datos bibliográficos (Tabla A y B), 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 atmosfera 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.

4.2 RECOMENDACIONES

- 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

- Bombas tst S.A. (2014). Mantenimiento. *Bombas de Vacío tst* , 3.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2011). *Termodinámica*. México D.F.: McGraw-Hill.
- 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.
- EPTA. (2014). *EPTA*. Recuperado el 18 de Julio de 2014, de <http://www.epta.com.ar/espanol/empresa.htm>
- Fuenzalida, V. (2002). *Universidd de Chile*. Recuperado el 15 de Julio de 2014, de <http://www.cec.uchile.cl/~mpilleux/fi22a/7.CambiosFase1.PDF>
- H. D. Durst, G. W. (2007). *Química Orgánica Experimental*. Barcelona: Reverté S.A.
- Instituto P.C.E. (30 de Enero de 2014). *Instituto P.C.E*. Recuperado el 14 de Febrero de 2014, de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/instrumentos-laboratorios/equipos-laboratorios/bombas-vacio.htm>
- Jeschofnig, P. (2001). *LABORATORY EXERCISE MANUAL*. Colorado: Colorado Mountain College .
- JP Selecta. (2014). *Catálogo-Mantas CAlefactoras*. Barcelona: JP Selecta.
- Michael Moran, H. S. (2005). *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. Barcelona: Reverté.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (Julio de 2014). *Sistema de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas*. Recuperado el 18 de Julio de 2014, de <http://www.si3ea.gov.co/>
- Morris, G. (2001). *Fisiciquímica para Biólogos*. España: REVERTÉ.
- Mott, R. (2000). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. Mexico D.F.: PrenticeHall.
- Patiño, G. (2007). *Propiedades de las Sustancias Puras*. Barcelona: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Pixmac. (2014). *Instrumentos para laboratorio*. Génova: Pond5.

- Quiminet. (23 de Julio de 2014). *Quiminet.com*. Recuperado el 23 de Julio de 2014, de <http://www.quiminet.com/>
- QUIRUMED. (2014). *Mantas Calefactoras*. Valencia: Quirumed.
- Rolle, K. (2011). *Termodinámica*. Pearson Prentice Hall.
- Román, R. (15 de Octubre de 1999). *Departamento de Ingeniería Mecánica* . Recuperado el 14 de Febrero de 2014, de http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_07/vapor01.htm
- Stuart. (2014). *Mantas calefactoras*. Madrid: Medical Expo.
- *Termodinámica Química Fundamental*. (1972). Barcelona: Reverté.
- TLV International Inc. (2014). *TLV International Inc*. Recuperado el 14 de Febrero de 2014, de <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-steam.html>
- 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/propunid.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.
- Voet, D. (2004). *Bioquímica*. Montevideo: Editorial Médica Panamericana.
- Webster, A. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y a la economía*. Buenos Aires: McGraw-Hill.

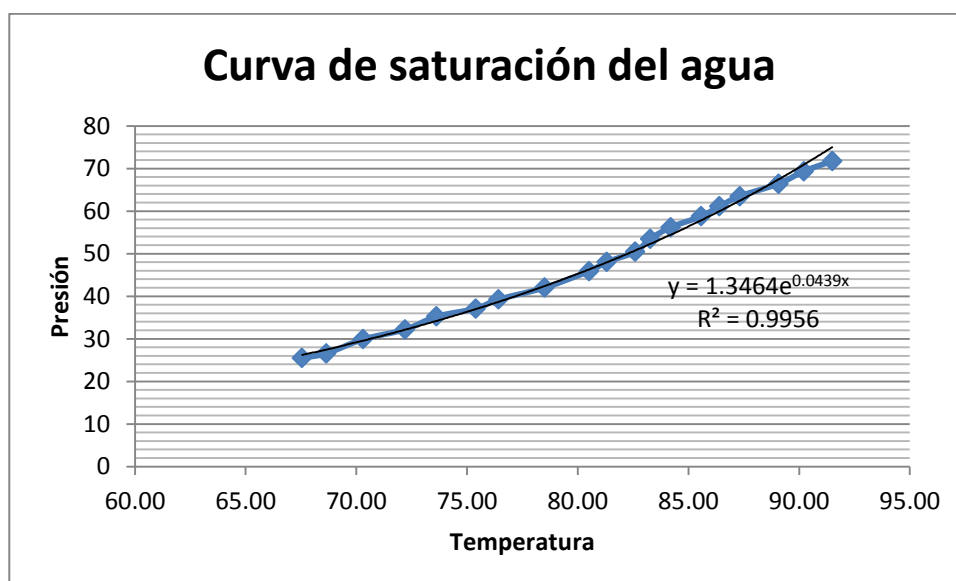
ANEXO 1

Réplica 1

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,90 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,55 | 8,60 | 43,30 |
| | 68,65 | 9,20 | 43,10 |
| | 70,31 | 10,30 | 41,70 |
| | 72,20 | 11,20 | 40,90 |
| | 73,62 | 12,30 | 39,70 |
| | 75,40 | 13,00 | 39,00 |
| | 76,42 | 14,20 | 38,60 |
| | 78,51 | 15,30 | 37,60 |
| | 80,52 | 16,40 | 35,80 |
| | 81,31 | 17,10 | 34,90 |
| | 82,60 | 18,00 | 34,00 |
| | 83,28 | 19,20 | 32,90 |
| | 84,20 | 20,20 | 31,88 |
| | 85,57 | 21,30 | 31,05 |
| | 86,40 | 22,40 | 30,40 |
| | 87,32 | 23,00 | 29,20 |
| | 89,08 | 24,00 | 28,00 |
| | 90,22 | 25,00 | 26,80 |
| | 91,50 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,90 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,131 | 34,7 | 347 | 538,31 | 191,31 | 67,55 | 25,5059064 |
| 37,031 | 70,931 | 33,9 | 339 | 538,31 | 199,31 | 68,65 | 26,5724856 |
| 38,131 | 69,531 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,31 | 29,9055453 |
| 39,031 | 68,731 | 29,7 | 297 | 538,31 | 241,31 | 72,20 | 32,1720259 |
| 40,131 | 67,531 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 73,62 | 35,2384409 |
| 40,831 | 66,831 | 26 | 260 | 538,31 | 278,31 | 75,40 | 37,1049544 |
| 42,031 | 66,431 | 24,4 | 244 | 538,31 | 294,31 | 76,42 | 39,2381126 |
| 43,131 | 65,431 | 22,3 | 223 | 538,31 | 315,31 | 78,51 | 42,0378828 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|------------|
| 44,231 | 63,631 | 19,4 | 194 | 538,31 | 344,31 | 80,52 | 45,9042321 |
| 44,931 | 62,731 | 17,8 | 178 | 538,31 | 360,31 | 81,31 | 48,0373903 |
| 45,831 | 61,831 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,60 | 50,4371934 |
| 47,031 | 60,731 | 13,7 | 137 | 538,31 | 401,31 | 83,28 | 53,5036083 |
| 48,031 | 59,711 | 11,68 | 116,8 | 538,31 | 421,51 | 84,20 | 56,1967206 |
| 49,131 | 58,881 | 9,75 | 97,5 | 538,31 | 440,81 | 85,57 | 58,7698427 |
| 50,231 | 58,231 | 8 | 80 | 538,31 | 458,31 | 86,40 | 61,1029846 |
| 50,831 | 57,031 | 6,2 | 62 | 538,31 | 476,31 | 87,32 | 63,5027876 |
| 51,831 | 55,831 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 89,08 | 66,4358802 |
| 52,831 | 54,631 | 1,8 | 18 | 538,31 | 520,31 | 90,22 | 69,3689727 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,50 | 71,7687758 |

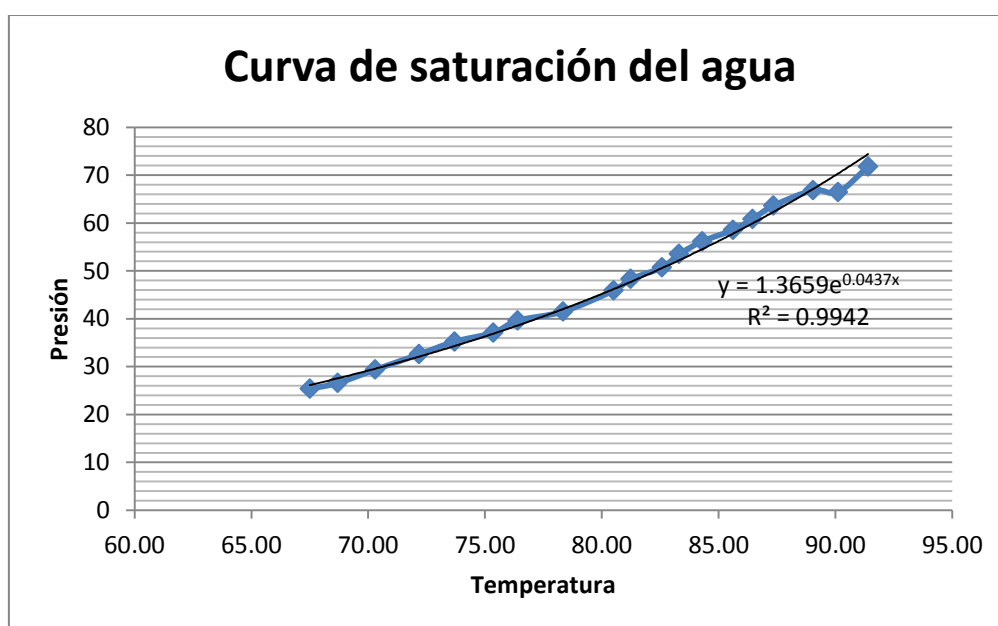


Réplica 2

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,96 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,50 | 8,70 | 43,50 |
| | 68,70 | 9,10 | 43,00 |
| | 70,30 | 10,20 | 42,00 |
| | 72,18 | 11,40 | 40,80 |
| | 73,70 | 12,30 | 39,70 |
| | 75,36 | 13,00 | 39,00 |
| | 76,40 | 14,00 | 38,10 |
| | 78,34 | 15,20 | 37,90 |
| | 80,51 | 16,40 | 35,80 |
| | 81,24 | 17,50 | 35,10 |
| | 82,58 | 18,20 | 34,00 |
| | 83,31 | 19,30 | 33,00 |
| | 84,30 | 20,20 | 31,90 |
| | 85,62 | 21,10 | 31,00 |
| | 86,45 | 22,10 | 30,30 |
| | 87,35 | 23,00 | 29,10 |
| | 89,05 | 24,10 | 27,80 |
| | 90,11 | 22,30 | 26,30 |
| | 91,40 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,96 | 18,4398198 |
| 36,531 | 71,331 | 34,8 | 348 | 538,31 | 190,31 | 67,50 | 25,372584 |
| 36,931 | 70,831 | 33,9 | 339 | 538,31 | 199,31 | 68,70 | 26,5724856 |
| 38,031 | 69,831 | 31,8 | 318 | 538,31 | 220,31 | 70,30 | 29,3722557 |
| 39,231 | 68,631 | 29,4 | 294 | 538,31 | 244,31 | 72,18 | 32,5719931 |
| 40,131 | 67,531 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 73,70 | 35,2384409 |
| 40,831 | 66,831 | 26 | 260 | 538,31 | 278,31 | 75,36 | 37,1049544 |
| 41,831 | 65,931 | 24,1 | 241 | 538,31 | 297,31 | 76,40 | 39,6380798 |
| 43,031 | 65,731 | 22,7 | 227 | 538,31 | 311,31 | 78,34 | 41,5045932 |
| 44,231 | 63,631 | 19,4 | 194 | 538,31 | 344,31 | 80,51 | 45,9042321 |
| 45,331 | 62,931 | 17,6 | 176 | 538,31 | 362,31 | 81,24 | 48,3040351 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 46,031 | 61,831 | 15,8 | 158 | 538,31 | 380,31 | 82,58 | 50,7038381 |
| 47,131 | 60,831 | 13,7 | 137 | 538,31 | 401,31 | 83,31 | 53,5036083 |
| 48,031 | 59,731 | 11,7 | 117 | 538,31 | 421,31 | 84,30 | 56,1700561 |
| 48,931 | 58,831 | 9,9 | 99 | 538,31 | 439,31 | 85,62 | 58,5698592 |
| 49,931 | 58,131 | 8,2 | 82 | 538,31 | 456,31 | 86,45 | 60,8363398 |
| 50,831 | 56,931 | 6,1 | 61 | 538,31 | 477,31 | 87,35 | 63,63611 |
| 51,931 | 55,631 | 3,7 | 37 | 538,31 | 501,31 | 89,05 | 66,8358473 |
| 50,131 | 54,131 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 90,11 | 66,4358802 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,40 | 71,7687758 |

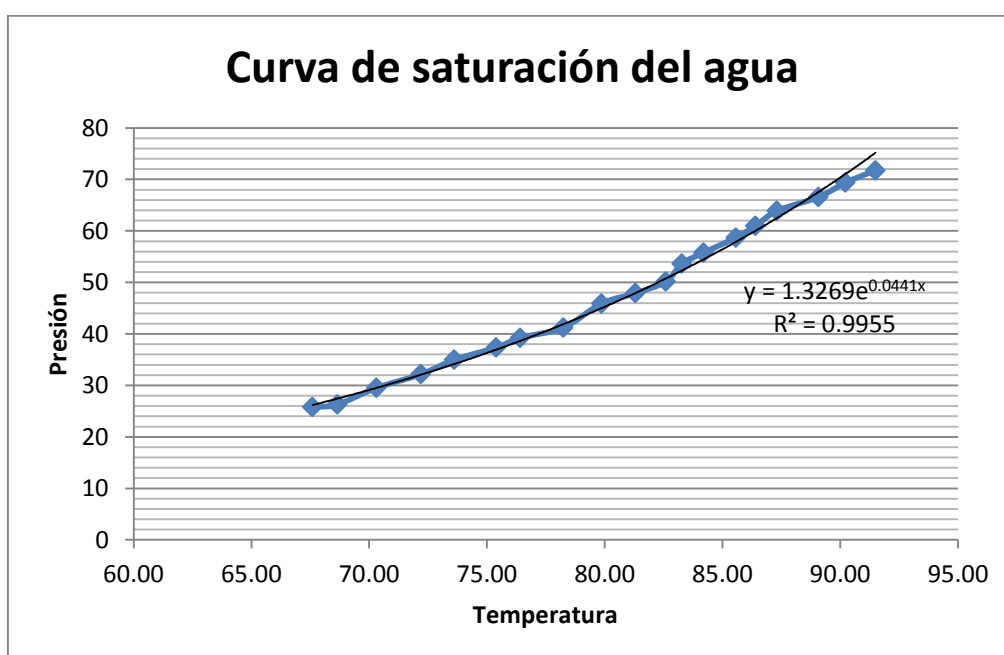


Réplica 3

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,60 | 8,70 | 43,20 |
| | 68,65 | 9,00 | 43,10 |
| | 70,31 | 10,30 | 42,00 |
| | 72,20 | 11,20 | 40,90 |
| | 73,62 | 12,10 | 39,70 |
| | 75,40 | 13,10 | 38,90 |
| | 76,42 | 14,10 | 38,50 |
| | 78,25 | 15,00 | 37,90 |
| | 79,87 | 16,40 | 35,80 |
| | 81,31 | 17,10 | 35,00 |
| | 82,60 | 18,00 | 34,20 |
| | 83,28 | 19,20 | 32,80 |
| | 84,20 | 20,00 | 32,00 |
| | 85,57 | 21,30 | 31,10 |
| | 86,40 | 21,90 | 30,00 |
| | 87,32 | 23,10 | 29,00 |
| | 89,08 | 24,30 | 28,20 |
| | 90,22 | 25,00 | 26,80 |
| | 91,50 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,531 | 71,031 | 34,5 | 345 | 538,31 | 193,31 | 67,60 | 25,7725512 |
| 36,831 | 70,931 | 34,1 | 341 | 538,31 | 197,31 | 68,65 | 26,3058408 |
| 38,131 | 69,831 | 31,7 | 317 | 538,31 | 221,31 | 70,31 | 29,5055781 |
| 39,031 | 68,731 | 29,7 | 297 | 538,31 | 241,31 | 72,20 | 32,1720259 |
| 39,931 | 67,531 | 27,6 | 276 | 538,31 | 262,31 | 73,62 | 34,9717961 |
| 40,931 | 66,731 | 25,8 | 258 | 538,31 | 280,31 | 75,40 | 37,3715991 |
| 41,931 | 66,331 | 24,4 | 244 | 538,31 | 294,31 | 76,42 | 39,2381126 |
| 42,831 | 65,731 | 22,9 | 229 | 538,31 | 309,31 | 78,25 | 41,2379485 |
| 44,231 | 63,631 | 19,4 | 194 | 538,31 | 344,31 | 79,87 | 45,9042321 |
| 44,931 | 62,831 | 17,9 | 179 | 538,31 | 359,31 | 81,31 | 47,904068 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 45,831 | 62,031 | 16,2 | 162 | 538,31 | 376,31 | 82,60 | 50,1705486 |
| 47,031 | 60,631 | 13,6 | 136 | 538,31 | 402,31 | 83,28 | 53,6369307 |
| 47,831 | 59,831 | 12 | 120 | 538,31 | 418,31 | 84,20 | 55,770089 |
| 49,131 | 58,931 | 9,8 | 98 | 538,31 | 440,31 | 85,57 | 58,7031815 |
| 49,731 | 57,831 | 8,1 | 81 | 538,31 | 457,31 | 86,40 | 60,9696622 |
| 50,931 | 56,831 | 5,9 | 59 | 538,31 | 479,31 | 87,32 | 63,9027548 |
| 52,131 | 56,031 | 3,9 | 39 | 538,31 | 499,31 | 89,08 | 66,5692026 |
| 52,831 | 54,631 | 1,8 | 18 | 538,31 | 520,31 | 90,22 | 69,3689727 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,50 | 71,7687758 |

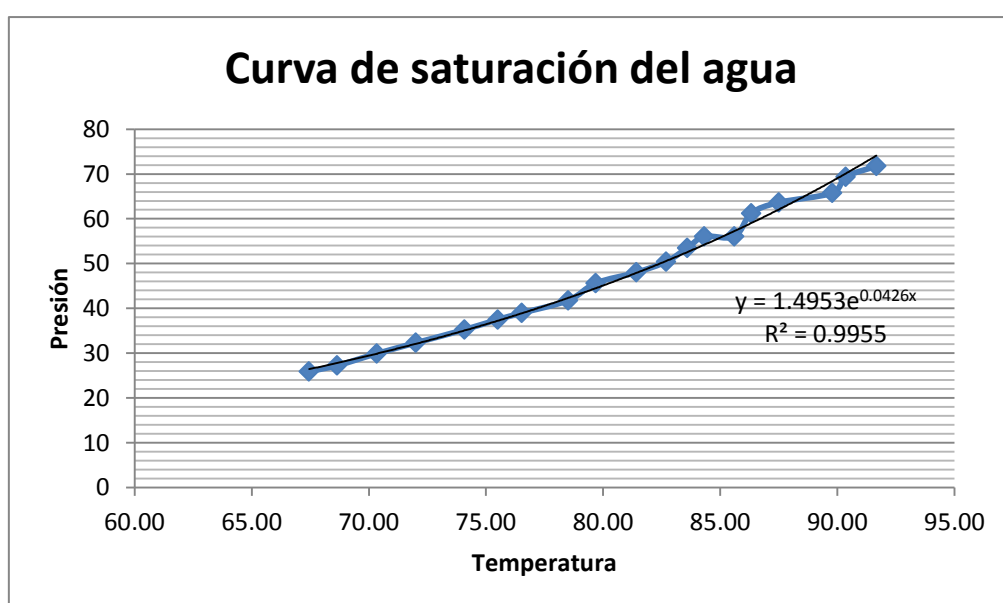


Réplica 4

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,45 | 8,70 | 43,10 |
| | 68,65 | 9,20 | 42,60 |
| | 70,34 | 10,30 | 41,70 |
| | 72,01 | 11,20 | 40,80 |
| | 74,08 | 12,40 | 39,80 |
| | 75,50 | 13,30 | 39,00 |
| | 76,53 | 14,00 | 38,60 |
| | 78,51 | 15,20 | 37,70 |
| | 79,69 | 16,30 | 35,90 |
| | 81,42 | 17,10 | 34,90 |
| | 82,70 | 18,00 | 34,00 |
| | 83,59 | 19,20 | 32,90 |
| | 84,32 | 20,00 | 31,80 |
| | 85,61 | 21,30 | 33,10 |
| | 86,33 | 22,20 | 30,10 |
| | 87,50 | 23,00 | 29,10 |
| | 89,78 | 23,90 | 28,40 |
| | 90,36 | 25,10 | 26,90 |
| | 91,67 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,531 | 70,931 | 34,4 | 344 | 538,31 | 194,31 | 67,45 | 25,9058736 |
| 37,031 | 70,431 | 33,4 | 334 | 538,31 | 204,31 | 68,65 | 27,2390975 |
| 38,131 | 69,531 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,34 | 29,9055453 |
| 39,031 | 68,631 | 29,6 | 296 | 538,31 | 242,31 | 72,01 | 32,3053483 |
| 40,231 | 67,631 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 74,08 | 35,2384409 |
| 41,131 | 66,831 | 25,7 | 257 | 538,31 | 281,31 | 75,50 | 37,5049215 |
| 41,831 | 66,431 | 24,6 | 246 | 538,31 | 292,31 | 76,53 | 38,9714678 |
| 43,031 | 65,531 | 22,5 | 225 | 538,31 | 313,31 | 78,51 | 41,771238 |
| 44,131 | 63,731 | 19,6 | 196 | 538,31 | 342,31 | 79,69 | 45,6375873 |
| 44,931 | 62,731 | 17,8 | 178 | 538,31 | 360,31 | 81,42 | 48,0373903 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 45,831 | 61,831 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,70 | 50,4371934 |
| 47,031 | 60,731 | 13,7 | 137 | 538,31 | 401,31 | 83,59 | 53,5036083 |
| 47,831 | 59,631 | 11,8 | 118 | 538,31 | 420,31 | 84,32 | 56,0367337 |
| 49,131 | 60,931 | 11,8 | 118 | 538,31 | 420,31 | 85,61 | 56,0367337 |
| 50,031 | 57,931 | 7,9 | 79 | 538,31 | 459,31 | 86,33 | 61,236307 |
| 50,831 | 56,931 | 6,1 | 61 | 538,31 | 477,31 | 87,50 | 63,63611 |
| 51,731 | 56,231 | 4,5 | 45 | 538,31 | 493,31 | 89,78 | 65,7692682 |
| 52,931 | 54,731 | 1,8 | 18 | 538,31 | 520,31 | 90,36 | 69,3689727 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,67 | 71,7687758 |

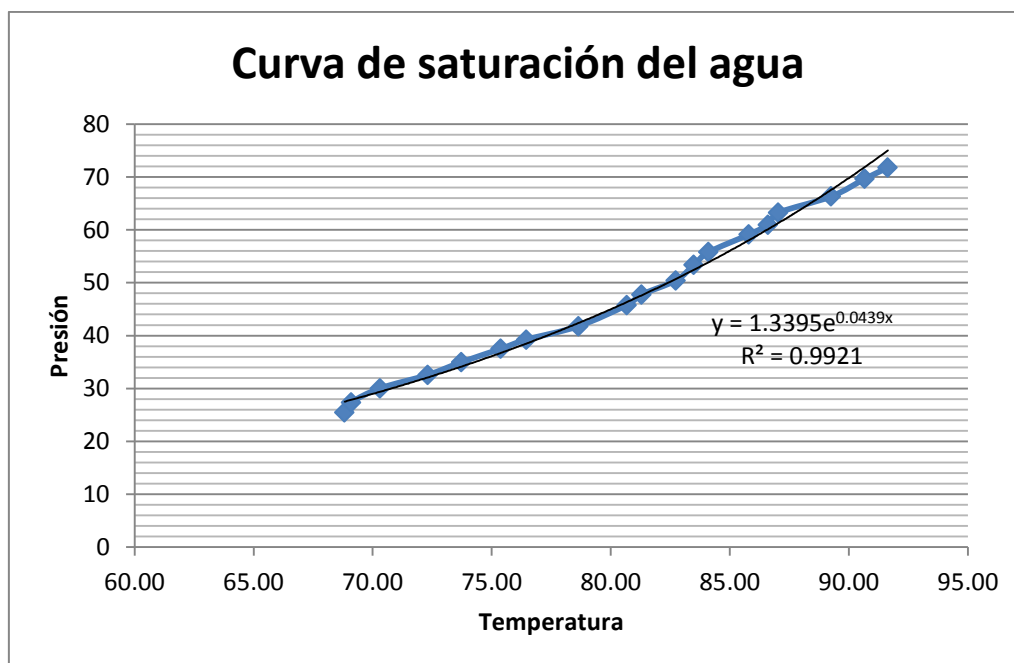


Réplica 5

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,87 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,82 | 8,50 | 43,20 |
| | 69,10 | 9,20 | 42,50 |
| | 70,31 | 10,30 | 41,60 |
| | 72,31 | 11,50 | 40,90 |
| | 73,72 | 12,20 | 39,80 |
| | 75,38 | 13,40 | 39,10 |
| | 76,45 | 14,00 | 38,40 |
| | 78,64 | 15,10 | 37,60 |
| | 80,67 | 16,40 | 35,90 |
| | 81,30 | 17,20 | 35,20 |
| | 82,74 | 18,00 | 34,00 |
| | 83,49 | 19,10 | 32,90 |
| | 84,11 | 20,00 | 32,00 |
| | 85,80 | 21,50 | 31,00 |
| | 86,61 | 22,10 | 30,20 |
| | 87,04 | 23,00 | 29,40 |
| | 89,26 | 24,00 | 28,10 |
| | 90,67 | 25,10 | 26,70 |
| | 91,64 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,87 | 18,4398198 |
| 36,331 | 71,031 | 34,7 | 347 | 538,31 | 191,31 | 68,82 | 25,5059064 |
| 37,031 | 70,331 | 33,3 | 333 | 538,31 | 205,31 | 69,10 | 27,3724199 |
| 38,131 | 69,431 | 31,3 | 313 | 538,31 | 225,31 | 70,31 | 30,0388677 |
| 39,331 | 68,731 | 29,4 | 294 | 538,31 | 244,31 | 72,31 | 32,5719931 |
| 40,031 | 67,631 | 27,6 | 276 | 538,31 | 262,31 | 73,72 | 34,9717961 |
| 41,231 | 66,931 | 25,7 | 257 | 538,31 | 281,31 | 75,38 | 37,5049215 |
| 41,831 | 66,231 | 24,4 | 244 | 538,31 | 294,31 | 76,45 | 39,2381126 |
| 42,931 | 65,431 | 22,5 | 225 | 538,31 | 313,31 | 78,64 | 41,771238 |
| 44,231 | 63,731 | 19,5 | 195 | 538,31 | 343,31 | 80,67 | 45,7709097 |
| 45,031 | 63,031 | 18 | 180 | 538,31 | 358,31 | 81,30 | 47,7707456 |
| 45,831 | 61,831 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,74 | 50,4371934 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 46,931 | 60,731 | 13,8 | 138 | 538,31 | 400,31 | 83,49 | 53,3702859 |
| 47,831 | 59,831 | 12 | 120 | 538,31 | 418,31 | 84,11 | 55,770089 |
| 49,331 | 58,831 | 9,5 | 95 | 538,31 | 443,31 | 85,80 | 59,1031487 |
| 49,931 | 58,031 | 8,1 | 81 | 538,31 | 457,31 | 86,61 | 60,9696622 |
| 50,831 | 57,231 | 6,4 | 64 | 538,31 | 474,31 | 87,04 | 63,2361428 |
| 51,831 | 55,931 | 4,1 | 41 | 538,31 | 497,31 | 89,26 | 66,3025578 |
| 52,931 | 54,531 | 1,6 | 16 | 538,31 | 522,31 | 90,67 | 69,6356175 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,64 | 71,7687758 |

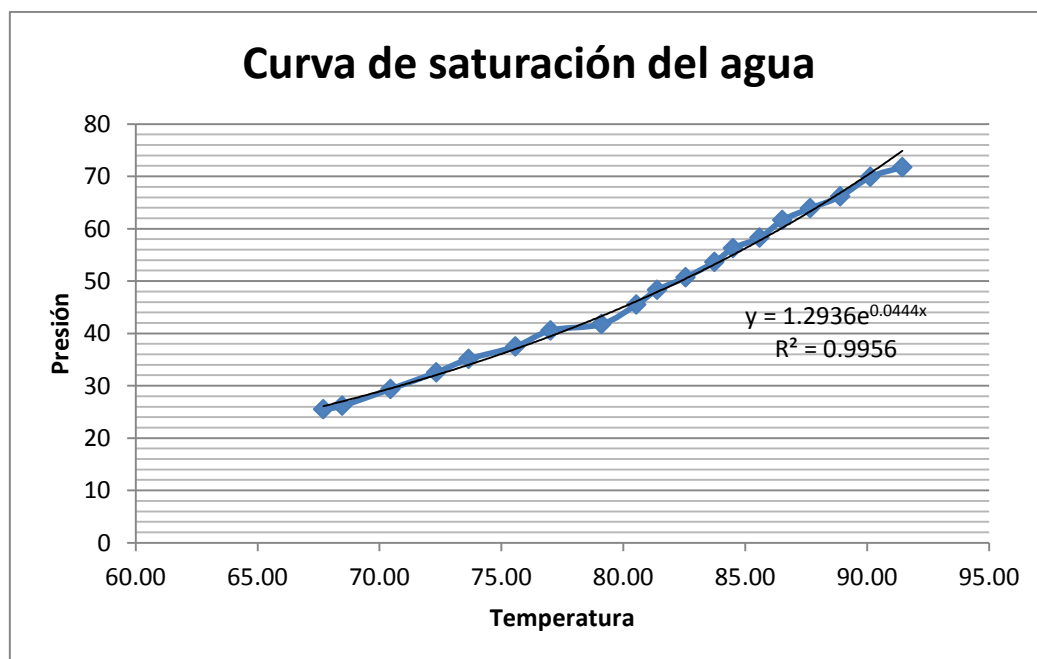


Réplica 6

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,70 | 8,60 | 43,30 |
| | 68,48 | 9,00 | 43,20 |
| | 70,46 | 10,10 | 41,90 |
| | 72,34 | 11,30 | 40,70 |
| | 73,66 | 12,30 | 39,80 |
| | 75,58 | 13,40 | 39,10 |
| | 77,02 | 14,10 | 37,50 |
| | 79,11 | 15,30 | 37,80 |
| | 80,54 | 16,20 | 35,90 |
| | 81,39 | 17,40 | 35,00 |
| | 82,56 | 18,20 | 34,00 |
| | 83,74 | 19,30 | 32,90 |
| | 84,51 | 20,10 | 31,70 |
| | 85,60 | 21,30 | 31,40 |
| | 86,53 | 22,40 | 30,00 |
| | 87,67 | 23,20 | 29,10 |
| | 88,90 | 24,00 | 28,20 |
| | 90,14 | 25,30 | 26,70 |
| | 91,45 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,131 | 34,7 | 347 | 538,31 | 191,31 | 67,70 | 25,5059064 |
| 36,831 | 71,031 | 34,2 | 342 | 538,31 | 196,31 | 68,48 | 26,1725184 |
| 37,931 | 69,731 | 31,8 | 318 | 538,31 | 220,31 | 70,46 | 29,3722557 |
| 39,131 | 68,531 | 29,4 | 294 | 538,31 | 244,31 | 72,34 | 32,5719931 |
| 40,131 | 67,631 | 27,5 | 275 | 538,31 | 263,31 | 73,66 | 35,1051185 |
| 41,231 | 66,931 | 25,7 | 257 | 538,31 | 281,31 | 75,58 | 37,5049215 |
| 41,931 | 65,331 | 23,4 | 234 | 538,31 | 304,31 | 77,02 | 40,5713365 |
| 43,131 | 65,631 | 22,5 | 225 | 538,31 | 313,31 | 79,11 | 41,771238 |
| 44,031 | 63,731 | 19,7 | 197 | 538,31 | 341,31 | 80,54 | 45,5042649 |
| 45,231 | 62,831 | 17,6 | 176 | 538,31 | 362,31 | 81,39 | 48,3040351 |
| 46,031 | 61,831 | 15,8 | 158 | 538,31 | 380,31 | 82,56 | 50,7038381 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 47,131 | 60,731 | 13,6 | 136 | 538,31 | 402,31 | 83,74 | 53,6369307 |
| 47,931 | 59,531 | 11,6 | 116 | 538,31 | 422,31 | 84,51 | 56,3033785 |
| 49,131 | 59,231 | 10,1 | 101 | 538,31 | 437,31 | 85,60 | 58,3032144 |
| 50,231 | 57,831 | 7,6 | 76 | 538,31 | 462,31 | 86,53 | 61,6362741 |
| 51,031 | 56,931 | 5,9 | 59 | 538,31 | 479,31 | 87,67 | 63,9027548 |
| 51,831 | 56,031 | 4,2 | 42 | 538,31 | 496,31 | 88,90 | 66,1692354 |
| 53,131 | 54,531 | 1,4 | 14 | 538,31 | 524,31 | 90,14 | 69,9022623 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,45 | 71,7687758 |

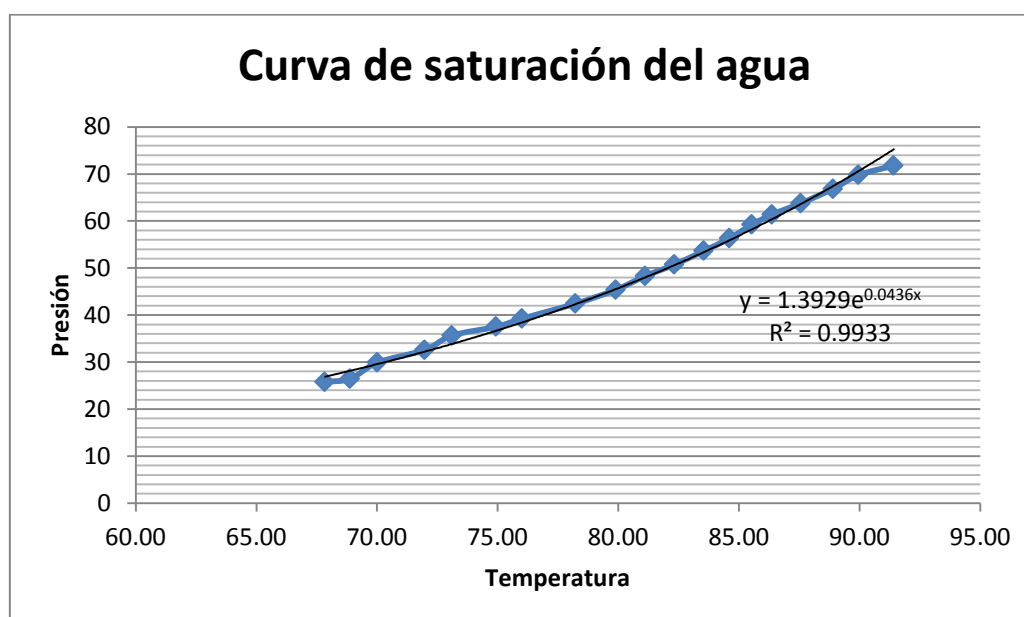


Réplica 7

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,50 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,84 | 8,50 | 43,00 |
| | 68,89 | 9,20 | 43,20 |
| | 70,02 | 10,30 | 41,70 |
| | 71,98 | 11,20 | 40,60 |
| | 73,10 | 12,60 | 39,70 |
| | 74,94 | 13,40 | 39,10 |
| | 76,01 | 14,30 | 38,70 |
| | 78,23 | 15,50 | 37,50 |
| | 79,90 | 16,10 | 35,90 |
| | 81,12 | 17,30 | 34,90 |
| | 82,32 | 18,00 | 33,80 |
| | 83,54 | 19,10 | 32,70 |
| | 84,61 | 20,30 | 31,90 |
| | 85,54 | 21,40 | 30,80 |
| | 86,37 | 22,20 | 30,00 |
| | 87,56 | 23,00 | 29,00 |
| | 88,90 | 24,40 | 28,10 |
| | 89,96 | 25,30 | 26,80 |
| | 91,42 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,50 | 18,4398198 |
| 36,331 | 70,831 | 34,5 | 345 | 538,31 | 193,31 | 67,84 | 25,7725512 |
| 37,031 | 71,031 | 34 | 340 | 538,31 | 198,31 | 68,89 | 26,4391632 |
| 38,131 | 69,531 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,02 | 29,9055453 |
| 39,031 | 68,431 | 29,4 | 294 | 538,31 | 244,31 | 71,98 | 32,5719931 |
| 40,431 | 67,531 | 27,1 | 271 | 538,31 | 267,31 | 73,10 | 35,6384081 |
| 41,231 | 66,931 | 25,7 | 257 | 538,31 | 281,31 | 74,94 | 37,5049215 |
| 42,131 | 66,531 | 24,4 | 244 | 538,31 | 294,31 | 76,01 | 39,2381126 |
| 43,331 | 65,331 | 22 | 220 | 538,31 | 318,31 | 78,23 | 42,43785 |
| 43,931 | 63,731 | 19,8 | 198 | 538,31 | 340,31 | 79,90 | 45,3709425 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 45,131 | 62,731 | 17,6 | 176 | 538,31 | 362,31 | 81,12 | 48,3040351 |
| 45,831 | 61,631 | 15,8 | 158 | 538,31 | 380,31 | 82,32 | 50,7038381 |
| 46,931 | 60,531 | 13,6 | 136 | 538,31 | 402,31 | 83,54 | 53,6369307 |
| 48,131 | 59,731 | 11,6 | 116 | 538,31 | 422,31 | 84,61 | 56,3033785 |
| 49,231 | 58,631 | 9,4 | 94 | 538,31 | 444,31 | 85,54 | 59,2364711 |
| 50,031 | 57,831 | 7,8 | 78 | 538,31 | 460,31 | 86,37 | 61,3696293 |
| 50,831 | 56,831 | 6 | 60 | 538,31 | 478,31 | 87,56 | 63,7694324 |
| 52,231 | 55,931 | 3,7 | 37 | 538,31 | 501,31 | 88,90 | 66,8358473 |
| 53,131 | 54,631 | 1,5 | 15 | 538,31 | 523,31 | 89,96 | 69,7689399 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,42 | 71,7687758 |

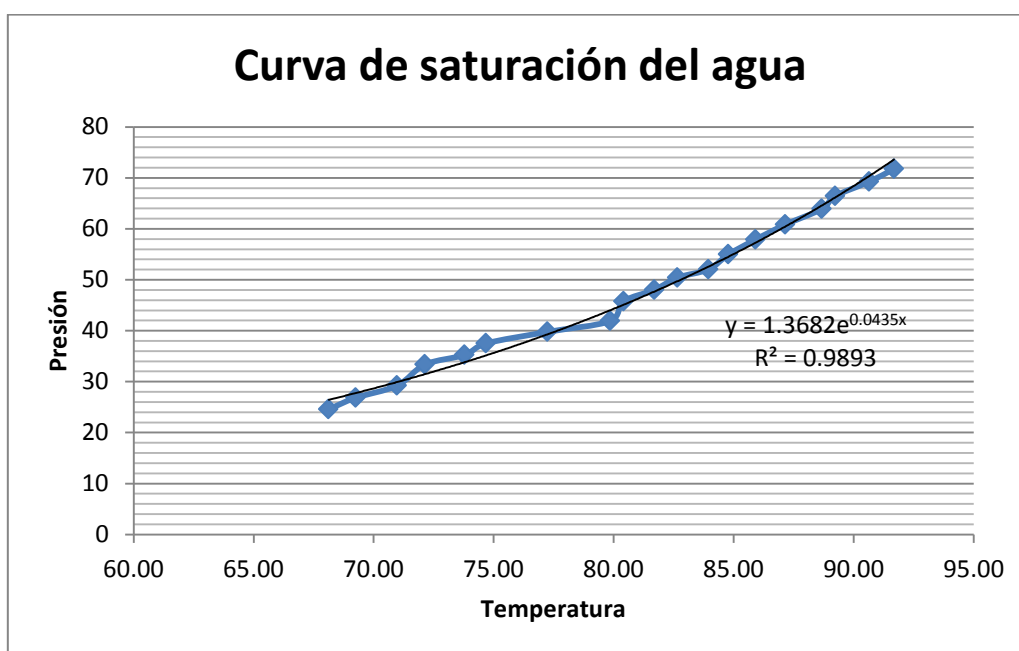


Réplica 8

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,12 | 8,70 | 44,10 |
| | 69,25 | 9,30 | 43,00 |
| | 70,98 | 10,40 | 42,30 |
| | 72,14 | 11,90 | 40,70 |
| | 73,79 | 12,40 | 39,80 |
| | 74,68 | 13,30 | 39,00 |
| | 77,24 | 14,60 | 38,60 |
| | 79,85 | 15,50 | 37,90 |
| | 80,41 | 16,60 | 36,10 |
| | 81,70 | 17,20 | 35,00 |
| | 82,66 | 18,30 | 34,30 |
| | 83,95 | 19,00 | 33,80 |
| | 84,78 | 20,30 | 32,90 |
| | 85,91 | 21,30 | 31,70 |
| | 87,15 | 22,60 | 30,80 |
| | 88,67 | 23,20 | 29,10 |
| | 89,23 | 24,30 | 28,30 |
| | 90,64 | 25,10 | 27,00 |
| | 91,68 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,531 | 71,931 | 35,4 | 354 | 538,31 | 184,31 | 68,12 | 24,5726497 |
| 37,131 | 70,831 | 33,7 | 337 | 538,31 | 201,31 | 69,25 | 26,8391303 |
| 38,231 | 70,131 | 31,9 | 319 | 538,31 | 219,31 | 70,98 | 29,2389334 |
| 39,731 | 68,531 | 28,8 | 288 | 538,31 | 250,31 | 72,14 | 33,3719274 |
| 40,231 | 67,631 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 73,79 | 35,2384409 |
| 41,131 | 66,831 | 25,7 | 257 | 538,31 | 281,31 | 74,68 | 37,5049215 |
| 42,431 | 66,431 | 24 | 240 | 538,31 | 298,31 | 77,24 | 39,7714022 |
| 43,331 | 65,731 | 22,4 | 224 | 538,31 | 314,31 | 79,85 | 41,9045604 |
| 44,431 | 63,931 | 19,5 | 195 | 538,31 | 343,31 | 80,41 | 45,7709097 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 45,031 | 62,831 | 17,8 | 178 | 538,31 | 360,31 | 81,70 | 48,0373903 |
| 46,131 | 62,131 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,66 | 50,4371934 |
| 46,831 | 61,631 | 14,8 | 148 | 538,31 | 390,31 | 83,95 | 52,037062 |
| 48,131 | 60,731 | 12,6 | 126 | 538,31 | 412,31 | 84,78 | 54,9701546 |
| 49,131 | 59,531 | 10,4 | 104 | 538,31 | 434,31 | 85,91 | 57,9032472 |
| 50,431 | 58,631 | 8,2 | 82 | 538,31 | 456,31 | 87,15 | 60,8363398 |
| 51,031 | 56,931 | 5,9 | 59 | 538,31 | 479,31 | 88,67 | 63,9027548 |
| 52,131 | 56,131 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 89,23 | 66,4358802 |
| 52,931 | 54,831 | 1,9 | 19 | 538,31 | 519,31 | 90,64 | 69,2356504 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,68 | 71,7687758 |

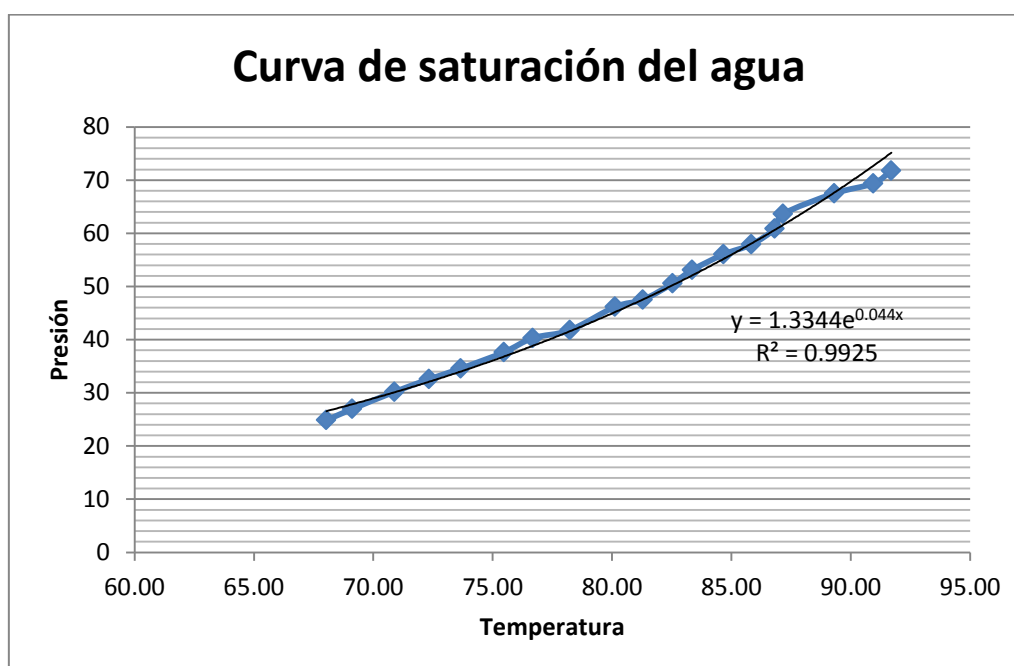


Réplica 9

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,03 | 8,50 | 43,70 |
| | 69,12 | 9,30 | 42,90 |
| | 70,88 | 10,40 | 41,60 |
| | 72,34 | 11,30 | 40,70 |
| | 73,66 | 12,00 | 39,90 |
| | 75,47 | 13,30 | 38,90 |
| | 76,68 | 14,50 | 38,10 |
| | 78,23 | 15,30 | 37,80 |
| | 80,12 | 16,60 | 35,80 |
| | 81,29 | 17,10 | 35,30 |
| | 82,54 | 18,30 | 34,20 |
| | 83,36 | 19,00 | 33,00 |
| | 84,67 | 20,30 | 32,10 |
| | 85,84 | 21,50 | 31,90 |
| | 86,81 | 22,00 | 30,20 |
| | 87,16 | 23,30 | 29,40 |
| | 89,31 | 24,80 | 28,00 |
| | 90,94 | 25,30 | 27,10 |
| | 91,70 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,331 | 71,531 | 35,2 | 352 | 538,31 | 186,31 | 68,03 | 24,8392945 |
| 37,131 | 70,731 | 33,6 | 336 | 538,31 | 202,31 | 69,12 | 26,9724527 |
| 38,231 | 69,431 | 31,2 | 312 | 538,31 | 226,31 | 70,88 | 30,1721901 |
| 39,131 | 68,531 | 29,4 | 294 | 538,31 | 244,31 | 72,34 | 32,5719931 |
| 39,831 | 67,731 | 27,9 | 279 | 538,31 | 259,31 | 73,66 | 34,571829 |
| 41,131 | 66,731 | 25,6 | 256 | 538,31 | 282,31 | 75,47 | 37,6382439 |
| 42,331 | 65,931 | 23,6 | 236 | 538,31 | 302,31 | 76,68 | 40,3046917 |
| 43,131 | 65,631 | 22,5 | 225 | 538,31 | 313,31 | 78,23 | 41,771238 |
| 44,431 | 63,631 | 19,2 | 192 | 538,31 | 346,31 | 80,12 | 46,1708769 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,931 | 63,131 | 18,2 | 182 | 538,31 | 356,31 | 81,29 | 47,5041008 |
| 46,131 | 62,031 | 15,9 | 159 | 538,31 | 379,31 | 82,54 | 50,5705158 |
| 46,831 | 60,831 | 14 | 140 | 538,31 | 398,31 | 83,36 | 53,1036412 |
| 48,131 | 59,931 | 11,8 | 118 | 538,31 | 420,31 | 84,67 | 56,0367337 |
| 49,331 | 59,731 | 10,4 | 104 | 538,31 | 434,31 | 85,84 | 57,9032472 |
| 49,831 | 58,031 | 8,2 | 82 | 538,31 | 456,31 | 86,81 | 60,8363398 |
| 51,131 | 57,231 | 6,1 | 61 | 538,31 | 477,31 | 87,16 | 63,63611 |
| 52,631 | 55,831 | 3,2 | 32 | 538,31 | 506,31 | 89,31 | 67,5024593 |
| 53,131 | 54,931 | 1,8 | 18 | 538,31 | 520,31 | 90,94 | 69,3689727 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,70 | 71,7687758 |

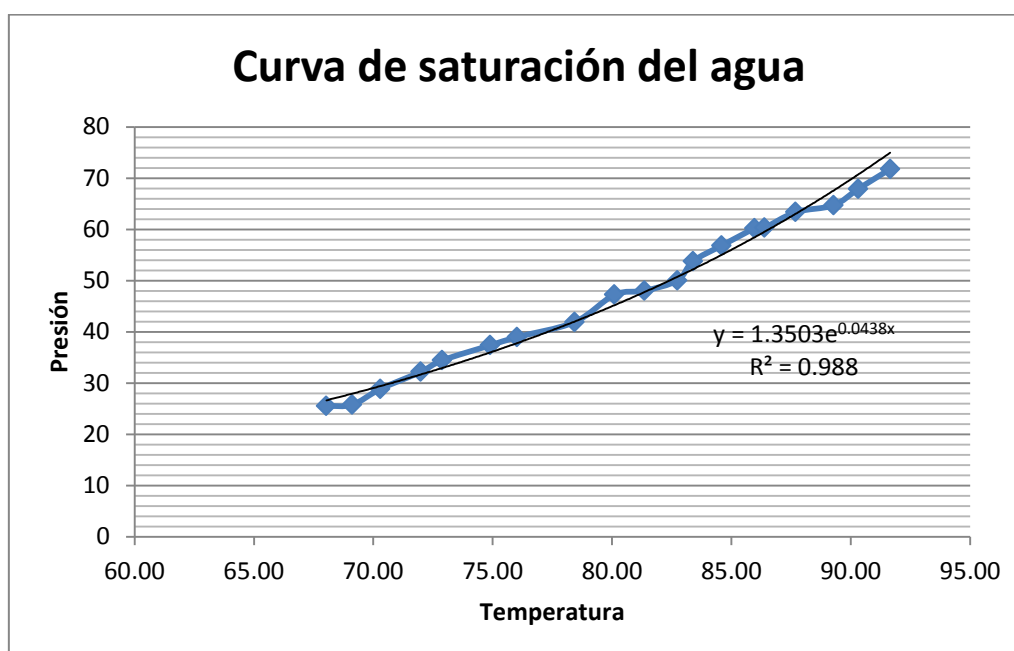


Réplica 10

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,30 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,03 | 8,60 | 43,28 |
| | 69,12 | 9,00 | 43,50 |
| | 70,29 | 10,10 | 42,30 |
| | 71,98 | 11,40 | 41,10 |
| | 72,89 | 12,20 | 40,20 |
| | 74,90 | 13,30 | 39,10 |
| | 76,02 | 14,10 | 38,70 |
| | 78,43 | 15,00 | 37,40 |
| | 80,10 | 16,10 | 34,50 |
| | 81,36 | 17,30 | 35,10 |
| | 82,74 | 18,00 | 34,30 |
| | 83,39 | 19,50 | 33,00 |
| | 84,59 | 20,90 | 32,10 |
| | 85,97 | 22,60 | 31,30 |
| | 86,38 | 21,80 | 30,40 |
| | 87,69 | 22,90 | 29,20 |
| | 89,28 | 23,70 | 29,00 |
| | 90,31 | 24,90 | 27,80 |
| | 91,65 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,30 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,111 | 34,68 | 346,8 | 538,31 | 191,51 | 68,03 | 25,5325709 |
| 36,831 | 71,331 | 34,5 | 345 | 538,31 | 193,31 | 69,12 | 25,7725512 |
| 37,931 | 70,131 | 32,2 | 322 | 538,31 | 216,31 | 70,29 | 28,8389662 |
| 39,231 | 68,931 | 29,7 | 297 | 538,31 | 241,31 | 71,98 | 32,1720259 |
| 40,031 | 68,031 | 28 | 280 | 538,31 | 258,31 | 72,89 | 34,4385066 |
| 41,131 | 66,931 | 25,8 | 258 | 538,31 | 280,31 | 74,90 | 37,3715991 |
| 41,931 | 66,531 | 24,6 | 246 | 538,31 | 292,31 | 76,02 | 38,9714678 |
| 42,831 | 65,231 | 22,4 | 224 | 538,31 | 314,31 | 78,43 | 41,9045604 |
| 43,931 | 62,331 | 18,4 | 184 | 538,31 | 354,31 | 80,10 | 47,237456 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 45,131 | 62,931 | 17,8 | 178 | 538,31 | 360,31 | 81,36 | 48,0373903 |
| 45,831 | 62,131 | 16,3 | 163 | 538,31 | 375,31 | 82,74 | 50,0372262 |
| 47,331 | 60,831 | 13,5 | 135 | 538,31 | 403,31 | 83,39 | 53,7702531 |
| 48,731 | 59,931 | 11,2 | 112 | 538,31 | 426,31 | 84,59 | 56,8366681 |
| 50,431 | 59,131 | 8,7 | 87 | 538,31 | 451,31 | 85,97 | 60,1697278 |
| 49,631 | 58,231 | 8,6 | 86 | 538,31 | 452,31 | 86,38 | 60,3030502 |
| 50,731 | 57,031 | 6,3 | 63 | 538,31 | 475,31 | 87,69 | 63,3694652 |
| 51,531 | 56,831 | 5,3 | 53 | 538,31 | 485,31 | 89,28 | 64,7026891 |
| 52,731 | 55,631 | 2,9 | 29 | 538,31 | 509,31 | 90,31 | 67,9024265 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,65 | 71,7687758 |

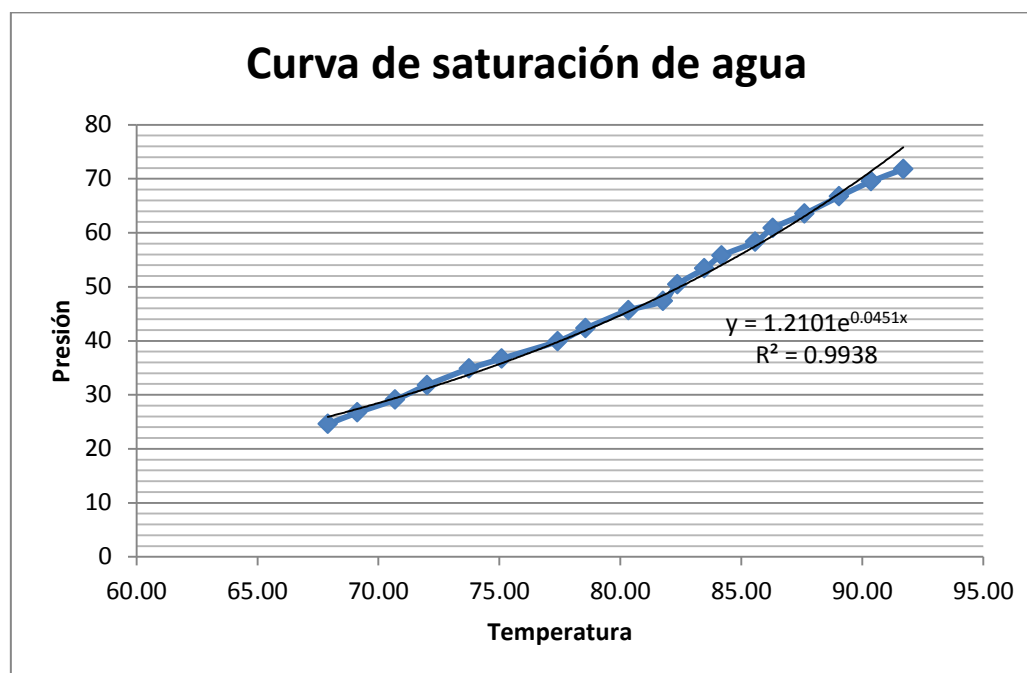


Réplica 11

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,10 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,91 | 8,60 | 44,00 |
| | 69,13 | 9,30 | 43,10 |
| | 70,69 | 10,00 | 42,00 |
| | 72,01 | 11,30 | 41,30 |
| | 73,75 | 12,40 | 40,10 |
| | 75,09 | 13,10 | 39,40 |
| | 77,41 | 14,30 | 38,20 |
| | 78,56 | 15,00 | 37,10 |
| | 80,34 | 16,40 | 36,00 |
| | 81,76 | 17,00 | 35,30 |
| | 82,36 | 18,20 | 34,20 |
| | 83,47 | 19,00 | 32,80 |
| | 84,19 | 20,10 | 32,10 |
| | 85,57 | 21,30 | 31,40 |
| | 86,30 | 22,00 | 30,20 |
| | 87,61 | 23,10 | 29,30 |
| | 89,04 | 24,30 | 28,10 |
| | 90,36 | 25,30 | 27,00 |
| | 91,70 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,10 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,831 | 35,4 | 354 | 538,31 | 184,31 | 67,91 | 24,5726497 |
| 37,131 | 70,931 | 33,8 | 338 | 538,31 | 200,31 | 69,13 | 26,7058079 |
| 37,831 | 69,831 | 32 | 320 | 538,31 | 218,31 | 70,69 | 29,105611 |
| 39,131 | 69,131 | 30 | 300 | 538,31 | 238,31 | 72,01 | 31,7720588 |
| 40,231 | 67,931 | 27,7 | 277 | 538,31 | 261,31 | 73,75 | 34,8384737 |
| 40,931 | 67,231 | 26,3 | 263 | 538,31 | 275,31 | 75,09 | 36,7049872 |
| 42,131 | 66,031 | 23,9 | 239 | 538,31 | 299,31 | 77,41 | 39,9047246 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 42,831 | 64,931 | 22,1 | 221 | 538,31 | 317,31 | 78,56 | 42,3045276 |
| 44,231 | 63,831 | 19,6 | 196 | 538,31 | 342,31 | 80,34 | 45,6375873 |
| 44,831 | 63,131 | 18,3 | 183 | 538,31 | 355,31 | 81,76 | 47,3707784 |
| 46,031 | 62,031 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,36 | 50,4371934 |
| 46,831 | 60,631 | 13,8 | 138 | 538,31 | 400,31 | 83,47 | 53,3702859 |
| 47,931 | 59,931 | 12 | 120 | 538,31 | 418,31 | 84,19 | 55,770089 |
| 49,131 | 59,231 | 10,1 | 101 | 538,31 | 437,31 | 85,57 | 58,3032144 |
| 49,831 | 58,031 | 8,2 | 82 | 538,31 | 456,31 | 86,30 | 60,8363398 |
| 50,931 | 57,131 | 6,2 | 62 | 538,31 | 476,31 | 87,61 | 63,5027876 |
| 52,131 | 55,931 | 3,8 | 38 | 538,31 | 500,31 | 89,04 | 66,7025249 |
| 53,131 | 54,831 | 1,7 | 17 | 538,31 | 521,31 | 90,36 | 69,5022951 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,70 | 71,7687758 |

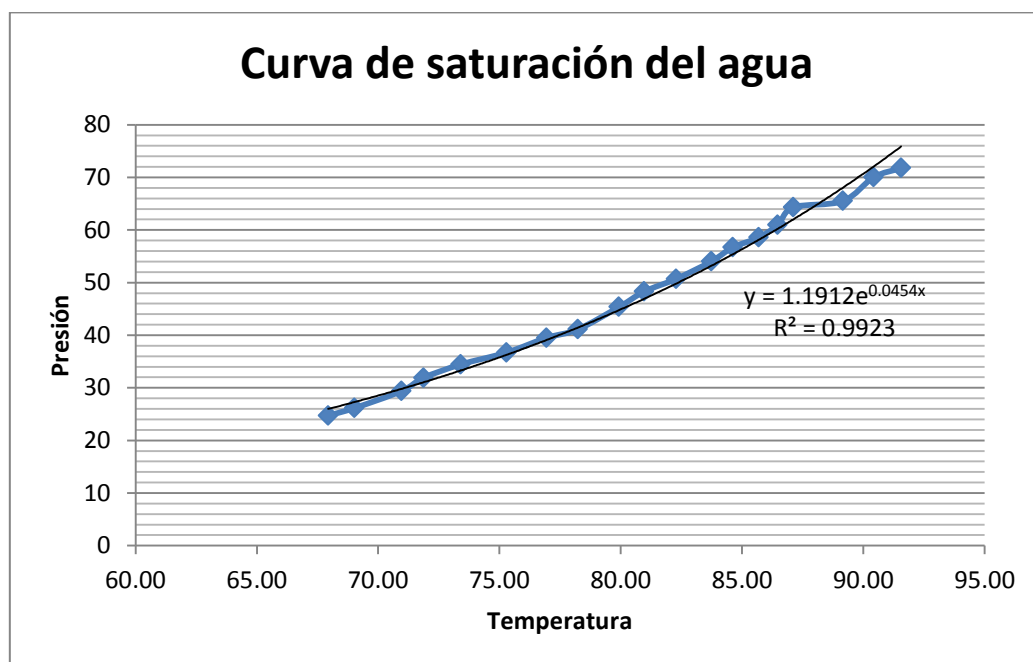


Réplica 12

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,64 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,94 | 8,80 | 44,10 |
| | 69,03 | 9,00 | 43,20 |
| | 70,96 | 10,40 | 42,20 |
| | 71,87 | 11,10 | 41,00 |
| | 73,40 | 12,30 | 40,30 |
| | 75,29 | 13,00 | 39,30 |
| | 76,94 | 14,30 | 38,50 |
| | 78,23 | 15,00 | 38,00 |
| | 79,93 | 16,20 | 36,00 |
| | 80,97 | 17,60 | 35,20 |
| | 82,28 | 18,10 | 33,90 |
| | 83,74 | 19,30 | 32,60 |
| | 84,62 | 20,40 | 31,70 |
| | 85,69 | 21,10 | 31,00 |
| | 86,47 | 22,20 | 30,30 |
| | 87,12 | 23,40 | 29,00 |
| | 89,16 | 24,00 | 28,70 |
| | 90,43 | 25,20 | 26,50 |
| | 91,56 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,64 | 18,4398198 |
| 36,631 | 71,931 | 35,3 | 353 | 538,31 | 185,31 | 67,94 | 24,7059721 |
| 36,831 | 71,031 | 34,2 | 342 | 538,31 | 196,31 | 69,03 | 26,1725184 |
| 38,231 | 70,031 | 31,8 | 318 | 538,31 | 220,31 | 70,96 | 29,3722557 |
| 38,931 | 68,831 | 29,9 | 299 | 538,31 | 239,31 | 71,87 | 31,9053812 |
| 40,131 | 68,131 | 28 | 280 | 538,31 | 258,31 | 73,40 | 34,4385066 |
| 40,831 | 67,131 | 26,3 | 263 | 538,31 | 275,31 | 75,29 | 36,7049872 |
| 42,131 | 66,331 | 24,2 | 242 | 538,31 | 296,31 | 76,94 | 39,5047574 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 42,831 | 65,831 | 23 | 230 | 538,31 | 308,31 | 78,23 | 41,1046261 |
| 44,031 | 63,831 | 19,8 | 198 | 538,31 | 340,31 | 79,93 | 45,3709425 |
| 45,431 | 63,031 | 17,6 | 176 | 538,31 | 362,31 | 80,97 | 48,3040351 |
| 45,931 | 61,731 | 15,8 | 158 | 538,31 | 380,31 | 82,28 | 50,7038381 |
| 47,131 | 60,431 | 13,3 | 133 | 538,31 | 405,31 | 83,74 | 54,0368979 |
| 48,231 | 59,531 | 11,3 | 113 | 538,31 | 425,31 | 84,62 | 56,7033457 |
| 48,931 | 58,831 | 9,9 | 99 | 538,31 | 439,31 | 85,69 | 58,5698592 |
| 50,031 | 58,131 | 8,1 | 81 | 538,31 | 457,31 | 86,47 | 60,9696622 |
| 51,231 | 56,831 | 5,6 | 56 | 538,31 | 482,31 | 87,12 | 64,3027219 |
| 51,831 | 56,531 | 4,7 | 47 | 538,31 | 491,31 | 89,16 | 65,5026234 |
| 53,031 | 54,331 | 1,3 | 13 | 538,31 | 525,31 | 90,43 | 70,0355847 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,56 | 71,7687758 |

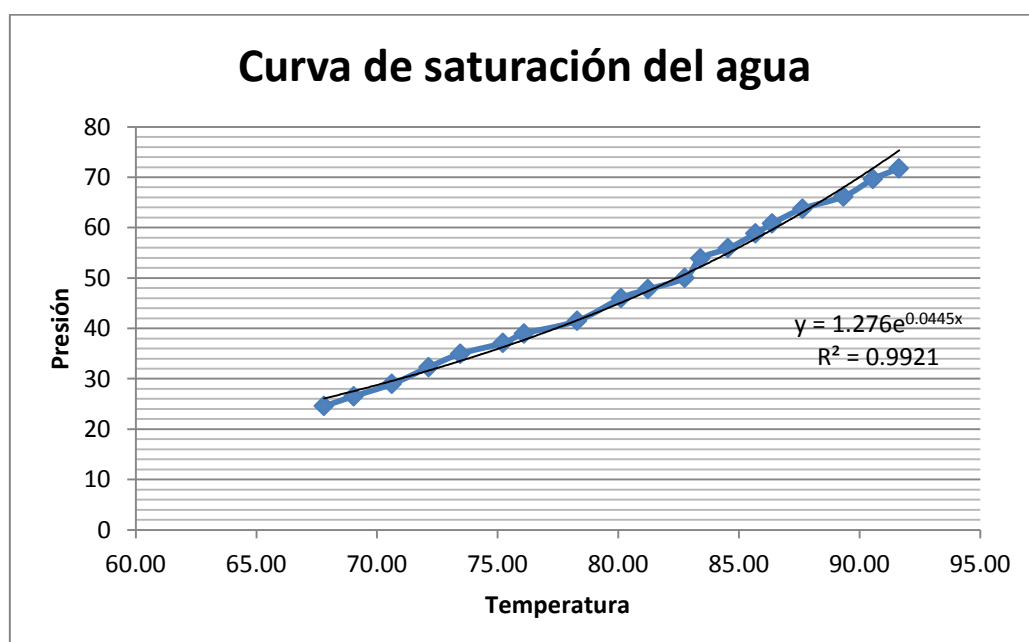


Réplica 13

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,90 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,81 | 8,60 | 44,00 |
| | 69,04 | 9,10 | 43,03 |
| | 70,63 | 10,00 | 42,10 |
| | 72,15 | 11,50 | 41,10 |
| | 73,46 | 12,20 | 39,80 |
| | 75,23 | 13,10 | 39,10 |
| | 76,10 | 14,00 | 38,60 |
| | 78,30 | 15,20 | 37,90 |
| | 80,13 | 16,30 | 35,60 |
| | 81,24 | 17,00 | 35,00 |
| | 82,76 | 18,30 | 34,60 |
| | 83,41 | 19,30 | 32,70 |
| | 84,56 | 20,00 | 31,90 |
| | 85,70 | 21,30 | 31,00 |
| | 86,39 | 22,00 | 30,20 |
| | 87,64 | 23,10 | 29,10 |
| | 89,34 | 24,00 | 28,20 |
| | 90,56 | 25,20 | 26,80 |
| | 91,64 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,90 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,831 | 35,4 | 354 | 538,31 | 184,31 | 67,81 | 24,5726497 |
| 36,931 | 70,861 | 33,93 | 339,3 | 538,31 | 199,01 | 69,04 | 26,5324888 |
| 37,831 | 69,931 | 32,1 | 321 | 538,31 | 217,31 | 70,63 | 28,9722886 |
| 39,331 | 68,931 | 29,6 | 296 | 538,31 | 242,31 | 72,15 | 32,3053483 |
| 40,031 | 67,631 | 27,6 | 276 | 538,31 | 262,31 | 73,46 | 34,9717961 |
| 40,931 | 66,931 | 26 | 260 | 538,31 | 278,31 | 75,23 | 37,1049544 |
| 41,831 | 66,431 | 24,6 | 246 | 538,31 | 292,31 | 76,10 | 38,9714678 |
| 43,031 | 65,731 | 22,7 | 227 | 538,31 | 311,31 | 78,30 | 41,5045932 |
| 44,131 | 63,431 | 19,3 | 193 | 538,31 | 345,31 | 80,13 | 46,0375545 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,831 | 62,831 | 18 | 180 | 538,31 | 358,31 | 81,24 | 47,7707456 |
| 46,131 | 62,431 | 16,3 | 163 | 538,31 | 375,31 | 82,76 | 50,0372262 |
| 47,131 | 60,531 | 13,4 | 134 | 538,31 | 404,31 | 83,41 | 53,9035755 |
| 47,831 | 59,731 | 11,9 | 119 | 538,31 | 419,31 | 84,56 | 55,9034114 |
| 49,131 | 58,831 | 9,7 | 97 | 538,31 | 441,31 | 85,70 | 58,8365039 |
| 49,831 | 58,031 | 8,2 | 82 | 538,31 | 456,31 | 86,39 | 60,8363398 |
| 50,931 | 56,931 | 6 | 60 | 538,31 | 478,31 | 87,64 | 63,7694324 |
| 51,831 | 56,031 | 4,2 | 42 | 538,31 | 496,31 | 89,34 | 66,1692354 |
| 53,031 | 54,631 | 1,6 | 16 | 538,31 | 522,31 | 90,56 | 69,6356175 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,64 | 71,7687758 |

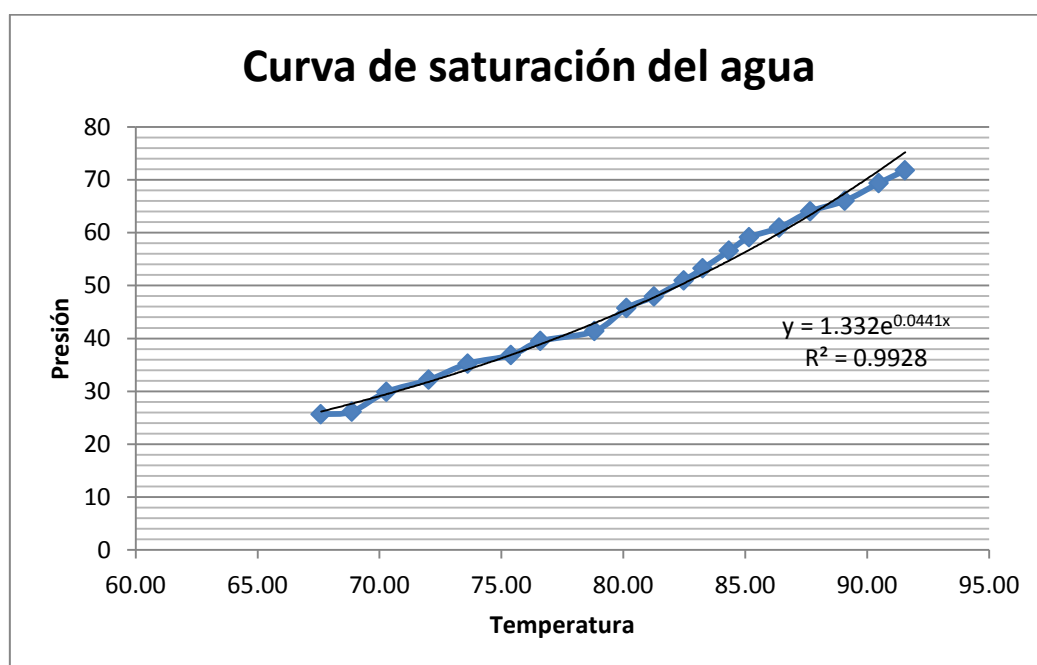


Réplica 14

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,90 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,60 | 8,80 | 43,40 |
| | 68,87 | 9,10 | 43,30 |
| | 70,29 | 10,60 | 42,00 |
| | 72,02 | 11,20 | 40,90 |
| | 73,62 | 12,30 | 39,70 |
| | 75,40 | 13,00 | 39,20 |
| | 76,61 | 14,20 | 38,40 |
| | 78,82 | 15,00 | 37,80 |
| | 80,14 | 16,40 | 35,90 |
| | 81,27 | 17,00 | 34,90 |
| | 82,48 | 18,20 | 33,80 |
| | 83,26 | 19,00 | 32,90 |
| | 84,34 | 20,30 | 31,70 |
| | 85,16 | 21,40 | 30,90 |
| | 86,40 | 22,00 | 30,10 |
| | 87,67 | 23,20 | 29,00 |
| | 89,09 | 24,00 | 28,30 |
| | 90,48 | 25,00 | 26,80 |
| | 91,56 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,90 | 18,4398198 |
| 36,631 | 71,231 | 34,6 | 346 | 538,31 | 192,31 | 67,60 | 25,6392288 |
| 36,931 | 71,131 | 34,2 | 342 | 538,31 | 196,31 | 68,87 | 26,1725184 |
| 38,431 | 69,831 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,29 | 29,9055453 |
| 39,031 | 68,731 | 29,7 | 297 | 538,31 | 241,31 | 72,02 | 32,1720259 |
| 40,131 | 67,531 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 73,62 | 35,2384409 |
| 40,831 | 67,031 | 26,2 | 262 | 538,31 | 276,31 | 75,40 | 36,8383096 |
| 42,031 | 66,231 | 24,2 | 242 | 538,31 | 296,31 | 76,61 | 39,5047574 |
| 42,831 | 65,631 | 22,8 | 228 | 538,31 | 310,31 | 78,82 | 41,3712708 |
| 44,231 | 63,731 | 19,5 | 195 | 538,31 | 343,31 | 80,14 | 45,7709097 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,831 | 62,731 | 17,9 | 179 | 538,31 | 359,31 | 81,27 | 47,904068 |
| 46,031 | 61,631 | 15,6 | 156 | 538,31 | 382,31 | 82,48 | 50,9704829 |
| 46,831 | 60,731 | 13,9 | 139 | 538,31 | 399,31 | 83,26 | 53,2369636 |
| 48,131 | 59,531 | 11,4 | 114 | 538,31 | 424,31 | 84,34 | 56,5700233 |
| 49,231 | 58,731 | 9,5 | 95 | 538,31 | 443,31 | 85,16 | 59,1031487 |
| 49,831 | 57,931 | 8,1 | 81 | 538,31 | 457,31 | 86,40 | 60,9696622 |
| 51,031 | 56,831 | 5,8 | 58 | 538,31 | 480,31 | 87,67 | 64,0360771 |
| 51,831 | 56,131 | 4,3 | 43 | 538,31 | 495,31 | 89,09 | 66,035913 |
| 52,831 | 54,631 | 1,8 | 18 | 538,31 | 520,31 | 90,48 | 69,3689727 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,56 | 71,7687758 |

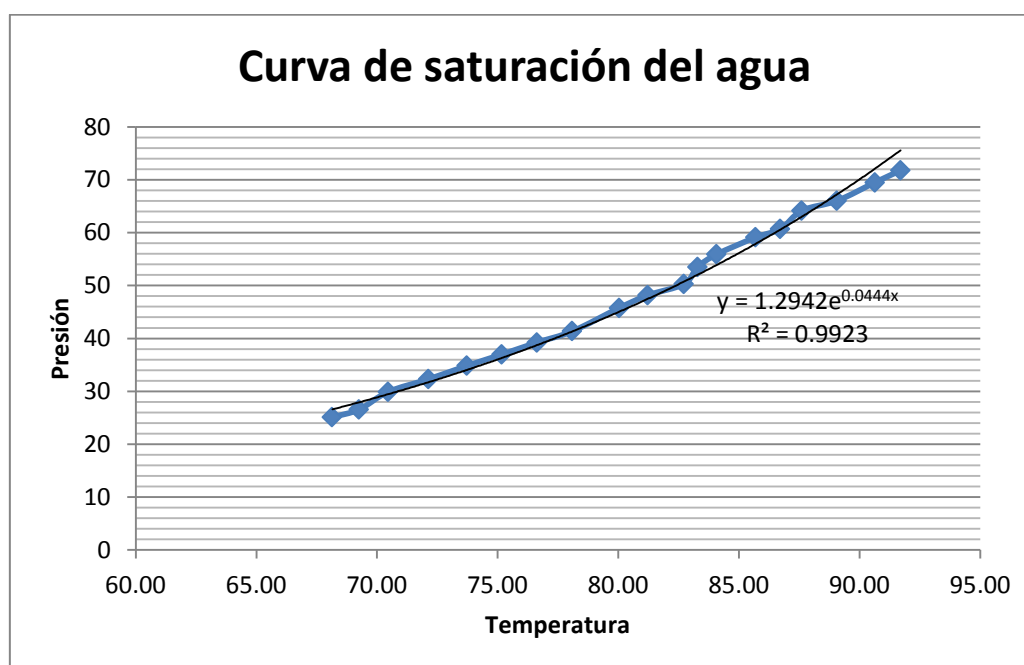


Réplica 15

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,15 | 8,80 | 43,80 |
| | 69,26 | 9,20 | 43,10 |
| | 70,46 | 10,10 | 41,50 |
| | 72,14 | 11,20 | 40,80 |
| | 73,73 | 12,00 | 39,70 |
| | 75,17 | 13,00 | 39,10 |
| | 76,63 | 14,10 | 38,50 |
| | 78,10 | 15,00 | 37,80 |
| | 80,04 | 16,30 | 35,80 |
| | 81,22 | 17,30 | 35,00 |
| | 82,73 | 18,10 | 34,20 |
| | 83,29 | 19,10 | 32,80 |
| | 84,08 | 20,00 | 31,90 |
| | 85,69 | 21,30 | 30,80 |
| | 86,72 | 22,00 | 30,30 |
| | 87,61 | 23,30 | 29,00 |
| | 89,07 | 23,80 | 28,10 |
| | 90,64 | 25,00 | 26,70 |
| | 91,70 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,631 | 71,631 | 35 | 350 | 538,31 | 188,31 | 68,15 | 25,1059393 |
| 37,031 | 70,931 | 33,9 | 339 | 538,31 | 199,31 | 69,26 | 26,5724856 |
| 37,931 | 69,331 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,46 | 29,9055453 |
| 39,031 | 68,631 | 29,6 | 296 | 538,31 | 242,31 | 72,14 | 32,3053483 |
| 39,831 | 67,531 | 27,7 | 277 | 538,31 | 261,31 | 73,73 | 34,8384737 |
| 40,831 | 66,931 | 26,1 | 261 | 538,31 | 277,31 | 75,17 | 36,971632 |
| 41,931 | 66,331 | 24,4 | 244 | 538,31 | 294,31 | 76,63 | 39,2381126 |
| 42,831 | 65,631 | 22,8 | 228 | 538,31 | 310,31 | 78,10 | 41,3712708 |
| 44,131 | 63,631 | 19,5 | 195 | 538,31 | 343,31 | 80,04 | 45,7709097 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 45,131 | 62,831 | 17,7 | 177 | 538,31 | 361,31 | 81,22 | 48,1707127 |
| 45,931 | 62,031 | 16,1 | 161 | 538,31 | 377,31 | 82,73 | 50,303871 |
| 46,931 | 60,631 | 13,7 | 137 | 538,31 | 401,31 | 83,29 | 53,5036083 |
| 47,831 | 59,731 | 11,9 | 119 | 538,31 | 419,31 | 84,08 | 55,9034114 |
| 49,131 | 58,631 | 9,5 | 95 | 538,31 | 443,31 | 85,69 | 59,1031487 |
| 49,831 | 58,131 | 8,3 | 83 | 538,31 | 455,31 | 86,72 | 60,7030174 |
| 51,131 | 56,831 | 5,7 | 57 | 538,31 | 481,31 | 87,61 | 64,1693995 |
| 51,631 | 55,931 | 4,3 | 43 | 538,31 | 495,31 | 89,07 | 66,035913 |
| 52,831 | 54,531 | 1,7 | 17 | 538,31 | 521,31 | 90,64 | 69,5022951 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,70 | 71,7687758 |

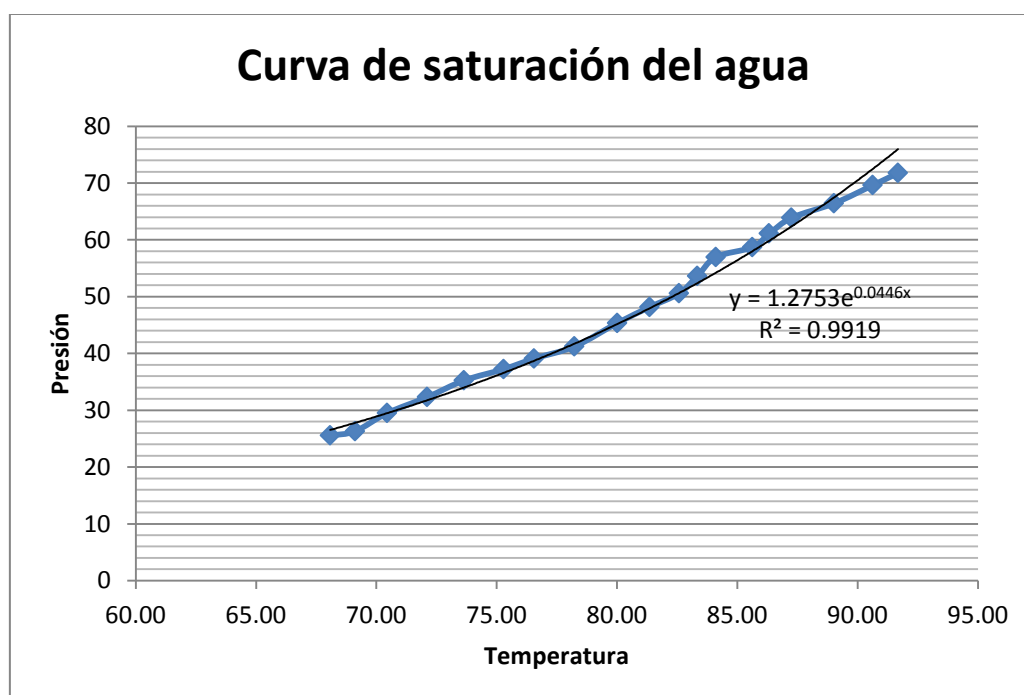


Réplica 16

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 21,90 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,08 | 8,60 | 43,28 |
| | 69,12 | 9,00 | 43,10 |
| | 70,45 | 10,30 | 42,00 |
| | 72,11 | 11,30 | 40,90 |
| | 73,64 | 12,30 | 39,70 |
| | 75,29 | 13,30 | 39,20 |
| | 76,56 | 14,00 | 38,50 |
| | 78,24 | 15,00 | 37,90 |
| | 80,02 | 16,00 | 35,80 |
| | 81,36 | 17,20 | 34,90 |
| | 82,58 | 18,10 | 34,00 |
| | 83,34 | 19,00 | 32,60 |
| | 84,11 | 20,30 | 31,40 |
| | 85,63 | 21,20 | 31,00 |
| | 86,33 | 22,10 | 30,10 |
| | 87,26 | 23,20 | 29,10 |
| | 89,03 | 24,00 | 28,00 |
| | 90,64 | 25,20 | 26,80 |
| | 91,68 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 21,90 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,111 | 34,68 | 346,8 | 538,31 | 191,51 | 68,08 | 25,5325709 |
| 36,831 | 70,931 | 34,1 | 341 | 538,31 | 197,31 | 69,12 | 26,3058408 |
| 38,131 | 69,831 | 31,7 | 317 | 538,31 | 221,31 | 70,45 | 29,5055781 |
| 39,131 | 68,731 | 29,6 | 296 | 538,31 | 242,31 | 72,11 | 32,3053483 |
| 40,131 | 67,531 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 73,64 | 35,2384409 |
| 41,131 | 67,031 | 25,9 | 259 | 538,31 | 279,31 | 75,29 | 37,2382768 |
| 41,831 | 66,331 | 24,5 | 245 | 538,31 | 293,31 | 76,56 | 39,1047902 |
| 42,831 | 65,731 | 22,9 | 229 | 538,31 | 309,31 | 78,24 | 41,2379485 |
| 43,831 | 63,631 | 19,8 | 198 | 538,31 | 340,31 | 80,02 | 45,3709425 |
| 45,031 | 62,731 | 17,7 | 177 | 538,31 | 361,31 | 81,36 | 48,1707127 |
| 45,931 | 61,831 | 15,9 | 159 | 538,31 | 379,31 | 82,58 | 50,5705158 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 46,831 | 60,431 | 13,6 | 136 | 538,31 | 402,31 | 83,34 | 53,6369307 |
| 48,131 | 59,231 | 11,1 | 111 | 538,31 | 427,31 | 84,11 | 56,9699905 |
| 49,031 | 58,831 | 9,8 | 98 | 538,31 | 440,31 | 85,63 | 58,7031815 |
| 49,931 | 57,931 | 8 | 80 | 538,31 | 458,31 | 86,33 | 61,1029846 |
| 51,031 | 56,931 | 5,9 | 59 | 538,31 | 479,31 | 87,26 | 63,9027548 |
| 51,831 | 55,831 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 89,03 | 66,4358802 |
| 53,031 | 54,631 | 1,6 | 16 | 538,31 | 522,31 | 90,64 | 69,6356175 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,68 | 71,7687758 |

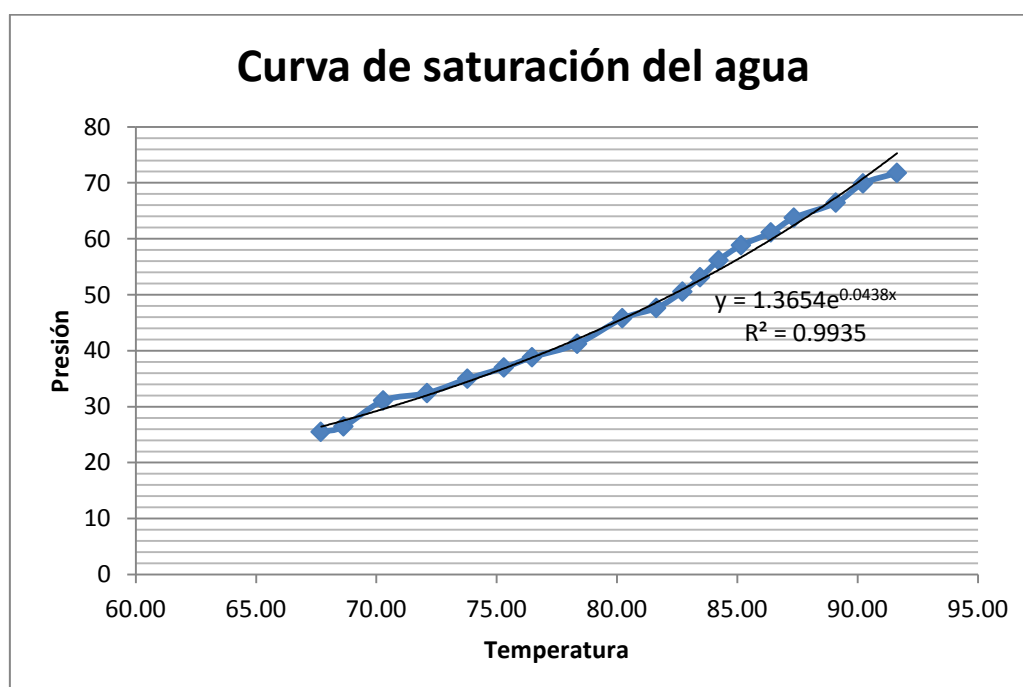


Réplica 17

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,70 | 8,60 | 43,30 |
| | 68,64 | 9,00 | 43,00 |
| | 70,30 | 11,20 | 41,70 |
| | 72,12 | 11,30 | 40,80 |
| | 73,79 | 12,20 | 39,80 |
| | 75,31 | 13,10 | 39,20 |
| | 76,48 | 14,00 | 38,70 |
| | 78,36 | 15,00 | 37,90 |
| | 80,23 | 16,40 | 35,90 |
| | 81,64 | 17,00 | 35,10 |
| | 82,73 | 18,10 | 34,00 |
| | 83,47 | 19,00 | 33,00 |
| | 84,23 | 20,20 | 31,90 |
| | 85,16 | 21,30 | 31,00 |
| | 86,40 | 22,00 | 30,00 |
| | 87,36 | 23,10 | 29,10 |
| | 89,10 | 24,00 | 28,00 |
| | 90,23 | 25,30 | 26,70 |
| | 91,64 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,131 | 34,7 | 347 | 538,31 | 191,31 | 67,70 | 25,5059064 |
| 36,831 | 70,831 | 34 | 340 | 538,31 | 198,31 | 68,64 | 26,4391632 |
| 39,031 | 69,531 | 30,5 | 305 | 538,31 | 233,31 | 70,30 | 31,1054468 |
| 39,131 | 68,631 | 29,5 | 295 | 538,31 | 243,31 | 72,12 | 32,4386707 |
| 40,031 | 67,631 | 27,6 | 276 | 538,31 | 262,31 | 73,79 | 34,9717961 |
| 40,931 | 67,031 | 26,1 | 261 | 538,31 | 277,31 | 75,31 | 36,971632 |
| 41,831 | 66,531 | 24,7 | 247 | 538,31 | 291,31 | 76,48 | 38,8381454 |
| 42,831 | 65,731 | 22,9 | 229 | 538,31 | 309,31 | 78,36 | 41,2379485 |
| 44,231 | 63,731 | 19,5 | 195 | 538,31 | 343,31 | 80,23 | 45,7709097 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,831 | 62,931 | 18,1 | 181 | 538,31 | 357,31 | 81,64 | 47,6374232 |
| 45,931 | 61,831 | 15,9 | 159 | 538,31 | 379,31 | 82,73 | 50,5705158 |
| 46,831 | 60,831 | 14 | 140 | 538,31 | 398,31 | 83,47 | 53,1036412 |
| 48,031 | 59,731 | 11,7 | 117 | 538,31 | 421,31 | 84,23 | 56,1700561 |
| 49,131 | 58,831 | 9,7 | 97 | 538,31 | 441,31 | 85,16 | 58,8365039 |
| 49,831 | 57,831 | 8 | 80 | 538,31 | 458,31 | 86,40 | 61,1029846 |
| 50,931 | 56,931 | 6 | 60 | 538,31 | 478,31 | 87,36 | 63,7694324 |
| 51,831 | 55,831 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 89,10 | 66,4358802 |
| 53,131 | 54,531 | 1,4 | 14 | 538,31 | 524,31 | 90,23 | 69,9022623 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,64 | 71,7687758 |

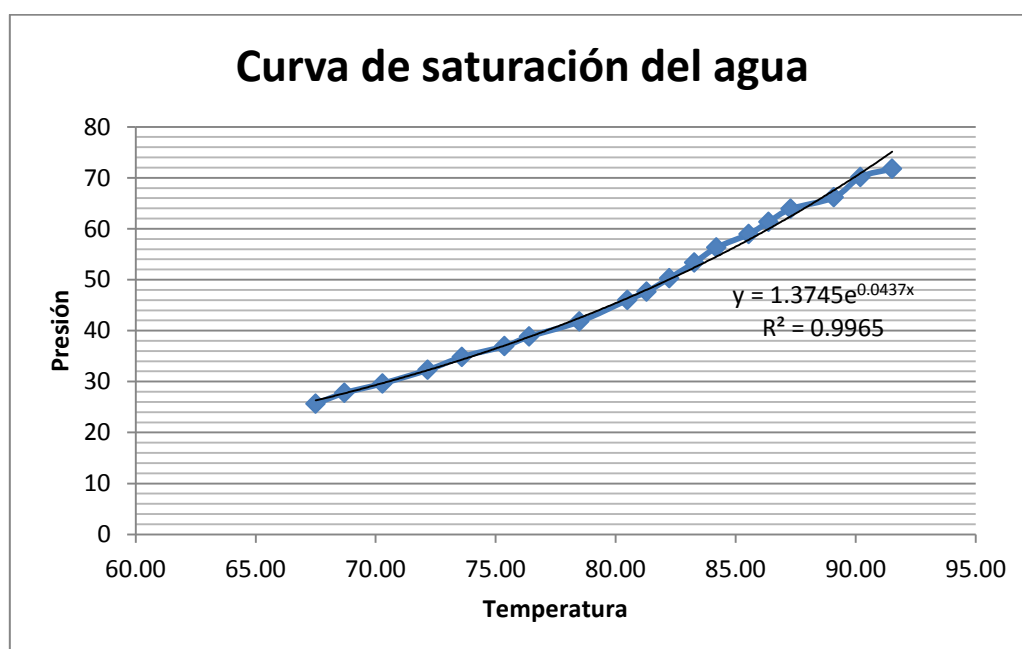


Réplica 18

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,05 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,50 | 8,70 | 43,28 |
| | 68,71 | 9,10 | 42,10 |
| | 70,29 | 10,30 | 41,90 |
| | 72,18 | 11,20 | 40,80 |
| | 73,60 | 12,00 | 39,70 |
| | 75,38 | 13,10 | 39,20 |
| | 76,40 | 14,00 | 38,70 |
| | 78,49 | 15,30 | 37,80 |
| | 80,50 | 16,40 | 35,70 |
| | 81,29 | 17,00 | 35,10 |
| | 82,24 | 18,20 | 34,30 |
| | 83,28 | 19,00 | 32,80 |
| | 84,20 | 20,30 | 31,90 |
| | 85,55 | 21,40 | 31,00 |
| | 86,38 | 22,30 | 30,10 |
| | 87,30 | 23,20 | 29,10 |
| | 89,10 | 24,00 | 28,20 |
| | 90,20 | 25,30 | 26,50 |
| | 91,52 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,05 | 18,4398198 |
| 36,531 | 71,111 | 34,58 | 345,8 | 538,31 | 192,51 | 67,50 | 25,6658933 |
| 36,931 | 69,931 | 33 | 330 | 538,31 | 208,31 | 68,71 | 27,7723871 |
| 38,131 | 69,731 | 31,6 | 316 | 538,31 | 222,31 | 70,29 | 29,6389005 |
| 39,031 | 68,631 | 29,6 | 296 | 538,31 | 242,31 | 72,18 | 32,3053483 |
| 39,831 | 67,531 | 27,7 | 277 | 538,31 | 261,31 | 73,60 | 34,8384737 |
| 40,931 | 67,031 | 26,1 | 261 | 538,31 | 277,31 | 75,38 | 36,971632 |
| 41,831 | 66,531 | 24,7 | 247 | 538,31 | 291,31 | 76,40 | 38,8381454 |
| 43,131 | 65,631 | 22,5 | 225 | 538,31 | 313,31 | 78,49 | 41,771238 |
| 44,231 | 63,531 | 19,3 | 193 | 538,31 | 345,31 | 80,50 | 46,0375545 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,831 | 62,931 | 18,1 | 181 | 538,31 | 357,31 | 81,29 | 47,6374232 |
| 46,031 | 62,131 | 16,1 | 161 | 538,31 | 377,31 | 82,24 | 50,303871 |
| 46,831 | 60,631 | 13,8 | 138 | 538,31 | 400,31 | 83,28 | 53,3702859 |
| 48,131 | 59,731 | 11,6 | 116 | 538,31 | 422,31 | 84,20 | 56,3033785 |
| 49,231 | 58,831 | 9,6 | 96 | 538,31 | 442,31 | 85,55 | 58,9698263 |
| 50,131 | 57,931 | 7,8 | 78 | 538,31 | 460,31 | 86,38 | 61,3696293 |
| 51,031 | 56,931 | 5,9 | 59 | 538,31 | 479,31 | 87,30 | 63,9027548 |
| 51,831 | 56,031 | 4,2 | 42 | 538,31 | 496,31 | 89,10 | 66,1692354 |
| 53,131 | 54,331 | 1,2 | 12 | 538,31 | 526,31 | 90,20 | 70,1689071 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,52 | 71,7687758 |

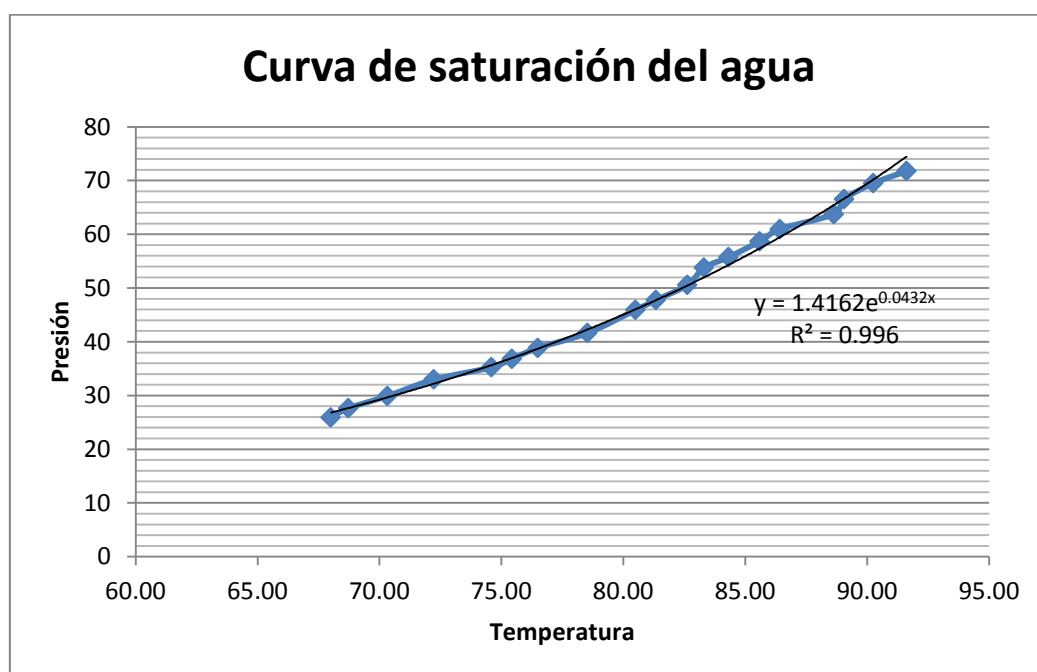


Réplica 19

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,00 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 68,01 | 8,80 | 43,20 |
| | 68,73 | 9,00 | 42,10 |
| | 70,33 | 10,30 | 41,70 |
| | 72,23 | 11,60 | 40,70 |
| | 74,60 | 12,00 | 39,40 |
| | 75,43 | 13,00 | 39,20 |
| | 76,50 | 14,00 | 38,70 |
| | 78,54 | 15,30 | 37,90 |
| | 80,50 | 16,40 | 35,80 |
| | 81,34 | 17,00 | 35,00 |
| | 82,63 | 18,10 | 34,00 |
| | 83,31 | 19,30 | 32,80 |
| | 84,32 | 20,00 | 32,00 |
| | 85,60 | 21,30 | 31,10 |
| | 86,43 | 22,20 | 30,30 |
| | 88,64 | 23,10 | 29,10 |
| | 89,06 | 24,00 | 27,90 |
| | 90,26 | 25,10 | 26,80 |
| | 91,62 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,00 | 18,4398198 |
| 36,631 | 71,031 | 34,4 | 344 | 538,31 | 194,31 | 68,01 | 25,9058736 |
| 36,831 | 69,931 | 33,1 | 331 | 538,31 | 207,31 | 68,73 | 27,6390647 |
| 38,131 | 69,531 | 31,4 | 314 | 538,31 | 224,31 | 70,33 | 29,9055453 |
| 39,431 | 68,531 | 29,1 | 291 | 538,31 | 247,31 | 72,23 | 32,9719603 |
| 39,831 | 67,231 | 27,4 | 274 | 538,31 | 264,31 | 74,60 | 35,2384409 |
| 40,831 | 67,031 | 26,2 | 262 | 538,31 | 276,31 | 75,43 | 36,8383096 |
| 41,831 | 66,531 | 24,7 | 247 | 538,31 | 291,31 | 76,50 | 38,8381454 |
| 43,131 | 65,731 | 22,6 | 226 | 538,31 | 312,31 | 78,54 | 41,6379156 |
| 44,231 | 63,631 | 19,4 | 194 | 538,31 | 344,31 | 80,50 | 45,9042321 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,831 | 62,831 | 18 | 180 | 538,31 | 358,31 | 81,34 | 47,7707456 |
| 45,931 | 61,831 | 15,9 | 159 | 538,31 | 379,31 | 82,63 | 50,5705158 |
| 47,131 | 60,631 | 13,5 | 135 | 538,31 | 403,31 | 83,31 | 53,7702531 |
| 47,831 | 59,831 | 12 | 120 | 538,31 | 418,31 | 84,32 | 55,770089 |
| 49,131 | 58,931 | 9,8 | 98 | 538,31 | 440,31 | 85,60 | 58,7031815 |
| 50,031 | 58,131 | 8,1 | 81 | 538,31 | 457,31 | 86,43 | 60,9696622 |
| 50,931 | 56,931 | 6 | 60 | 538,31 | 478,31 | 88,64 | 63,7694324 |
| 51,831 | 55,731 | 3,9 | 39 | 538,31 | 499,31 | 89,06 | 66,5692026 |
| 52,931 | 54,631 | 1,7 | 17 | 538,31 | 521,31 | 90,26 | 69,5022951 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,62 | 71,7687758 |



Réplica 20

| Datos obtenidos | | | |
|-----------------|--------|-----------|-----------|
| | T [°C] | h1 [cmHg] | h2 [cmHg] |
| Inicial | 22,20 | 6,00 | 46,00 |
| Ebullición | 67,61 | 8,60 | 43,40 |
| | 69,23 | 9,10 | 43,00 |
| | 70,33 | 10,20 | 41,90 |
| | 72,26 | 11,30 | 40,90 |
| | 73,60 | 12,20 | 39,80 |
| | 75,54 | 13,10 | 39,00 |
| | 76,44 | 14,10 | 38,90 |
| | 78,51 | 15,10 | 37,90 |
| | 80,56 | 16,30 | 35,80 |
| | 81,23 | 17,00 | 35,00 |
| | 82,66 | 18,00 | 34,00 |
| | 83,34 | 19,10 | 32,90 |
| | 84,19 | 20,10 | 31,90 |
| | 85,62 | 21,10 | 31,00 |
| | 86,43 | 22,00 | 30,00 |
| | 87,39 | 23,00 | 29,00 |
| | 89,10 | 24,00 | 28,00 |
| | 90,34 | 25,20 | 26,90 |
| | 91,40 | 26,00 | 26,00 |

| Datos Calculados | | | | | | | |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|--------|------------------|
| h1 [cmHg] | h2 [cmHg] | Δh [cmHg] | Δh [mmHg] | P atmosférica [mmHg] | P absoluta [mmHg] | T [°C] | P absoluta [kPa] |
| 33,831 | 73,831 | 40 | 400 | 538,31 | 138,31 | 22,20 | 18,4398198 |
| 36,431 | 71,231 | 34,8 | 348 | 538,31 | 190,31 | 67,61 | 25,372584 |
| 36,931 | 70,831 | 33,9 | 339 | 538,31 | 199,31 | 69,23 | 26,5724856 |
| 38,031 | 69,731 | 31,7 | 317 | 538,31 | 221,31 | 70,33 | 29,5055781 |
| 39,131 | 68,731 | 29,6 | 296 | 538,31 | 242,31 | 72,26 | 32,3053483 |
| 40,031 | 67,631 | 27,6 | 276 | 538,31 | 262,31 | 73,60 | 34,9717961 |
| 40,931 | 66,831 | 25,9 | 259 | 538,31 | 279,31 | 75,54 | 37,2382768 |
| 41,931 | 66,731 | 24,8 | 248 | 538,31 | 290,31 | 76,44 | 38,704823 |
| 42,931 | 65,731 | 22,8 | 228 | 538,31 | 310,31 | 78,51 | 41,3712708 |
| 44,131 | 63,631 | 19,5 | 195 | 538,31 | 343,31 | 80,56 | 45,7709097 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| 44,831 | 62,831 | 18 | 180 | 538,31 | 358,31 | 81,23 | 47,7707456 |
| 45,831 | 61,831 | 16 | 160 | 538,31 | 378,31 | 82,66 | 50,4371934 |
| 46,931 | 60,731 | 13,8 | 138 | 538,31 | 400,31 | 83,34 | 53,3702859 |
| 47,931 | 59,731 | 11,8 | 118 | 538,31 | 420,31 | 84,19 | 56,0367337 |
| 48,931 | 58,831 | 9,9 | 99 | 538,31 | 439,31 | 85,62 | 58,5698592 |
| 49,831 | 57,831 | 8 | 80 | 538,31 | 458,31 | 86,43 | 61,1029846 |
| 50,831 | 56,831 | 6 | 60 | 538,31 | 478,31 | 87,39 | 63,7694324 |
| 51,831 | 55,831 | 4 | 40 | 538,31 | 498,31 | 89,10 | 66,4358802 |
| 53,031 | 54,731 | 1,7 | 17 | 538,31 | 521,31 | 90,34 | 69,5022951 |
| 53,831 | 53,831 | 0 | 0 | 538,31 | 538,31 | 91,40 | 71,7687758 |

