



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EVALUAR LA GENERACIÓN DE AGUA DE
UN COMPRESOS DE 1/3 HP**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21541228 LORVIS LISANDRO TREJO GUERRERO

ASESOR: JOSÉ LUIS ORDÓÑEZ

CAMPUS: SAN PEDRO SULA; 2020

DEDICATORIA

A mis padres, Lorvis Trejo y Maritza Guerrero; por su apoyo moral, comprensión, confianza y por el gran esfuerzo y por ese gran amor que me han mostrado al ser inseparables en todas las etapas de mi periodo de estudio, sin ellos la finalización de mi carrera no hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Quiero agradecer primeramente a Dios por la vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad. A mis padres Lorvis Trejo y Maritza Guerrero quienes con su amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, por inculcar en mi el ejemplo de esfuerzo, de no temer porque Dios está conmigo siempre. Gracias a Andrea Sorto por siempre creer en mi capacidad, por su amor, por tanta ayuda y apoyo no solo para la tesis, sino que también en mi vida.

Mi asesor metodológico, el Ing. José Luis Ordoñez por su disposición y por contribuir en el desarrollo de esta investigación.

Gracias a la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) por permitirme desarrollar este proyecto de investigación en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

A todos ellos gracias porque fueron complementos esenciales para formar la persona que soy ahora.

"Cuando los tiempos se ponen difíciles, no nos damos por vencidos. Nos levantamos."

- Barack Obama

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente, se considera a la escasez de agua como una temática de mucha importancia a nivel mundial, debido a que la demanda de agua está creciendo rápidamente, lo que pone en peligro la disponibilidad de agua para la producción alimentaria y en muchas otras áreas donde es utilizada el agua, lo que genera un riesgo en la vida cotidiana de las personas. A partir de

este problema, en la presente investigación se buscar desarrollar un prototipo que ayuda a disminuir la escasez de agua. El prototipo propuesto es un sistema automatizado para obtener agua del ciclo de Carnot, utilizando microcontroladores para recopilar y controlar los datos de temperatura, presión y humedad relativa. Se utilizó la técnica de condensación por medio del ciclo de compresión en el sistema de refrigeración, sustentado la psicrometría. La metodología consistió en el desarrollo de un sistema de control que consistía en circuitos electrónicos y sistemas de procesamiento con microcontroladores para recolectar datos y usar un sistema de visión artificial para detectar el punto óptimo donde se produce el agua. Los resultados muestran la producción en el ciclo 1 de 79 ml y en el ciclo 2 de 69 ml y se recomienda mejorar la producción de agua para tener mayor humedad relativa y menor temperatura.

Palabras Clave: Generación de agua, ciclo de Carnot, microcontrolador, sistema de visión artificial

ABSTRACT

Currently, water scarcity is considered as a very important issue worldwide, since the demand for water is growing rapidly, which endangers the availability of water for food production and in many other areas where it is used water, which creates a risk in people's daily lives. Based on this problem, this research will seek to develop a prototype that helps reduce water scarcity. The proposed prototype is an automated system to obtain water from the Carnot cycle, using

microcontrollers to collect and control temperature, pressure and relative humidity data. The condensation technique was used by means of the compression cycle in the refrigeration system, supported by psychrometry. The methodology consisted in the development of a control system that consisted of electronic circuits and microcontroller processing systems to collect data and use an artificial vision system to detect the optimal point where water is produced. The results show the production in cycle 1 of 79 ml and in cycle 2 of 69 ml and it is recommended to improve the production of water to have higher relative humidity and lower temperature.

Keywords: Water generation, Carnot cycle, microcontroller, machine vision system

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA	2
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4

2.3 JUSTIFICACIÓN	4
2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
2.5 OBJETIVOS.....	5
2.5.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	6
3.1 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN	6
3.1.1 ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL	9
3.1.1.1 PRESOSTATOS	9
3.1.1.2 TERMOSTATO	10
3.1.1.3 VÁLVULA DE SOLENOIDE	11
3.1.2 ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	11
3.1.2.1 SEPARADOR DE ACEITE.....	12
3.1.2.2 RECIPIENTE DE LÍQUIDO	12
3.1.2.3 FILTROS DE HUMEDAD	13
3.1.2.4 VISOR	13
3.1.2.5 ACUMULADOR DE ASPIRACIÓN	14
3.1.3 COMPRESOR	14
3.1.3.1 COMPRESORES ALTERNATIVOS	15
3.1.3.2 COMPRESORES HERMÉTICOS	15
3.1.3.2 COMPRESORES SEMIHERMÉTICOS	16
3.1.3.3 COMPRESORES ABIERTOS	16
3.1.3.4 COMPRESORES HELICOIDALES	17
3.1.4 CONDENSADOR.....	17

3.1.4.1	CONDENSACIÓN POR AGUA	18
3.1.4.2	CONDENSACIÓN POR AIRE	19
3.1.4.3	CONDENSACIÓN MIXTA	21
3.1.5	EVAPORADOR	22
3.1.5.1	SEGÚN EL ESTADO DEL REFRIGERANTE	23
3.2	PSICROMETRÍA	24
3.2.1	DIAGRAMA PSICROMÉTRICO	25
3.2.1.1	DIAGRAMA DE MOLLIER.....	25
3.3	SISTEMA DE CONTROL.....	26
3.3.1	CARACTERÍSTICAS	27
3.3.1.1	CONTROL	27
3.3.1.2	SEÑAL DE ENTRADA	28
3.3.1.3	SEÑAL DE SALIDA	28
3.3.1.4	VARIABLE MANIPULADA	28
3.3.1.5	VARIABLE CONTROLADA	28
3.3.1.6	VARIACIONES EXTERNAS	28
3.3.1.7	RETROALIMENTACIÓN	29
3.3.2	LAZO ABIERTO	29
3.3.3	LAZO CERRADO	30
3.3.3.1	SENSORES	31
3.3.3.2	ACTUADORES.....	32
3.3.4	MICROCONTROLADOR PIC	32
3.3.5	LIFECAM	33
3.3.5.1	COMUNICACIÓN POR BLUETOOTH	34

3.3.6 SISTEMAS DE CONTROL EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	35
3.3.6.1 SISTEMAS DE CONTROL ELÉCTRICO	35
3.3.6.2 SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICOS	36
3.3.6.3 SISTEMAS DE CONTROL DIGITALES DIRECTOS	36
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	37
4.1 ENFOQUE	37
4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	37
4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	38
4.4 MATERIALES	39
4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO	39
4.5.1 ETAPA INICIAL: REQUERIMIENTOS	40
4.5.2 CICLO A DE LA METODOLOGÍA EN V	40
4.5.2.1 ETAPA I: NIVEL DE LOS SISTEMAS	40
4.5.2.2 ETAPA II: NIVEL DE LOS SUBTEMAS	41
4.5.2.3 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES	41
4.5.2.4 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES	42
4.5.2.5 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMA	42
4.5.2.6 ETAPA VI: INTEGRACIÓN DE SISTEMAS	43
4.5.3 CICLO B DE LA METODOLOGÍA EN V	43
4.5.3.1 ETAPA I: NIVEL DE LOS SISTEMAS	43
4.5.3.2 ETAPA II: NIVEL DE LOS SUBTEMAS	43
4.5.2.3 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES	43
4.5.2.4 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES	44
4.5.2.5 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMA	44

4.5.2.6 ETAPA VI: INTEGRACIÓN DE SISTEMAS	44
4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	44
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	46
5.1 ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO	46
5.2 CICLO A	46
5.2.1 ETAPA I: DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS	46
5.2.2 ETAPA II: DEFINICIÓN DE LOS SUBSISTEMAS	47
5.2.3 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES	47
5.2.4 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES	48
5.2.4.1 BME280	48
5.2.4.2 CIRCUITO ELECTRÓNICO	50
5.2.4.3 PROGRAMACIÓN	50
5.2.5 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS	51
5.2.5.1 SUBSISTEMA DE CONTROL	51
5.2.6 ETAPA VI: PROTOTIPO DE LABORATORIO	53
5.3 CICLO B	53
5.3.1 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES	53
5.3.2 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES	54
5.3.3 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS	59
5.3.4 PRODUCTO FUNCIONAL	60
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	63
6.1 CONCLUSIÓN GENERAL.....	63
6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	63
BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Ilustración 1-Nivel de estrés hídrico físico; **Error! Marcador no definido.**

Ilustración 2-Cobertura global y regional de agua potable en 2015	3
Ilustración 3-Willis Carrier	6
Ilustración 4-Elementos fundamentales de un sistema de refrigeración.....	7
Ilustración 5-Elementos de seguridad y control de un sistema de refrigeración	9
Ilustración 6-Elementos complementarios de un sistema de refrigeración	11
Ilustración 7-Condensador de doble tubo	18
Ilustración 8-Condensador multitubular horizontal.....	19
Ilustración 9-Condensador de tubo con aletas o de aire forzado.....	20
Ilustración 10-Condensador evaporativo.....	21
Ilustración 11-Evaporador inundado	23
Ilustración 12-Diagrama de Mollier del refrigerante R134a	26
Ilustración 13-Diagrama de bloque de un sistema de control.....	26
Ilustración 14-Diagrama de bloque de un sistema de lazo abierto.....	29
Ilustración 15-Diagrama de bloque de una sistema de control.....	30
Ilustración 16-Diagrama de las variables de investigacion	38
Ilustración 17-Arquitectura de Funcionamiento.....	41
Ilustración 18-Diseño del circuito electrónico.....	42
Ilustración 19-Corrección del circuito electrónico.....	44
Ilustración 20-Cronograma de actividades	45
Ilustración 21-Placa electrónica física.....	49
Ilustración 22-Lecturas del sensor	49
Ilustración 23-Circuto electrónico.....	50
Ilustración 24-Circuito final	52

Ilustración 25-Lecturas del sensor con el DS3231 integrado	52
Ilustración 26-Interfaz del software.....	53
Ilustración 27-Imágenes del evaporador	54
Ilustración 28-Valores RGB	55
Ilustración 29-Comportamiento de la temperatura.....	56
Ilustración 30-Comportamiento de la presión.....	57
Ilustración 31-Comportamiento de la humedad relativa.....	57
Ilustración 32-Comportamiento del punto de rocío.....	58
Ilustración 33-Comportamiento del volumen	59
Ilustración 34-Cantidad de agua por ciclo	59
Ilustración 35-Producción de agua.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Clasificación según la potencia de transmisión	35
Tabla 2-Componentes del Sistema de Refrigeracion	39
Tabla 3-Componentes del sistema de control	47

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una gran cantidad de personas a nivel mundial no tienen acceso a agua limpia y asequible para satisfacer sus necesidades diarias. Debido al crecimiento acelerado de la población, se estima que la demanda de dicha sustancia aumente casi un tercio en los próximos 30 años. Sin embargo, el uso del agua no solo se rige por el crecimiento de la población. No existe en el mundo escasez de agua como tal, en su lugar hay un número de regiones en el mundo que sufren escasez de agua, esto debido a que el uso de este recurso ha crecido más del doble en relación con la tasa de incremento poblacional en el último siglo. Por lo tanto, en la presente investigación se busca desarrollar un sistema automatizado para obtener agua del ciclo de Carnot, utilizando microcontroladores para recopilar y controlar los datos de temperatura, presión, humedad relativa y valores RGB del evaporador al momento en que este genera el hielo.

El presente informe fue seccionado en un total de 6 capítulos. Inicialmente, se presenta una breve introducción sobre el proyecto y el documento en general. Seguidamente, se plantea el problema de investigación, el cual hace hincapié en la escasez de agua que afecta actualmente en mucha población tanto de nuestro país como a nivel mundial. En base a esto, se establece el alcance del proyecto, así como los objetivos a alcanzar. La investigación se encuentra basada diversos conceptos tanto técnicos como teóricos, que permiten realizar experimentos del prototipo desarrollo, presentado en el capítulo 3. Todo esto se alcanzará con una metodología de estudio que permite el desarrollo de la investigación, detallada en el capítulo 4. Comprobando la producción de agua obtenida del sistema de control integrado y demás resultados demostrados en el capítulo 5. Todo para finalizar presentando conclusiones y recomendaciones en el capítulo 6 y 7, respectivamente, que responden a los objetivos que fueron planteados y permiten a futuros autores investigar sobre la temática tratada en este documento.

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el planteamiento del problema, se detalla el problema a investigar, dando a conocer todos los factores arraigados a la problemática, precedentes relaciones, incluyendo, los objetivos, justificación y alcance del proyecto de investigación.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Resulta complicado definir la escasez de agua a nivel mundial como un problema de suministro o como un problema de demanda, en otras palabras, si esta físicamente escasa o si está disponible, pero se debe usar de una mejor manera. En la actualidad, una gran cantidad de personas a nivel mundial no tienen acceso a agua limpia y asequible para satisfacer sus necesidades diarias. Debido al crecimiento acelerado de la población, se estima que la demanda de dicha sustancia aumente casi un tercio en los próximos 30 años. Sin embargo, el uso del agua no solo se rige por el crecimiento de la población. En el siglo XX, la población mundial se triplicó, pero el uso del agua aumentó seis veces. (Cosgrove & Rusberman, 2020)

En la ilustración 1, se muestra el estrés hídrico físico mundialmente en el 2018. Este estrés hídrico se define como la proporción del total de agua dulce extraída anualmente por todos los sectores, respecto a la cantidad total de recursos renovables de agua dulce, expresada como porcentaje. Cabe destacar que siendo los datos promediados. No es visible los periodos en los que estos países carecen de agua, ya que la disponibilidad de esta varía según la época del año. Se dice que aproximadamente 4 mil millones de personas, las cuales representan alrededor de dos tercios de la población mundial, se encuentran con una gran escasez de agua durante por lo menos durante un mes del año. (Mekonnen & Hoekstra, 2016)

Otro dato importante que no se logra apreciar en la ilustración 1, es la escasez económica del agua. Esta se refiere a la falta de infraestructura para recolectar, acarrear y potabilizar el agua; no por carecer de los recursos. "Es probable que los niveles de estrés hídrico físico aumenten a medida que crezcan las poblaciones y su demanda de agua, y se intensifiquen los efectos del cambio climático." (UNESCO, 2019)

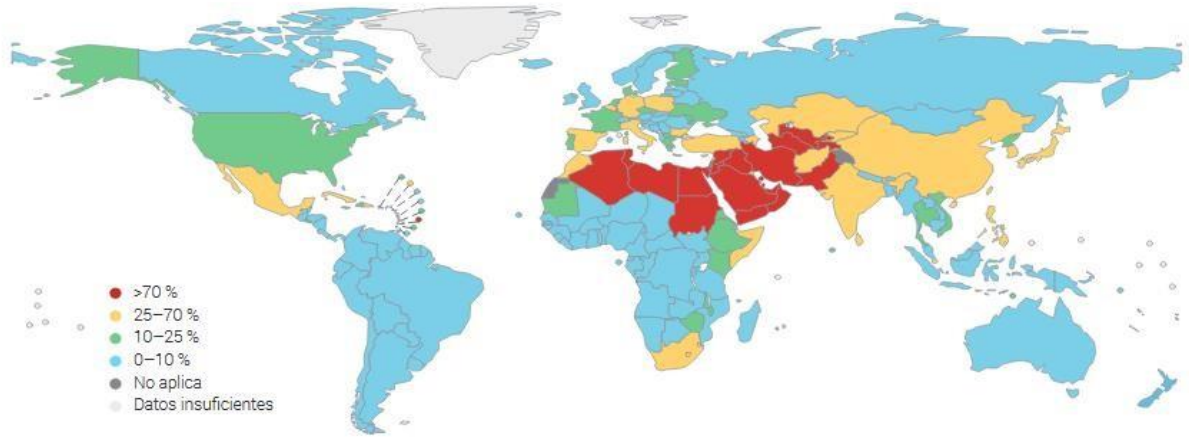


Ilustración 1-Nivel de estrés hídrico físico

Fuente: (UNESCO, 2019, p. 16)

En la ilustración 2, se muestra la cobertura de agua potable a nivel mundial en el 2015. Al analizar la ilustración 2, se puede observar que los países del primer mundo cubren con las necesidades de agua potable de casi toda la población. Un 71% de la población mundial utilizan los servicios de agua potable de manera segura y un 17% utiliza un servicio básico de agua. El 19% restante recibe una cantidad limitada de agua o no recibe nada de agua, esto equivale a 1.463 millones de personas.

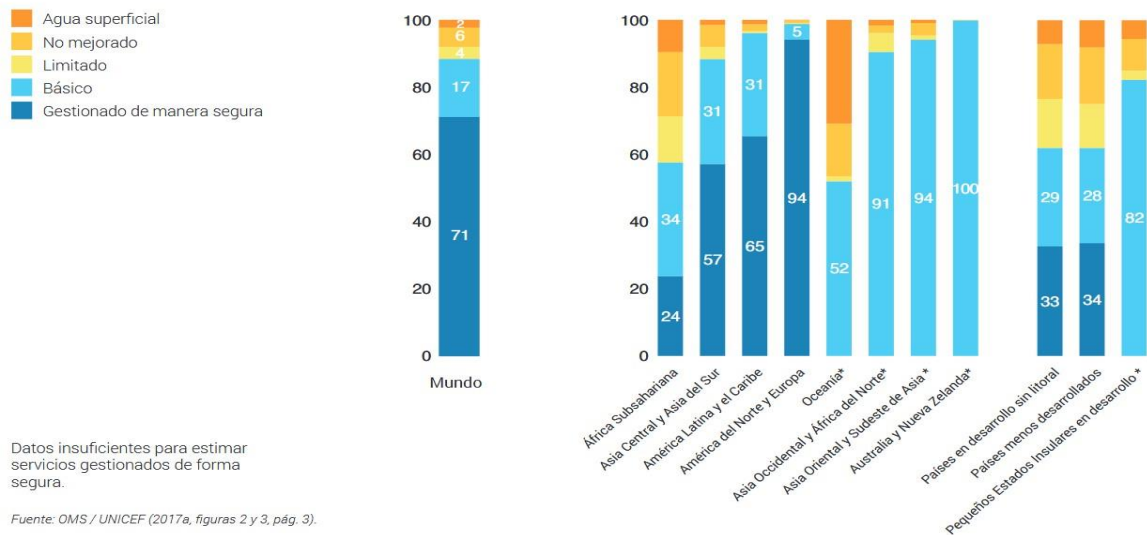


Ilustración 2-Cobertura global y regional de agua potable en 2015

Fuente: (UNESCO, 2019, p. 21)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, el aumento de la población mundial, la mejora de los niveles de vida y los patrones de consumo cambiantes son los principales motores de la creciente demanda de agua y esta misma está físicamente escasa a nivel mundial. La escasez de agua es causada por la acción del ser humano como también un fenómeno natural. En la actualidad, menciona la Mekonnen & Hoekstra (2016) en unos de sus datos sobre el agua limpia y saneamiento lo siguiente: "La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y este porcentaje podría aumentar."

2.3 JUSTIFICACIÓN

El agua es considerada uno de los elementos naturales más indispensables para la vida. Pero con el crecimiento de la población va creciendo, representa grandes preocupaciones para los gobiernos de todo el mundo. Ya que esto trae riesgos no solo para el medio ambiente sino amenaza fuertemente a la salud. La demanda de agua se ve incrementada rápidamente a medida que pasan los años, con esto, la sociedad se ve amenazada por una escasez de agua en años futuros, cuyas consecuencias serán dramáticos problemas de salud, producción agrícola entre muchos otros.

Los autores Rosegrant et al. (2002) han realizado proyecciones sobre el consumo de agua tanto en los hogares, como en la industria y en la agricultura, y concluyeron que el consumo de agua para el año 2025 incrementará en un 62 % con respecto al consumo de agua obtenido en el año 1995, además, determinaron que la cantidad de agua consumido en el hogar incrementará en un 71 % en consecuencia al crecimiento sustancial de la población mundial, principalmente en los países en vía de desarrollo.

Por lo tanto, haciendo uso de los principios de refrigeración podemos encontrar alternativas que nos lleven a un manejo de manera óptima y puedan ayudar de forma eficiente en cubrir de alguna manera el incremento próximo de la demanda de agua, siendo esto lo que se busca en el presente proyecto de investigación.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Qué características tendrá el circuito electrónico para obtener una buena simulación?

- 2) ¿Cuáles son las características de cada componente a utilizar para el circuito electrónico?
- 3) ¿Cuál será el comportamiento de RGB del evaporador en funcionamiento?
- 4) ¿Cuánta agua será generada con el sistema de control incorporado?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Integrar un sistema de control al dispositivo generador de agua mediante un microcontrolador capaz de recolectar información y dar seguimiento a la temperatura y la humedad relativa.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar la funcionalidad del circuito diseñado.
- 2) Identificar los componentes necesarios en el sistema de control
- 3) Analizar el comportamiento RGB del evaporador en funcionamiento
- 4) Definir la cantidad de agua generada con el sistema de control

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

La presente investigación se basa en una serie de conceptos teóricos de gran vitalidad para poder comprender la manera en la cual se plantea realizar el enfoque y diseño del sistema a desarrollar. Para ello es necesario el entendimiento de los temas relacionados a la problemática de investigación, de tal manera es requerido conocer conceptos relaciones a los sistemas de refrigeración, sus parámetros, así como compresores y diferentes sistemas de control que permitieron el desarrollo de la presente investigación. La explicación completa de estos temas permitirá tener una mayor comprensión de la metodología a utilizar y la interpretación de resultados los cuales serán dados a conocer en las siguientes secciones.

3.1 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN



Ilustración 3-Willis Carrier

Fuente: (Fenton, 2016)

Willis Carrier, considerado el padre del aire acondicionado, siendo el quien logró esta creación. Esto sucedió a causa de que Carrier, para el año 1902, estaba intentando observar a través de una bruma, sin embargo, ahí, es el momento en que se dio cuenta de que se podría secar el aire haciéndolo pasar por el agua para crear niebla (Fenton, 2016). Y fue esta idea que le surgió a Willis Carrier la que dio el primer impulso para realizar el primer diseño del primer sistema de aire acondicionado moderno, haciendo uso de un sistema de refrigeración, generando así, el inicio de la industria donde se utilizan estos tipos de sistemas. Además, se dice que para el año 1911, Willis Carrier logró desarrollar una fórmula psicrométrica racional, en donde esta fórmula psicrométrica permite el estudio sobre el comportamiento de diversos parámetros dentro de estos sistemas de refrigeración.

La refrigeración es la acción de eliminar el calor de un espacio o material cerrado con el fin de reducir su temperatura (es importante tener en cuenta que no se agrega frío al material). En consecuencia, un sistema de refrigeración debe proporcionar un medio por el cual se pueda alejar el calor. Los sistemas de refrigeración hacen esto al proporcionar una superficie fría cerca del material a enfriar. Esta superficie, más fría que el material, hace que el calor se transfiera de ese material a través de la superficie fría. Esto se debe a que el calor solamente atraviesa de un cuerpo más cálido hacia otro cuerpo que posee una temperatura mucho menor, la temperatura de la superficie de baja temperatura debe ser menor que la del material refrigerado. (Bendapudi & Braun, 2005)

Los sistemas de refrigeración por compresión son los sistemas de refrigeración más utilizados dentro de la industria de la refrigeración y también de los dispositivos cotidianos, los cuales consisten principalmente, por cuatro diferentes elementos por donde fluye el líquido refrigerante (Ahamed et al., 2011), los cuales son los siguientes, en la ilustración 4, se representan estos cuatro elementos así como el flujo del refrigerante dentro del sistema.

- 1) Compresor
- 2) Condensador
- 3) Dispositivo de Expansión
- 4) Evaporador

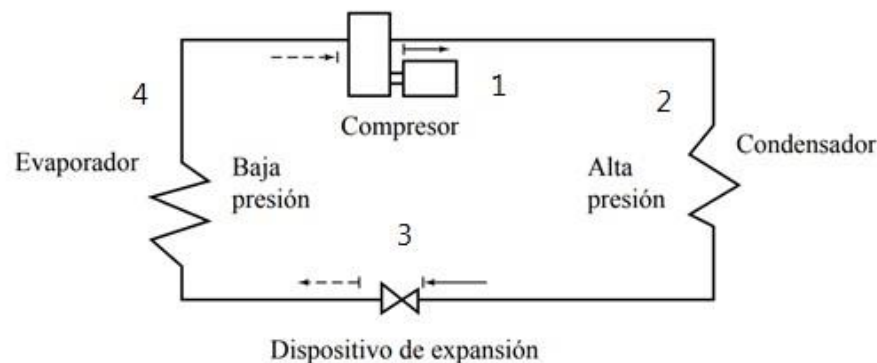


Ilustración 4-Elementos fundamentales de un sistema de refrigeración

Fuente: (Ahamed et al., 2011)

Como se presenta en la ilustración 3, el compresor, siendo uno de los elementos principales, una de sus funciones principales consiste en aspirar el fluido refrigerante a la presión de baja determinada para posteriormente comprimir este fluido, de tal manera eleva su presión y temperatura hasta un determinado valor en el cual se pueda realizar la condensación, para luego realizar la descarga, efectuada por el condensador. El condensador es considerado como el elemento del sistema, donde su función principal es la de pasar el estado de vapor del fluido a estado líquido, por lo tanto, el refrigerante, entra en al condensador en estado de vapor recalentado, y sale del condensador en estado líquido a la temperatura que fue condensada o, en ocasiones, sale a una menor temperatura en caso de que se produzca subenfriamiento, básicamente, el fluido refrigerante transfiere su calor al elemento condensante ya sea agua o aire, dependiendo del sistema diseñado. (Rasmussen, 2004).

Seguidamente, el fluido refrigerante a fluye por el dispositivo de expansión, el cual, realiza una acción sobre el fluido, que ingresa en estado líquida, donde este tenga una caída de presión y también de temperatura hasta que sea la requerida en el evaporador, de igual manera, ejerce un control sobre la cantidad de fluido refrigerante que debe de ingresar en el evaporador (Rasmussen, 2004). Siendo este el elemento, el principal responsable de producir una disminución sobre la temperatura y también la presión del fluido refrigerante, además, aquí también refrigerante cambia a estado de vapor, en donde se extrae el calor del exterior del evaporador a causa de la diferencia de temperatura, entre la del fluido a baja presión y temperatura y la que rodea al evaporador.

Prácticamente, el fluido refrigerante se encuentra en constante cambio a causa de acción de los diferentes elementos principales a lo largo de todo el circuito de refrigeración, iniciando con el compresor, el líquido ingresa en estado de gas, a baja presión y temperatura, luego sale el fluido recalentado, luego en del condensador, sale en estado líquido, en el dispositivo de expansión sale en forma de mezcla de líquido y gas para entrada en el evaporador de donde sale en estado de gas para ingresar al compresor y reiniciar el ciclo. Al incrementar la presión de un refrigerante se eleva su punto de ebullición, y al disminuir la presión, de igual manera, disminuye su punto de ebullición (Rasmussen, 2004).

3.1.1 ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL

Con la finalidad de aumentar la seguridad y tener un mayor control sobre todo el sistema de refrigeración se utilizan elementos que proporcionen esas características al sistema, en la ilustración 5, se presentan algunos de estos elementos más comunes, como, por ejemplo, para el control de temperatura y presión del evaporador y compresor, respectivamente.

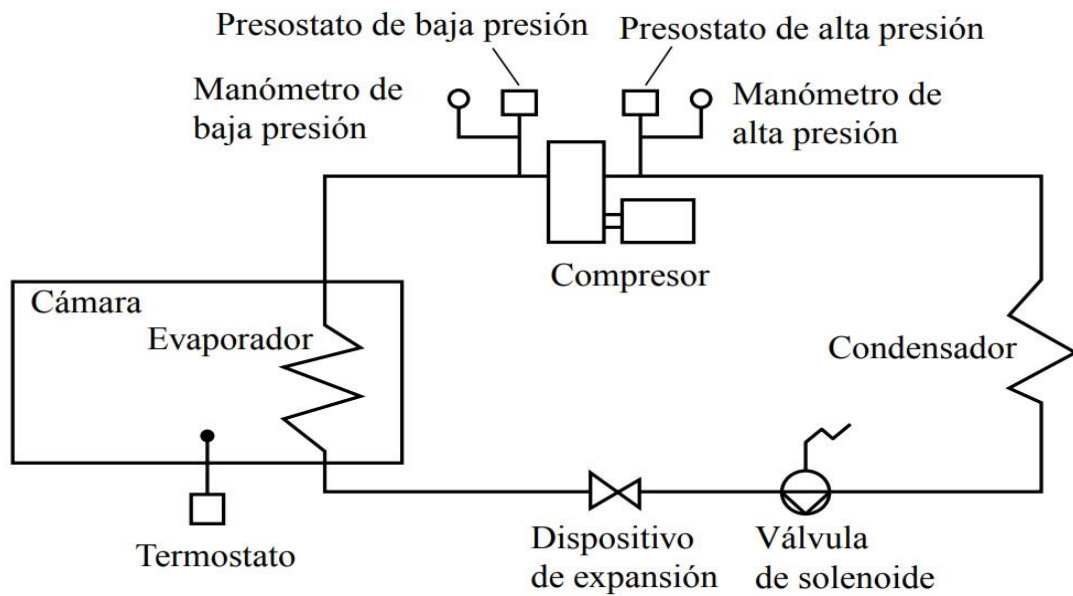


Ilustración 5-Elementos de seguridad y control de un sistema de refrigeración

Fuente: (Catano et al., 2013)

3.1.1.1 Presostatos

Wirz (2010) menciona que "Los presostatos son elementos que permiten tener un mejor control sobre el sistema de refrigeración y la función principal del presostato consiste en abrir o cerrar el circuito de refrigeración." Esto lo logra a través de uno o inclusive varios contactos normalmente ya sean abiertos o cerrados, basando su activación por la lectura de la presión actual dentro del compresor, como se presenta en la ilustración 4, se muestran inclusive 2 presostatos, uno para baja presión y otro para alta presión, además, considera que se pueden encontrar dos tipos de diferentes de presostatos, los cuales son:

1) Presostatos de Alta Presión

Los presostatos de alta presión son interconectados a la parte de salida o descarga del compresor, donde su principal trabajo es el de impedir que dentro de la zona de alta presión, sobrepasen los valores que afecten al rendimiento de la instalación o inclusive, a la propia seguridad de las personas alrededor del circuito, se determina una presión a la cual debe ser regulada, y en caso de que el circuito alcance ese valor de presión, el presostato actúa inmediatamente, parando por completo el compresor.

2) Presostatos de Baja Presión

Por otro lado, los presostatos de baja presión se interconectados en la entrada del compresor, donde su principal trabajo es evitar que la presión en esta zona disminuya por debajo de la presión atmosférica, de igual manera, busca evitar la disminución de la presión por debajo de la normal de funcionamiento, debido a que, si esto ocurre, tendría efectos negativos sobre el rendimiento del sistema. De hecho, su regulación siempre debe de encontrarse sobre la presión atmosférica para no tener repercusiones sobre el sistema de refrigeración.

Generalmente, el presostato de baja y alta presión suelen colocarse por separado, uno para la entrada y salida del compresor, respectivamente, sin embargo, los presostatos de alta y baja presión se pueden unir de tal manera, que se obtiene un presostato combinado, donde se posee una escala de alta y baja presión y también se agrega una tercera escala, conocido como diferencial de presiones, que es, básicamente, la diferencia existente entre la presión de arranque y la de paro.

3.1.1.2 Termostato

Generalmente, dentro del sistema de refrigeración, se encuentra una cámara, la cual es la que se desea mantener a cierta temperatura. Para ejercer control sobre esta temperatura, se utiliza el dispositivo de control, conocido como termostato. La función de este elemento de control consiste en la apertura o cierre de un contacto que se encuentra conectado a un circuito eléctrico al momento en donde se alcance la temperatura de regulación. El termostato más común es el que se le conoce como depósito de gas, el cual está basado en variaciones de presión en relación a la temperatura que rodea al depósito que lo contiene.(Sarkar, 2012)

3.1.1.3 Válvula de Solenoide

La válvula de solenoide o electroválvula, aun cuando no es considerado como un dispositivo ya sea de regulación o de control, es un elemento de seguridad importante dentro del sistema de refrigeración, este dispositivo es colocado antes del dispositivo de expansión, como se muestra en la ilustración 4, contiene una bobina, dentro de la cual se desliza el vástago de la válvula, cuando pasa un flujo de corriente a través del hilo conductor, se genera un electroimán. Por lo tanto, su función consiste en un

accionamiento discreto, ya que no realiza ningún tipo de regulación proporcional. "Cuando está activada por el campo magnético, levanta el vástago de la válvula y deja pasar el fluido. Cuando se desactiva, cesa la imanación (no hay campo magnético), el vástago de la válvula cae y corta el paso del fluido refrigerante." (Franco Lijó, 2012)

La válvula de solenoide se encuentra conectada en serie con el termostato, por lo tanto, el termostato permite el flujo de corriente eléctrica a la bobina de la electroválvula, con lo cual, permite el accionamiento de este dispositivo, para abrir o cerrar, de acuerdo a las necesidades térmicas del sistema.

3.1.2 ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

Dentro de un sistema de refrigeración, a parte de los elementos principales y los elementos de seguridad y control, se pueden utilizar elementos complementarios dentro del sistema que le proporcionan un mejor rendimiento sobre el trabajo realizado por todo el circuito de refrigeración, en la ilustración 6, se muestra algunos de estos elementos complementarios, que fueron añadidos dentro del circuito de refrigeración en conjunto con diversos elementos de control.

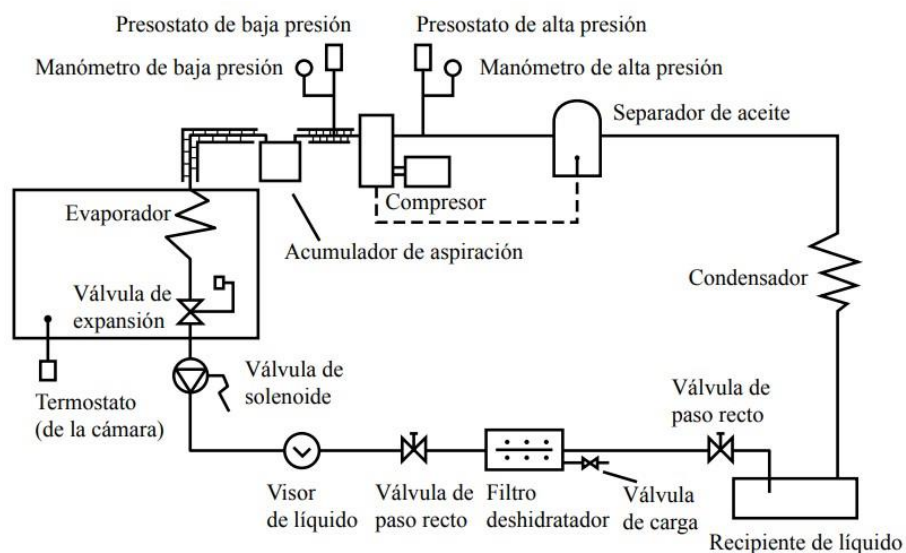


Ilustración 6-Elementos complementarios de un sistema de refrigeración

Fuente: (Dahmani et al., 2011)

3.1.2.1 Separador de Aceite

El separador de aceite es un dispositivo complementario que es instalado en la tubería de descarga, justo después del compresor, con este dispositivo, el fluido refrigerante, sale del compresor junto con el aceite de lubricación, para luego retornar al cárter principal, porque el nivel de aceite va a disminuir y al momento que llegue al circuito de baja presión, el aceite podría presentar algún inconveniente de retorno, generando algún tipo de problema en el evaporador (Barbosa Jr. et al., 2011). El aceite trabaja de la siguiente manera, este se desencadena en el fondo del separador, hasta llegar al punto donde el regulador siente la presencia del aceite, y luego, permite el flujo de retorno hacia el cárter. Este dispositivo es muy útil, ya que mantiene una pequeña cantidad de aceite circulando a lo largo de todo el circuito de refrigeración, permiten mantener engrasados elementos como las válvulas y electroválvulas.

3.1.2.2 Recipiente de Líquido

Dentro del circuito de refrigeración, se puede utilizar un acumulador o recipiente de líquido, ubicado ya sea de manera horizontal o vertical, justo a la salida del condensador. Al utilizar el recipiente de líquido, el líquido que sale del condensador y este no fluye directamente hacia el evaporador, en cambio, se mantiene una parte del líquido con la finalidad de restituirlo de acuerdo con la demanda del sistema de refrigeración. Debido a que este es un elemento en donde se ejerce una alta presión (Lawrence & Elbel, 2014), se debe integrar dispositivos de seguridad con la finalidad de que no alcance presiones altas que lleguen a ser peligrosas tanto para el sistema de refrigeración como a los alrededores, generalmente, estos dispositivos de seguridad suelen ser válvulas de seguridad o tapones fusibles, además, suele añadirse un visor o nivel de líquido para determinar la cantidad de líquido existente dentro del recipiente, inclusive, permite recoger el fluido refrigerante de la instalación en caso de que ocurra algún tipo de problema en caso de que se busque desmontar algún elementos del sistema de refrigeración.

3.1.2.3 Filtros de Humedad

Dentro de las instalaciones frigoríficas, se pueden llegar a presentar dos inconvenientes, los cuales son el golpe de líquido y la entrada de aire dentro del sistema, este es un

problema ya que , el aire cuenta con cierta humedad, lo cual al entrar en el circuito lo hace junto con su humedad (Selvaraju & Mani, 2006). La humedad puede ingresar al circuito de diversas maneras, como, por ejemplo, luego de una reparación, al ingresar aceite, durante la operación de carga del fluido refrigerante, el compresor llega a absorber aire del ambiente, y al haber pérdidas del fluido en alta presión.

La humedad puede ser la causa de diferentes problemas en el sistema de refrigeración, por ejemplo, puede llegar a bloquear los dispositivos de expansión, debido a que las gotas del aire húmedo se pueden congelar a causa de los niveles de la temperatura dentro del circuito, además, se pueden oxidar los elementos dentro del sistema, incluyendo problemas en los compresores que son herméticos o inclusive en los semiherméticos. Por lo tanto, para evitar estos problemas a causa de la humedad, se debe instalar un filtro de humedad, o deshidratadores, con su principal función, de eliminar la humedad dentro del circuito de refrigeración.

3.1.2.4 Visor

El visor es un elemento complementario del sistema frigorífico, el cual función como una especie de ventana, que permite observar lo ocurrido dentro del circuito. A través de este visor, solamente se debería observar el fluido en este líquido 100 % saturado, en caso de ver burbujas, esto indica que dentro del circuito falta fluido refrigerante. O puede ser debido a un estrangulamiento origina una expansión antes de llegar al visor. Además, con el visor, se puede determinar si existe humedad en el circuito, a causa de que contiene una sal química que reacción con la humedad, y esta cambia de color, permitiendo definir la existencia de humedad, por lo tanto, el visor puede ser un elemento muy importante para determinar la situación actual del circuito de refrigeración. (Selvaraju & Mani, 2006)

3.1.2.5 Acumulador de Aspiración

El acumulador de aspiración es otro elemento complementario del sistema de refrigeración, este debe ser ubicado entre el compresor y el evaporador, tal como se muestra en la ilustración 5, su función principal consta en evitar que llegue el fluido en estado líquido al compresor, esto lo puede realizar debido a que es un recipiente metálico, que, por lo general, lleva un tubo de entrada que va conectada al evaporador

y salida que va conectado al compresor. A diferencia del separador de líquido, este elemento complementario, se encuentra completamente aislado, debido a que contiene el fluido expandido a baja presión y temperatura. (Selvaraju & Mani, 2006)

3.1.3 COMPRESOR

Daikin (2004) considera al compresor como el corazón de la instalación, ya que su función consiste en aspirar el refrigerante a baja presión y temperatura, para seguidamente, comprimirlo y descargarlo a una presión y temperatura hasta que se pueda condensar. Los tipos de compresores más utilizados en los sistemas de refrigeración son los siguientes:

- 1) Alternativos
- 2) De tornillo o helicoidales
- 3) Rotativos
- 4) Centrífugos

Los compresores alternativos, de tornillo y rotativos, son de desplazamiento positivo, esto se refiere a que en estos compresores el fluido refrigerante es sometido a una compresión mecánica por medio de un elemento del compresor que ejecuta la reducción volumétrica del fluido.

En cambio, a los compresores centrífugos se consideran de desplazamiento cinético, el desplazamiento de cinético es básicamente, que la compresión ejercida por el compresor es efectuada por medio de la fuerza centrífuga, la cual actúa sobre el refrigerante por rotación del rodete que se encuentra girando a altas velocidades.

3.1.3.1 Compresores Alternativos

Los compresores alternativos son compresores que utilizan la reducción volumétrica del fluido refrigerante, además, estos compresores pueden ser ya sea de simple o doble efecto, dependiendo de la compresión a realizar del fluido en un solo lado o ambos del pistón (Sumeru et al., 2012). El funcionamiento de estos compresores se basa en el uso de un pistón, con una carrera tanto descendente como ascendente. Durante la carrera descendente, se crea en el interior del cilindro una depresión, lo que hace que la presión sea inferior, permitiendo el ingreso del fluido refrigerante en el cilindro. Aquí, el fluido

igual a las dos presiones, tanto en el interior como exterior. Luego en la carrera ascendente, la válvula de aspiración cierra, inicia la disminución de volumen, y de igual manera, aumenta la presión y temperatura, por esta razón a estos tipos de compresores se les conoce como compresores por reducción volumétrica del fluido.

Uno de los aspectos de mayor relevancia en el compresor, es la lubricación, la entrega, el tipo de lubricación utilizada en estos tipos de compresores es forzada, a través de una bomba que acciona el propio compresor, permitiendo llegar aceite a todos los elementos del compresor como ser el cigüeñal, cojinetes, prensas, etc.

3.1.3.2 Compresores Herméticos

Generalmente, este tipo de compresores son utilizados en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. En los compresores herméticos, tanto el motor eléctrico como el compresor se encuentran juntos, acoplados mecánicamente, dentro de una misma envolvente de acero, formando una sola unidad. Debido a que estos compresores son herméticos, no se puede acceder a ellos para realizar algún tipo de mantenimiento, pueden ser de tipo rotativo o de tornillo. (Sumeru et al., 2012) El motor junto con el compresor, se encuentran montados sobre una carcasa a través de tres resortes que permiten amortiguar las cargas internas. En estos compresores, el refrigerante llena todo el espacio mediante una entrada en el interior de la carcasa, por lo que está en contacto tanto con el motor eléctrico y el compresor. La aspiración de este refrigerante se realiza por medio de las cámaras silenciadoras, lo que permite que este tipo de compresor sea uno de los más silenciosos al momento de su operación.

3.1.3.2 Compresores Semiherméticos

Los compresores semiherméticos poseen un funcionamiento similar, incluyendo ventajas y desventajas, que los compresores herméticos, sin embargo, cuenta con la diferencia de la accesibilidad, ya que se pueden desmontar en caso de ser necesario algún tipo de mantenimiento a realizar, además, la entrada del fluido refrigerante, se realiza por la culata del compresor o también por la parte del motor eléctrico (Brown, 1997). Una ventaja que presenta es que estos compresores pueden ser enfriados externamente por aire o por agua.

Algo que se debe tomar en cuenta tanto en los compresores herméticos como semiherméticos, son uno de los problemas de mayor relevancia, los cuales son causados por la contaminación del circuito por ácidos, esto se da debido a que se refrigeran los vapores de aspiración. Al existir algún tipo de ácido dentro del circuito de refrigeración, se puede llegar a producir algún tipo de cortocircuito, por ejemplo, al contacto directo entre el rotor y estator. Las causas de esto pueden variar, sin embargo, se puede originar a causa al desequilibrio de las fases de alimentación, fallos de los elementos de protección, mal estado de los contactores, bajo nivel de aceite en el cárter, mal retorno de aceite o lubricación defectuosa, por lo tanto, se debe tomar en consideración todo esto para evitar fallos en el compresor tanto hermético como semihermético. (Brown, 1997)

3.1.3.3 Compresores Abiertos

A este tipo de compresores se les conoce como compresores abiertos debido a que el motor eléctrico y el compresor se encuentra separados, por ende, el fluido refrigerante no se encuentra en contacto directo con la parte eléctrica del compresor, como ocurre tanto con los compresores herméticos y semiherméticos. (Brown, 1997).

Al estar separados estos componentes, se puede manejar mejor un mantenimiento a causa de la gran accesibilidad que permiten estos compresores, permitiendo que sean solucionados independientemente.

3.1.3.4 Compresores Helicoidales

Los compresores helicoidales, que además se les como compresores de husillo o tornillos, trabajan de manera diferente en comparación a los demás compresores, ya que, con este tipo de compresor, la compresión del fluido refrigerante es constante. Se encuentran compuesto por dos rotores, uno primario y el otro secundario, el primario es accionado directamente por el motor eléctrico con una relación de 1 a 1 y el rotor secundario es accionado mediante un sistema de rodamiento, recibiendo la energía mecánica por el rotor primario. Entre ambos rotores se encuentra una leve separación, no se encuentran en contacto. (Brown, 1997) Los dos rotores giran dentro de la cavidad del compresor y a causa de la separación existente, se llega a generar las aberturas de

espacio en la zona de aspiración que conforme gira, disminuye, luego el fluido es trasladado y comprimido hacia el otro extremo de los rotores, llegando hasta la descarga.

3.1.4 CONDENSADOR

De acuerdo a Fenton (2016) el condensador es una parte fundamental del sistema de refrigeración, su función principal consiste en condensar el fluido refrigerante. El fluido refrigerante llega al condensador justamente después de salir del compresor en estado de vapor recalentado. El funcionamiento del condensador se puede considerar como un intercambiador de calor, esto se refiere, a que el condensador este, entrega su calor al agente condensante, donde este agente condensante podría ser ya sea agua o aire, y de tal manera generar una disminución en la temperatura del fluido refrigerante hasta el punto de llegar a la temperatura de condensación, a la cual se efectuará el cambio de estado.

Con la finalidad de alcanzar a producir el intercambio térmico entre el fluido refrigerante y el agente condensante, el condensador debe ser de un material conductor, como ser de una superficie metálica. El refrigerante ingresa al condensador en estado de vapor recalentado a una temperatura de alrededor de 80 °C y mientras fluye por el condensador, transfiere su calor hacia el agente condensante, por ende, su temperatura disminuye considerablemente, hasta alrededor de 35 °C, que es a la temperatura que se produce la condensación a una presión y temperatura constante, para finalmente, obtener el fluido refrigerante en estado líquido a la temperatura que fue condensado (Buzelin et al., 2005). Los condensadores pueden clasificarse según el agente condensante que está siendo utilizado, ya sea agua o aire.

3.1.4.1 Condensación por Agua

Estos condensadores utilizan como agente condensante al agua, algún de los diferentes tipos de condensadores que utilizan este tipo de agente condensante se presentan a continuación:

1) Condensador de Doble Tubo

Los condensadores de doble tubo, que también son conocidos como de

contracorriente, se encuentran formados por dos tubos de diferente diámetro y estos dos tubos son concéntricos, en la ilustración 7, se presenta este tipo de condensador. (Murthy et al., 2019)

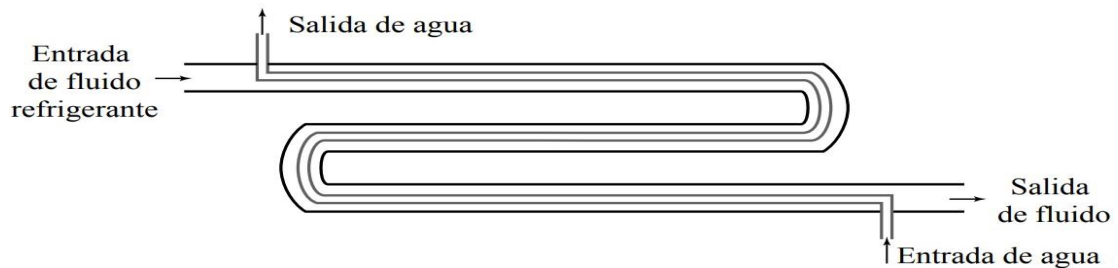


Ilustración 7-Condensador de doble tubo

Fuente: (Murthy et al., 2019)

El accionamiento del condensador de doble tubo consiste en que el fluido refrigerante es descargado entre el espacio existente que se encuentra entre los tubos concéntricos, que circula hacia el recipiente con una dirección de descendencia y el agua fluye de manera ascendente, en dirección al compresor.

2) Condensador Multitubular

A diferencia del condensador anterior, este se encuentra formado por una envolvente metálica que se encuentra cerrada por los laterales a través de unas tapas atornilladas, con forma cilíndrica. Dentro de esto, se encuentra a lo largo de todo el envolvente, el paquete tubular, los materiales utilizados varían según el fluido refrigerante y el agente condensador, ya sea agua dulce o agua de mar (Murthy et al., 2019). En la ilustración 8, se presenta el condensador multitubular horizontal.

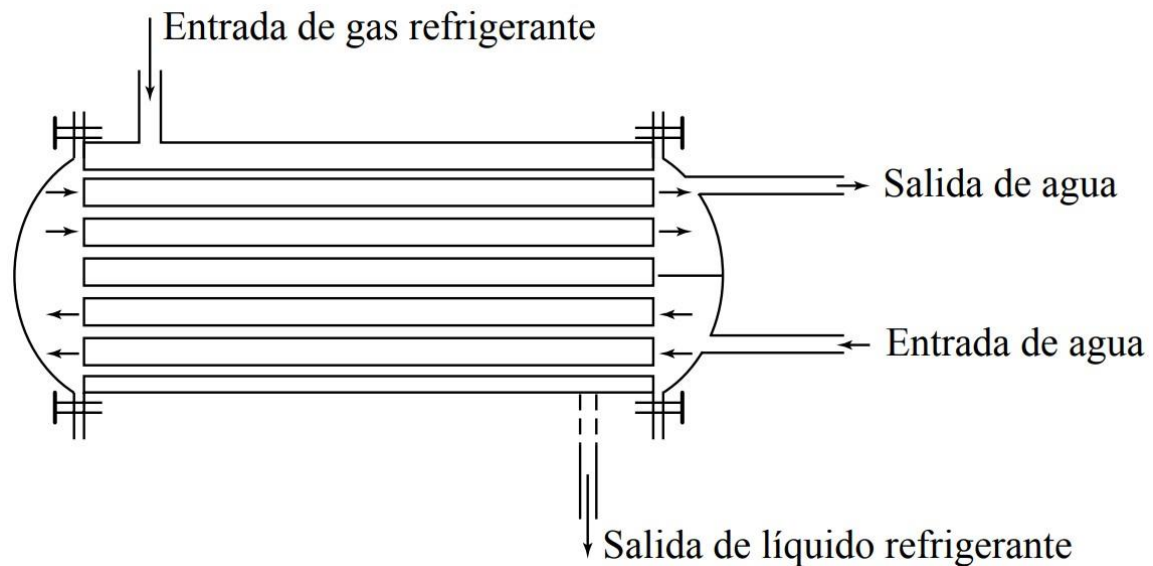


Ilustración 8-Condensador multitubular horizontal

Fuente: (Murthy et al., 2019)

El agua ingresa por la parte inferior por medio de la interconexión en una de las tapas laterales, como se detalla en la ilustración 7, el agua llena el espacio de la tapa lateral contraria y circula a través de todos los tubos superiores en sentido contrario hacia la salida. Y el fluido refrigerante, que proviene del compresor, ingresa por la parte superior y llena la envolvente, en este punto el refrigerante y el agua pueden lograr la transferencia térmica, lo que hace que el fluido refrigerante se condense y salga por la parte inferior en estado de líquido hacia el recipiente acumulador.

3.1.4.2 Condensación por Aire

En la condensación por aire, el condensador utiliza el aire como agente condensante, donde la función del aire consiste en la de disminuir la temperatura del refrigerante que viene como vapor recalentado, el cual se condensa debido a esta transferencia térmica, además, puede producir el subenfriamiento (Murthy et al., 2019), existen diferentes tipos de condensadores que utilizan condensación por aire los cuales son los siguientes:

1) Condensador de Tubo Liso

Los condensadores de tubo liso, generalmente, son utilizados en instalaciones pequeñas, como neveras domésticas, el cual utilizar como material, el cobre, con un funcionamiento por circulación natural, esto se refiere a que el aire que lo rodea, mientras aumenta su

temperatura, este aire asciende, por lo tanto, es reemplazado por un aire nuevo, a causa de la gravedad, por esta razón se le dice circulación natural.

En caso de que se desee utilizar este tipo de condensador en instalaciones mayor capacidad, faltaría un condensador con dimensiones mucho mayores, esto sería un gran inconveniente para la instalación en general, por esta razón no se utilizan muy a menudo en instalaciones de mayor magnitud.

2) Condensador de Tubo con Aletas

A diferencia de los condensadores de tubo liso, los condensadores de tubo con aletas, si son convenientes para utilizar en instalaciones más grandes. Esto se debe, a que estos condensadores están constituidos por un serpentín de cobre y aletas de aluminio separado entre sí. La transferencia térmica se realiza a través del tubo y las aletas, además, a diferente del condensador de tubo liso, donde la circulación de aire era natural, aquí, la circulación de aire está siendo forzada constantemente por ventiladores, con esto, el rendimiento del condensador va a incrementar considerablemente. En la ilustración 9, se presenta gráficamente este condensador de tubo con aletas.

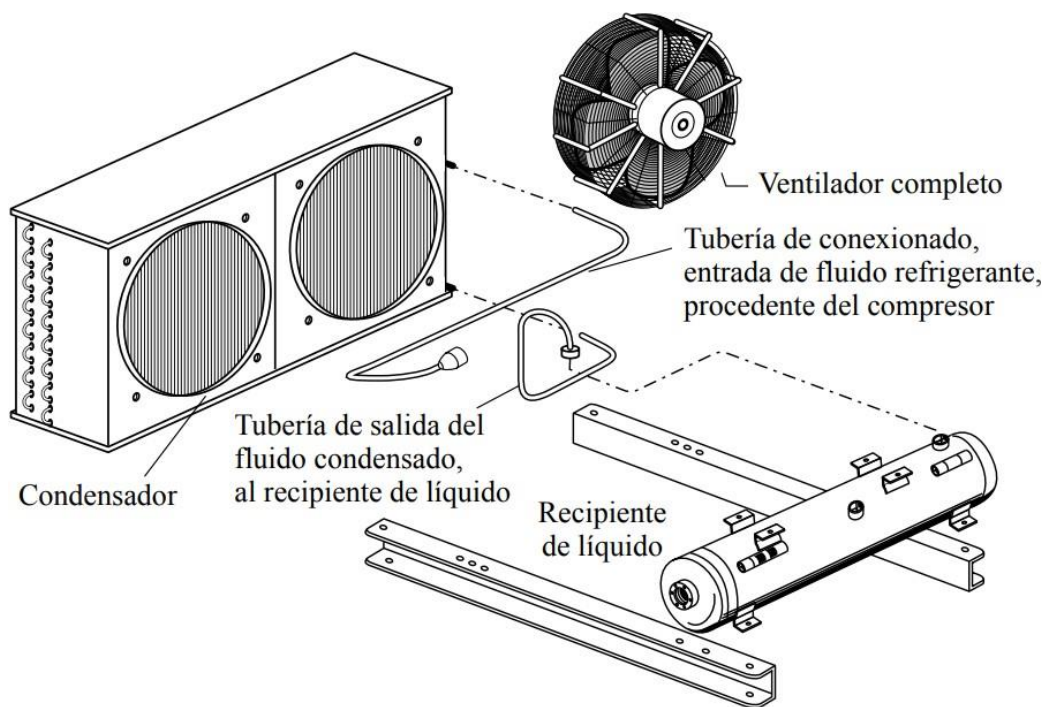


Ilustración 9-Condensador de tubo con aletas o de aire forzado

Fuente: (Murthy et al., 2019)

Este tipo de condensador es muy usado dentro de instalaciones industriales, este se debe a que una de las principales características de este condensador, es su tamaño compactado, el cual mucho menor en comparación a los otros tipos de condensadores, por lo tanto, tiene una mayor capacidad de condensación. El aire ingresa por la parte posterior del condensador, como se presenta en la ilustración 8, y la salida por la parte del lado de los ventiladores. Generalmente, este tipo de condensadores se encuentran instalados en lugares donde las temperaturas no sean muy altas, debido a que la temperatura de entrada del aire influye significativamente en la temperatura de condensación, afectando directamente en el rendimiento. (Murthy et al., 2019)

3.1.4.3 Condensación Mixta

En la condensación mixta se emplea el agente condensante tanto como el agua como el aire, conjuntamente, para realizar la condensación, los más utilizados son los condensadores evaporativos. El funcionamiento de este tipo de condensadores, se basa en la combinación del aire y del agua, ambos en contracorriente, generalmente, se instalan en el exterior (Murthy et al., 2019). Se rendimiento está en función de la temperatura del bulbo húmedo del aire a la entrada, y entre menor sea esta temperatura, el rendimiento será aún mayor, en la ilustración 10, se presenta el condensador evaporativo.

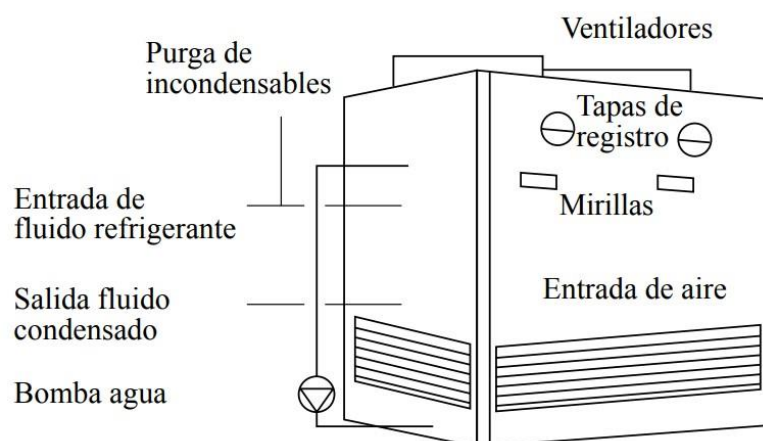


Ilustración 10-Condensador evaporativo

Fuente: (Murthy et al., 2019)

3.1.5 EVAPORADOR

Otro elemento fundamental, del sistema de refrigeración, es el evaporador, aquí es donde se produce el efecto refrigerante, es considerado un intercambiador de calor, en donde el calor existente en la cámara o local pasa al interior del evaporador a causa de la ebullición del fluido refrigerante en su interior (Franco Lijó, 2012). Esto se puede realizar a causa de que cuando el refrigerante ya está expansionado, ingresa hacia el evaporador a la temperatura y presión necesarias para efectuar el enfriamiento del medio que lo rodea. Por lo tanto, el evaporador, debe de estar formado de un material que sea un buen conductor de calor, con la finalidad de que se realice el mejor intercambio térmico posible.

Según Franco Lijó (2012) existen diferentes formas y tipos de evapores en la actualidad, lo que conlleva una clasificación mucho más difícil de abarcar a todos, sin embargo, la mejor manera de clasificarlos es según el estado del fluido refrigerante en su interior y según su construcción.

3.1.5.1 Según el Estado del Refrigerante

La primera clasificación son los evaporadores según el estado del fluido refrigerante dentro del mismo, estos se dividen en tres principales, los cuales son los siguientes:

1) Inundados

Los evaporados inundados se refieren a cuando el refrigerante se encuentra en estado líquido desde el inicio hasta el fin del evaporador, sin embargo, en la salida, se encuentra en una mezcla de líquido y gas, por lo tanto, el refrigerante está a lo largo de toda la superficie de transmisión, en estado líquido, en la ilustración 11, se presenta el evaporador inundado.

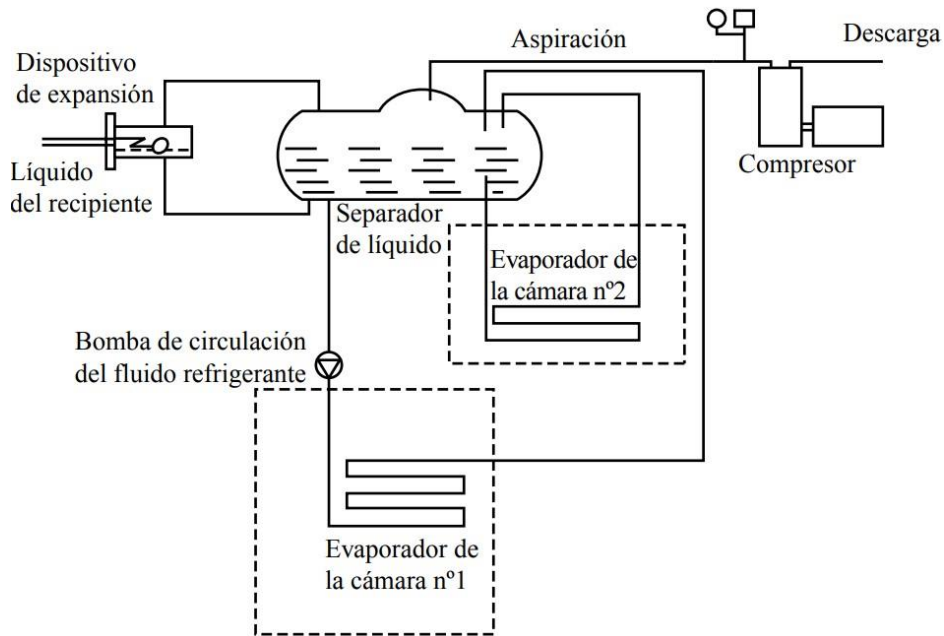


Ilustración 11-Evaporador inundado

Fuente: (Franco Lijó, 2012)

Estos evaporadores poseen un gran rendimiento, esto se debe a causa de que en la salida el fluido se encuentra una parte en estado líquido, esto implica que la diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el medio a enfriar es prácticamente constante, además, utilizan dispositivos de expansión como ser reguladores de nivel o válvula de flotador. El refrigerante viene del recipiente de líquido, para luego pasar por el regulador e ingresa expansionado en el separador de líquido, como se muestra en la ilustración 10.

2) Semiinundados

Estos evaporadores consisten en dos colectores, donde una es de menor diámetro en la entrada, y el otro colector de mayor diámetro en la salida del refrigerante. Estos dos colectores se encuentran unidos a través de tubos ubicados en paralelo, por donde circula el refrigerante y deben estar nivelados y generalmente, estos evaporadores son de tubo con aletas. (Franco Lijó, 2012)

3) Secos

Estos evaporadores, son caracterizados a causa de que el refrigerante a la salida se encuentra en estado de gas, esto se refiere a que una parte de la superficie de transmisión

se utiliza para el recalentamiento de refrigerante, a través del uso de válvulas de expansión termostáticas. (Franco Lijó, 2012)

3.2 PSICROMETRÍA

Pilatowsky Figueroa (2002) mencionan que la psicrometría es una subciencia de la física que se ocupa de las propiedades y procesos del aire húmedo. El aire húmedo se define como una mezcla de dos gases: aire seco y vapor de agua. Algunos amplían la definición de psicrometría para cubrir mezclas del gas de una sustancia (cualquier componente de gas seco) y el vapor condensable de una segunda sustancia. La humedad del aire debe al vapor de agua que se encuentra en la atmosfera. El vapor por otra parte procede de la evaporación de los mares, los océanos, los ríos, los lagos y las plantas. La temperatura es el factor principal para la cantidad de vapor de agua que se pueda absorber.

En general, se puede predecir las propiedades psicrométricas de un medio analíticamente aplicando las leyes de los gases o apoyándose de los cuadros y tablas preestablecidas. Si se conoce la presión o altitud atmosférica resulta fácil conocer las propiedades psicrométricas usando otras dos propiedades conocidas. Por lo tanto, en los gráficos de altitud cero encontrar propiedades psicrométricas puede crear errores.

(Pilatowsky Figueroa, 2002).

3.2.1 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Hay siete propiedades diferentes principales en los cuadros psicrométricos, a saber, temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y punto de rocío, presión atmosférica, relación de humedad, humedad relativa y entalpía (Britto, 2016).

(Chávez & Costas, 2015) menciona que se puede considerar a un diagrama psicrométrico como un gráfico que se encuentra compuesta por diferentes curvas, donde estas curvas están trazadas en base de las ecuaciones de estado, estas ecuaciones de estado cumplen con la función de relacionar los parámetros que caracteriza la mezcla de aire-vapor de agua, para lograr determinar todas las características del aire húmedo, además, se debe de conocer con anterioridad por lo menos tres de ellos. La elección de coordenadas para un cuadro psicrométrico es arbitraria. Un cuadro con coordenadas de entalpía y relación de humedad proporciona soluciones gráficas convenientes de muchos problemas de aire húmedo con aproximaciones mínimas termodinámicas. Existen tres diferentes diagramas

psicrométricos, sin embargo, uno de los más utilizados es el diagrama de Mollier.

3.2.1.1 Diagrama de Mollier

Este gráfico se le conoce también como gráfico P-h. El eje vertical especifica la presión, y el eje horizontal especifica la entalpía específica. Por lo tanto, el gráfico P-h se denomina "gráfico de entalpía de presión". El gráfico consta de 8 tipos de líneas en total; línea de líquido saturado, línea de vapor saturado, línea de temperatura constante, línea de volumen específico constante, líneas de sequedad constante y líneas de entropía específicas constantes, así como presión constante y líneas de entalpía constantes. Parece un mapa, que muestra las propiedades del refrigerante en forma de diagrama. (Chávez & Costas, 2015)

El estado del refrigerante en un ciclo de refrigeración varía con una amplia gama de condiciones mientras un aire acondicionado o un chiller está en funcionamiento. Cuando los cambios de estado bajo estas condiciones se trazan en un gráfico, se pueden estimar cada estado y los valores numéricos del estado en cada parte del equipo apoyándose de un diagrama de Mollier. La aplicación del diagrama de Mollier es de mucha importancia, debido a que con el auxilio de este diagrama se pueden llegar a representar el ciclo de refrigeración de algún sistema de refrigeración, permitiendo la obtención de las potencias o capacidades de los elementos, hasta inclusive la detección de alguna posible anomalía dentro del sistema de refrigeración (Chávez & Costas, 2015), existe un diagrama de Mollier para cada fluido refrigerante, en la ilustración 12 se presenta el diagrama de Mollier para el refrigerante R134a.

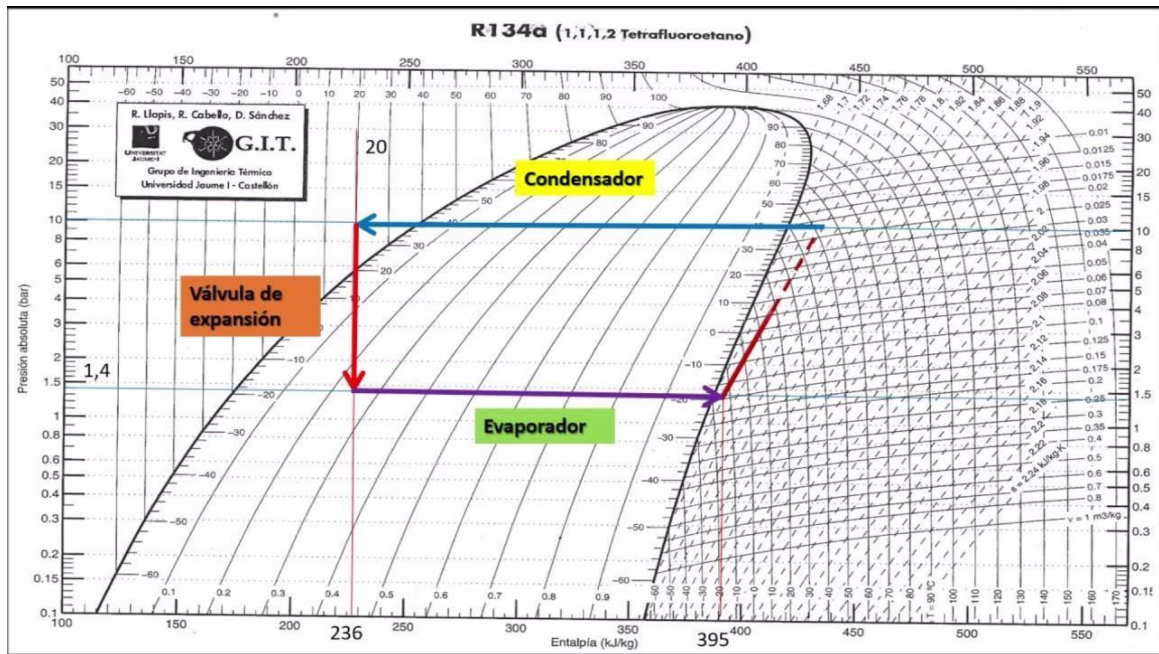


Ilustración 12-Diagrama de Mollier del refrigerante R134a

Fuente: (Chávez & Costas, 2015)

3.3 SISTEMA DE CONTROL

Ogata (2003) considera que la ingeniería de control es una de las disciplinas de la ingeniería en donde se utiliza directamente la teoría de control con la finalidad, de planificar, diseñar y ejecutar un sistema que posea los comportamientos que fueron planificados y diseñados con anterioridad y tener un control total sobre el sistema completo, generado de tal manera lo que es un sistema de control.

Un sistema de control es un conjunto de componentes interconectados entre sí y que el arreglo de sus componentes pueda dirigirse o regularse asimismo y nos proporcionan una respuesta deseada. La base para realizar un análisis a estos sistemas es el fundamento de los sistemas lineales, que tienen una relación causa-efecto (Dormido, 2004). El esquema o diagrama de bloque general de un sistema de control se presenta en la ilustración 13.



Ilustración 13-Diagrama de bloque de un sistema de control

Fuente: (Dormido, 2004)

Para la realización de un sistema de control se deben utilizar dispositivos de tipo sensorial y actuadores, que nos permitan tener una retroalimentación sobre ciertas variables y por accionar algún actuador según el comportamiento de la variable de lectura. Sin embargo, se considera que, dentro de los sistemas de control, existen dos tipos principales, lazo abierto y lazo cerrado, que poseen grandes diferencias, en las subsecciones posteriores se detallan estos dos tipos de sistemas de control. (Dormido, 2004)

En los sistemas de control aparte de los sensores y actuadores es necesario el uso de otros dispositivos que permitan garantizar el control sobre el sistema a trabajar, comúnmente, estos dispositivos se refieren a microcontroladores, circuitos eléctricos y procesadores digitales, utilizados simplemente con el objetivo de tener un control automático y a la vez preciso del sistema, ya sea con una o más entradas y uno o más salidas de la planta o sistema en la cual se está trabajando, como se muestra en la ilustración 12.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS

Kuo (1996) menciona que un sistema de control posee diversas características especiales las cuales se detallan en las subsecciones posteriores.

3.3.1.1 Control

El control es una de las características principales dentro de un sistema de control, el cual se refiere a que, dependiendo de las entradas del sistema, las salidas vayan cambiando según la manera parametrizada, para la ejecución de este control se deben tener en consideración diversos elementos, que son:

- 1) Con la finalidad de obtener una verificación de lo que se busca controlar, se realiza una planeación.
- 2) La medición es indispensable para tener un control y lograr una cuantificación de los resultados obtenidos.
- 3) La detección de posibles desviaciones para lograr detectar las diferencias que se presentan entre la ejecución y la planeación del sistema de control.
- 4) El establecimiento de medidas correctivas con la finalidad de prever y corregir los errores que son encontrados en el sistema.

3.3.1.2 Señal de Entrada

La señal de entrada se refiere a al estímulo que ingresa al sistema por parte de una fuente de energía con la finalidad de que el sistema genere alguna respuesta específica a través de la salida del sistema.

3.3.1.3 Señal de Salida

La señal de salida se refiere a la respuesta generada por el controlador del sistema de control, que puede o no llegar a estar directamente relacionada con la respuesta que implicaba la entrada obtenida por el controlador.

3.3.1.4 Variable Manipulada

Esta variable es el elemento que su magnitud es manipulada por el controlador, solamente con la finalidad de obtener la respuesta que es requerida de acuerdo con el sistema de control planificado, manipulando la entrada del proceso.

3.3.1.5 Variable Controlada

Básicamente, la variable controlada se refiere al elemento que debe ser controlado por el sistema, siendo la salida del proceso, que está siendo ajustada su magnitud de acuerdo con la indicación que posee el controlador del sistema de control, basándose en las diversas señales tanto de entrada como variaciones externas.

3.3.1.6 Variaciones Externas

Las variaciones externas se refieren a los diferentes factores exteriores que pueden llegar a influir de manera directa en la acción de producir un cambio sobre todo el sistema, y de tal manera afectado la salida.

3.3.1.7 Retroalimentación

La retroalimentación se considera uno de los parámetros principales dentro del sistema de control, sin embargo, solamente uno de los tipos de sistema de control posee esta característica, el cual es el sistema de lazo cerrado, del cual se detallará más adelante. Siendo este parámetro una relación secuencial de causas y efectos entre las diferentes variables del sistema de control, de las cuales el controlador del sistema posee lectura.

La señal de retroalimentación es la señal de salida del controlador entregada nuevamente al controlador, siendo así, una señal de retroalimentación, con esta señal le permite determinar el estado de la situación actual de la variable de salida en cuestión, tomando así, mejores decisiones y más precisas con la finalidad de obtener la respuesta final deseada del sistema de control.

3.3.2 LAZO ABIERTO

Los sistemas de lazo abierto son aquellos en los que la salida no tiene ningún efecto sobre la acción de control. No se realiza ninguna comparación entre la entrada y la salida, por ende, no se realimenta. Con esta falta de retroalimentación, se pierde cierto grado de control del sistema en cuestión, debido a que no se tiene forma de conocer exactamente qué es lo que está sucediendo (Ogata, 2002). En la ilustración 14, se presente el diagrama de bloque de un sistema de control de lazo abierto.



Ilustración 14-Diagrama de bloque de un sistema de lazo abierto

Fuente: (Ogata, 2002)

El control automático posee la finalidad de lo lograr tener un control ya sea con una o más entradas, una o más salida de un sistema, para poder realizar esto se debe poseer una entrada de referencia hacia un controlador que permite ejercer un cierto control sobre todo la planta o proceso, buscando que la salida sea igual que la entrada (Ogata, 2002), esto es lo que representa el diagrama de bloque de la ilustración 13. Sin embargo, este tipo de sistemas de lazo abierto trabajan sin el uso de sensores para dar una retroalimentación al controlador, además, este tipo de sistema de lazo abierto se caracteriza por ciertos parámetros o características, las cuales son las siguientes:

- 1) Nunca se posee un conocimiento claro sobre la planta, por mucho, hasta un modelo aproximado, esto conlleva a que el control no puede ser ejecutado a la perfección.
- 2) No es conveniente utilizar este tipo de sistema para el control de plantas inestables.
- 3) Debido a la estructura de este sistema, no logra compensar adecuadamente las perturbaciones existentes.

- 4) No se posee un conocimiento sobre la situación actual en la planta, esto a causa de que no existe ninguna entrada sobre el controlador para la determinar lo que está sucediendo, llegando a accionar sin saber lo que sucede.

3.3.3 LAZO CERRADO

Los sistemas de lazo cerrado se consideran a aquellos sistemas en los que la acción de control es directamente afectada por la señal de salida. Su funcionamiento se basa en controlar los sistemas dinámicos mediante la retroalimentación, sistema expuesto a perturbaciones y que reduce la señal de error, logrando de esta manera que las salidas de estos se comporten de una manera predeterminada. (Guzmán et al., 2012)

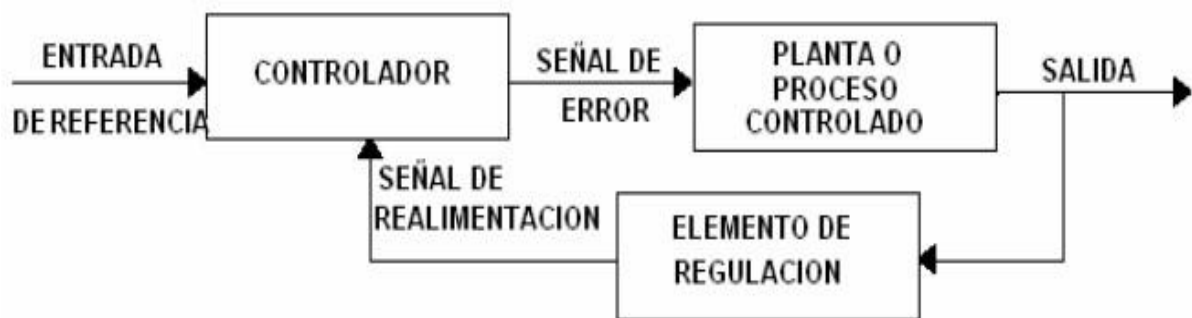


Ilustración 15-Diagrama de bloque de una sistema de control

Fuente: (Guzmán et al., 2012)

Los sistemas de lazo cerrado poseen una característica muy importante la cual es la señal retroalimentación, en que se utiliza la medición del sistema del sistema, la cual es entregada hacia el controlador, como se presenta en la ilustración 15, y con esto lograr obtener una señal de error hacia la planta, por ejemplo, como el funcionamiento de un controlador PID (Guzmán et al., 2008). Además, aparte de esta característica, los sistemas de lazo cerrado poseen las siguientes ventajas:

- 1) Control de sistemas inestables
- 2) Compensa perturbaciones
- 3) Control de sistemas incluyendo errores de modelados

Sin embargo, para tener todas estas ventajas se debe utilizar dispositivos especializados, como ser sensores, haciendo los costos tanto de instalación como operativos de todo el sistema de control, aparte de ello, esos dispositivos especializado-electrónicos son

propensos a que se introduzca alguna clase de ruido a la señal entrega, pero, aun así, poseen un gran desempeño y permiten determinar la situación de actual de la planta. Sobre la base de dicho concepto podemos establecer las acciones básicas de un sistema de control retroalimentado:

- 1) Medida: Se miden las variables mediante sensores y transmisores.
- 2) Comparación: Es la diferencia entre las variables de referencia y las variables reales
- 3) Decisión: Se decide tomar una acción, apoyándose de la comparación y el objetivo de control
- 4) Acción: Se acciona mediante actuadores.

3.3.3.1 Sensores

En sistemas electrónicos, los sensores son los elementos encargados de obtener información. Son llamados técnicamente transductores, y son capaces de convertir cualquier magnitud física, química o biológica en una magnitud eléctrica (Guzmán et al., 2012). El fenómeno de transducción puede darse de dos formas que se analizan a continuación:

- 1) Activo: la magnitud física a detectar proporciona la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica. Por ejemplo, piezoeléctricos o magnéticos.
- 2) Pasivo: cuando la magnitud a detectar se limita a modificar algunos de los parámetros eléctricos característicos del elemento sensor, como ser resistencia o reluctancia.

3.3.3.2 Actuadores

Los actuadores constituyen la interfaz entre el procesamiento de la señal (procesamiento de la información) y el proceso (mecánico). Transforman las señales que aportan la información de ajuste, de baja potencia, en señales potentes correspondientes a la energía necesaria para intervenir en el proceso. Los convertidores de señales combinados con elementos amplificadores se apoyan en los principios de transformación física entre distintas formas de energía (eléctrica –mecánica –hidráulica –térmica). (Kuo, 1996)

3.3.4 MICROCONTROLADOR PIC

Un microcontrolador, o MCU, es una computadora implementada en un solo circuito integrado de muy gran escala (VLSI). Los microprocesadores pueden llegar a tener diferentes componentes, como ser una MCU, la cual también posee algunos de los siguientes componentes periféricos: memoria, temporizadores (incluido el conteo de eventos, captura de entrada, interrupción en tiempo real y temporizador de vigilancia), modulación de ancho de pulso (PWM), Convertidor analógico al digital (ADC), digital a analógico (DAC), interfaz de E / S paralela, interfaz de comunicación serie asíncrona (UART), interfaces de comunicación serie sincrónica (SPI, I2C y CAN), acceso directo a memoria (Controlador DMA), interfaz de componente de memoria circuitería y hardware de soporte de depuración de software. (Mandado Pérez, 2007)

Desde su introducción, las MCUs se han utilizado en casi todas las aplicaciones que requieren cierta cantidad de inteligencia. Se utilizan como controladores para pantallas, impresoras, teclados, módems, teléfonos con tarjeta de carga, computadoras de bolsillo y electrodomésticos, como refrigeradores, lavadoras y hornos de microondas. También se utilizan para controlar el funcionamiento de motores y máquinas en fábricas. (Angulo Usategui, 2003)

Para definir mejor un microcontrolador, Angulo Usategui (2003) menciona que este es un dispositivo programable que ejecuta ciertas tareas sin que exista intervención humana teniendo la capacidad para almacenar información y devolverla, es por eso por lo que hoy en día, es tan difícil no encontrarse con uno de estos, hasta los dispositivos más pequeños poseen uno. Gracias al pequeño tamaño y por ser tan compactos, pueden ser utilizados casi para todas las aplicaciones que exige hoy la ingeniería de control a nivel industrial o comercial.

En la presente investigación se utilizó un microcontrolador PIC, estos poseen una serie de registros con la finalidad de utilizarlas como RAM de propósito general, además hacen uso de una arquitectura Harvard, esto se refiere a que la memoria de programa se encuentra directamente conectada con la CPU por más de 8 líneas, obteniendo así, microcontroladores de 12, 14, y 16 bits, según el ancho del bus. Poseen una memoria flash y ROM desde 256 bytes hasta 256 kilobytes según el modelo seleccionado del controlador, conjunto a puertos tanto de entrada y salida de 0 a 5.5 voltios. (Valdes &

Pallás Areny, 2007)

Además, estos microcontroladores cuentan con temporizadores tanto de 8, 16 y 32 bits, con periféricos serie síncronos y también asíncronos, incluyendo conversores analógicos a digital de 8, 10 y 12 bits, entre otras características que permiten a un controlador PIC, ser el cerebro de un sistema de control sobre una planta. (Valdes & Pallás Areny, 2007)

Con la finalidad de ajustar al controlador para que accione como nosotros deseamos se debe de transferir el código de un computador hacia el microcontrolador PIC, para esto se debe utilizar un programador. El programador por utilizar en la presente investigación fue el mikroC. MikroC es un software que permite transferir el código del computador al microcontrolador ya en formato hexadecimal, como lo requiere el controlador. El mikroC PRO para PIC actualmente admite más de 808 microcontroladores de diferente modelo y familia, y constantemente se están agregando otros nuevos, además, posee un interno ideal para escribir, compilar, ejecutar y depurar el código, ya que el programa provee todas estas opciones a causa de las características y herramientas que posee. (MIKROE, 2020).

3.3.5 LIFECAM

Microsoft Lifecam Studio es considerada una adaptación renovada y mejorada de la Microsoft Lifecam Cinema. Esta permite grabar en una resolución a 1080p, con una estructura de sujeción mejorada, incluyendo la movilidad de la bisagra, o el micrófono.

Es capaz de grabar vídeo en alta definición 1080p, con un ratio de aspecto de 16:9, o sacar fotos en 8 megapíxeles. El enfoque es automático, aunque un poco lento a la hora de cambiar entre objetos muy cercanos y lejanos. No obstante, la calidad de imagen es sorprendente para una Webcam. El formato 16:9 panorámico hace que la Microsoft Lifecam Studio sea idónea para videoconferencias en el salón, ya que capta la habitación en toda su anchura.

Por otra parte, las tecnologías de procesado de imagen Truecolor y Clearframe son muy efectivas a la hora de mejorar el color y la luminosidad de las tomas, incluso en habitaciones con poca luz. El software de la Lifecam también dispone de un zoom digital

para videollamadas más personales, aunque su funcionamiento es considerablemente lento y el máximo nivel de cercanía hace que la imagen pierda un poco de nitidez. A nivel de sonido, la Microsoft Lifecam Studio incorpora un micrófono en alta definición que está situado en la parte superior de la Webcam y no contempla cancelación de ruido ni sonido estéreo.

3.3.5.1 Comunicación por Bluetooth

Bluetooth es una especificación o protocolo industrial para la comunicación de diversos dispositivos, en redes inalámbricas de área personal (WPAN). Esta especificación permite la transmisión tanto de voz como de datos entre diferentes dispositivos a través de ondas electromagnéticas o radiofrecuencia en la banda de radio industriales, científicas y médicas (ISM) de los 2.4 GHz (Hallberg et al., 2003). Las principales ventajas que llega a presentar este medio de comunicación son las siguientes:

- 1) Facilitar la comunicación entre equipos en constante movimiento.
- 2) Eliminar los medios alámbricos.
- 3) Permite el desarrollo de pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos.

Generalmente, este protocolo de comunicaciones fue diseñado especialmente, para dispositivos de bajo consumo, los cuales necesitar de un corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo coste. Por lo tanto, los equipos que utilizan este tipo de comunicación, como ser el microcontrolador PIC, pueden llegar a comunicarse cuando este se encuentra dentro del alcance del otro dispositivo. Dada a la naturaleza de la propagación de las ondas electromagnéticas, los dispositivos que se buscan ser comunicados entre sí, no necesariamente deben estar alineados, inclusive podrían estar en habitaciones separadas, teniendo en cuenta la potencia de transmisión. (Hallberg et al., 2003)

Tabla 1-Clasificación según la potencia de transmisión

Clase	Potencia Máxima Permitida (mW)	Potencia Máxima Permitida (dBm)	Alcance (m)
Clase 1	100	20	~100
Clase 2	2.5	4	~5-10
Clase 3	1	0	~1

Clase 4	0.5	-3	~0.5
---------	-----	----	------

Fuente: (Hallberg et al., 2003)

Los dispositivos son clasificados según la potencia de transmisión que poseen, en la tabla 1, se presenta la clasificación establecida en 4 clases diferentes, en donde varía el alcance de las ondas electromagnéticas, según la potencia de transmisión del dispositivo.

3.3.6 SISTEMAS DE CONTROL EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Existen diferentes tipos de sistemas de control en los sistemas de refrigeración, sin embargo, generalmente, estos suelen ser sistemas de control de lazo cerrado, el cual posee algún tipo de sensor para medir el parámetro a controlar, para posteriormente, este valor ser comparado con el valor deseado del sistema, según la diferencia de esta lectura, el sistema de control actúa, tal como se detalla en la ilustración 15. Sin embargo, estos sistemas de control, pueden ser sistemas de control eléctricos, electrónicos, neumáticos, digitales directos o inclusive pueden llegar a ser una combinación de varios de estos tipos de sistemas de control. (Guzmán et al., 2012)

3.3.6.1 *Sistemas de Control Eléctrico*

Los sistemas de control eléctrico son considerados aquellos sistemas que utilizan una alimentación directa de 120 voltios o inclusive bajo voltaje, de 12 a 24 voltios, para controlar las funciones básicas. Generalmente, dentro de estos sistemas de control, se encuentra una salida el sistema de control como cierres de contacto, estas cumplen la función de encendido y apagado, abierto y cerrado, alarma y normal, o pueden ser de control flotante, aumentando la opción nula entre las dos posiciones. Además, es considerado como un balance de fuerzas entre un resorte con una carga representa el setpoint o el valor deseado y una fuerza opuesta que está siendo generada por el sensor, representando el valor de la variable a controlar, dentro del sistema de refrigeración, ya sea temperatura, humedad, flujo o presión. (Guzmán et al., 2012)

En el momento en que la fuerza del sensor excede la carga del resorte, se activa un switch eléctrico de actuación instantánea, que indica la posición contraria. Este tipo de controlador se utiliza en dispositivos que tienen capacidades de salida discretas como el

control de alta o baja velocidad del ventilador de enfriamiento de un condensador el mismo que es comandado por la presión del refrigerante.

3.3.6.2 Sistemas de Control Electrónicos

Por otro lado, los sistemas de control electrónicos son aquellos que utilizan señales eléctricas analógicas, utilizadas para cumplir las funciones comparativas y de control. Generalmente, los dispositivos para medir las variables en observación es algún tipo de resistencia variable, para la medición de temperatura, presión, humedad o flujo. De igual manera, el setpoint, es ajustado de manera manual, como ser con un potenciómetro. Estas señales son comparadas posteriormente a través de un circuito de puente. Para determinar la diferencia de voltaje. Para posteriormente producir una señal de salida. (Ogata, 2002)

3.3.6.3 Sistemas de Control Digitales Directos

En los sistemas de control digitales directos, se hace uso de controladores, como ser procesadores o microprocesadores. En donde existe una señal de entrada hacia el controlador y esta resulta en una salida a un dispositivo apropiado. Estos sistemas usan sistemas o circuitos electrónicos digitales, además, de dispositivos para el monitoreo u control. La gran diferencia con los demás sistemas de control es que este tipo de sistema de control posee microprocesadores que se encuentran programados con anterioridad para lograr interpretar la señal que está entrando, y luego procesar la información para finalmente, decidir una respuesta apropiada para el sistema de refrigeración que está siendo controlado. (Ogata, 2002)

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

La metodología es la explicación de los mecanismos utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación. Sirviendo de guía, ya que a través de métodos, técnicas y procedimientos permite determinar los instrumentos a utilizar para recabar información valiosa para la investigación. El presente proyecto de tesis será una investigación aplicada en base al desarrollo de un sistema electrónico para el control de un sistema de refrigeración, haciendo uso de las tecnologías adecuadas para que estas sean adaptadas de la mejor manera con el fin de desarrollar un dispositivo capaz de generar agua.

4.1 ENFOQUE

Se determinó que la presente investigación fue realizada bajo un enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo fue establecido debido a que las variables a investigar en el presente proyecto son variables cuantificables, lo que permite realizar procedimientos basados en la medición de los valores numéricos de estas variables de estudio. Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) mencionan que una investigación cuantitativa se da por aludida al ámbito del análisis numérico de las variables de investigación, se analiza una realidad objetiva con base en las mediciones numéricas y el análisis de estas, con la finalidad de determinar predicciones o patrones de comportamiento del problema planteado.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En el siguiente apartado, se mostrarán, en la ilustración 16, las variables de investigación, las cuales se identifican por medio de la formulación del problema. El cuadro de variables de operacionalización resume puntos clave del proyecto como ser, el problema que motiva la presente investigación, objetivo general, objetivos específicos, preguntas de investigación y finalmente se definen las variables independientes y la variable dependiente.

Con el fin de poder manipular las variables de investigación en condiciones controladas, se estableció la presente investigación como experimental. De esta forma se obtuvieron datos de muestras aleatorizadas, y se le llevó un seguimiento a lo largo de un período concreto, establecido en el cronograma de actividades.

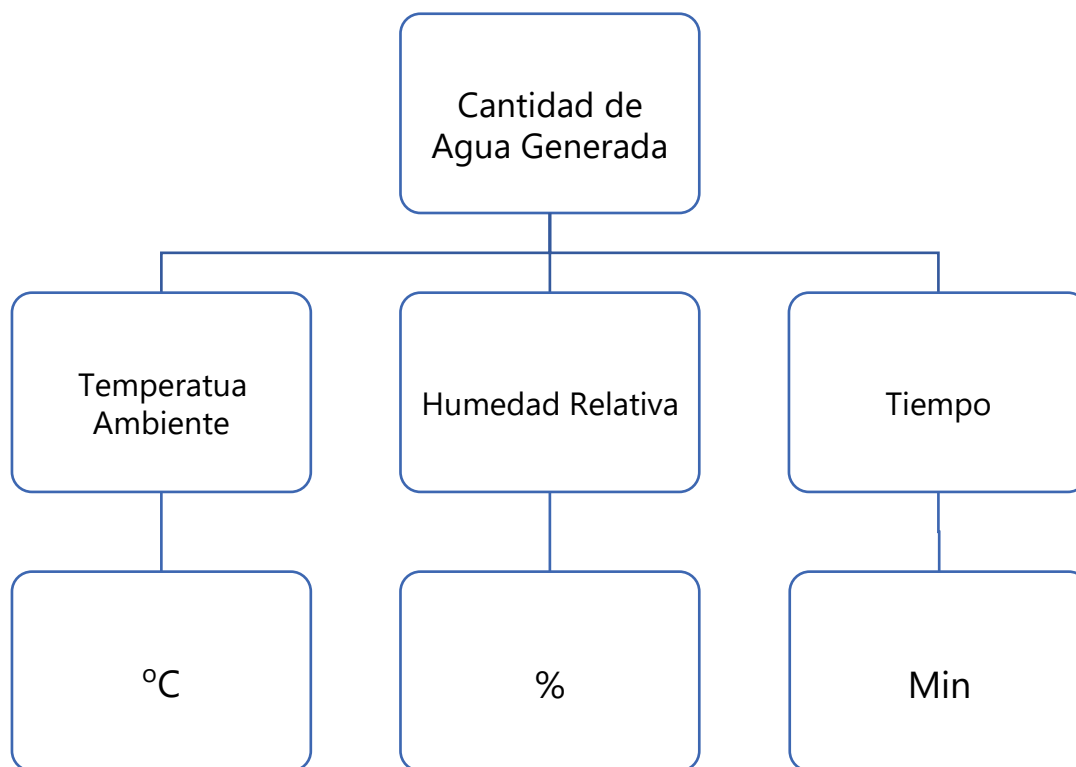


Ilustración 16-Diagrama de las variables de investigación

Fuente: Elaboración Propia

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Las técnicas e instrumentos utilizados en el desarrollo del proyecto tenían como objetivo obtener resultados precisos y adquirir datos indispensables para facilitar el desarrollo de un sistema de control óptimo.

Con el fin de sustentar de manera adecuada la presente investigación fue necesario la recolección de información y datos de fuentes confiables, tales como ser, libros, documentos de revistas, tesis universitarias y conocimiento técnico de especialistas en la temática.

Fue necesario el uso de técnicas de condensación con el fin de generar agua a un mejor ritmo. Para el control y medición de las variables a investigar se utilizó lo siguiente, un reloj en tiempo real, DS3231, utilizado para el control automático del compresor y un sensor, BME280, para la medición de la temperatura ambiente del lugar donde se encuentra el prototipo, la humedad relativa y la presión. Este sensor, fue incorporado en un sistema de control, el microcontrolador o microprocesador PIC.

4.4 MATERIALES

En lo que respecta a los materiales utilizados, fueron seleccionados con él objetivo de un correcto funcionamiento, los materiales involucrados para la construcción del prototipo fueron los siguientes:

1. Sistema de Adquisición de Datos
 - 1.1 Microprocesador PIC18F45K22: Este microprocesador es la cabeza del sistema de control, el cual tomó lectura de las diferentes variables de retroalimentación.
 - 1.2 Sensor BME280: Este sensor fue utilizado para la medición de la temperatura, presión y humedad.
 - 1.3 DS3231: Este sensor fue utilizado para controlar el tiempo entre las mediciones y para obtener registro de la hora en la que realizo dicha medición.
2. Sistema de Refrigeración: se utilizaron los componentes detallados en la siguiente tabla

Tabla 2-Componentes del Sistema de Refrigeracion

Compresor de 1/3 HP
Condensador
Evaporador de Aluminio
134Tubo capilar de 0.42
Filtro Deshidratador 1/4

Fuente: Elaboración Propia

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la presente sección se remite a los métodos utilizados para el desarrollo del problema planteado anteriormente, especificando las actividades que se realizaron basándose en la metodología en v para la validación de nuestra hipótesis. Este modelo nos presenta cuatro pasos principales de los cuales surgen nuevas actividades, tan pronto culmina un paso del desarrollo, inicia otro. Tal como lo manifiesta Corbin (2002), para construir una teoría bien desarrollada, integrada y exhaustiva, un investigador debería elegir el método más conveniente, teniendo en mente que siempre es necesaria una interacción de métodos que lo complementen, además, es importante señalar que independientemente del método que se utilice, la fuerza motriz siempre deberá ser la teoría en su constante evolución

4.5.1 ETAPA INICIAL: REQUERIMIENTOS

El primer paso tiene como objetivo identificar las necesidades del proceso de diseño. Basado en la identificación de necesidades, se realiza un análisis funcional para definir las funciones globales del sistema en general. Este análisis debe definir tres tipos diferentes de funciones:

- 1) La función principal del sistema consiste en generar agua para satisfacer las necesidades del usuario, haciéndolo de manera automática.
- 2) La función de restricción tiene que verificar que el sistema de control funcione correctamente junto con el sistema de refrigeración y así poder garantizar el funcionamiento de este.
- 3) La función complementaria del producto sería un dispositivo capaz de generar agua de manera automática.

La solución final dependerá en gran medida de este análisis: la mayoría de las diferencias entre dos productos que tienen las mismas funciones principales resultan de la restricción y las funciones complementarias.

4.5.2 CICLO A DE LA METODOLOGÍA EN V

En el primer ciclo de del método, se habla de manera detallada cada etapa en el ciclo A.

4.5.2.1 Etapa I: Nivel de los Sistemas

En la primera etapa, se descomponen las funciones expresadas en el paso anterior para obtener los sistemas, luego las funciones técnicas y elementales, véase la ilustración 17.

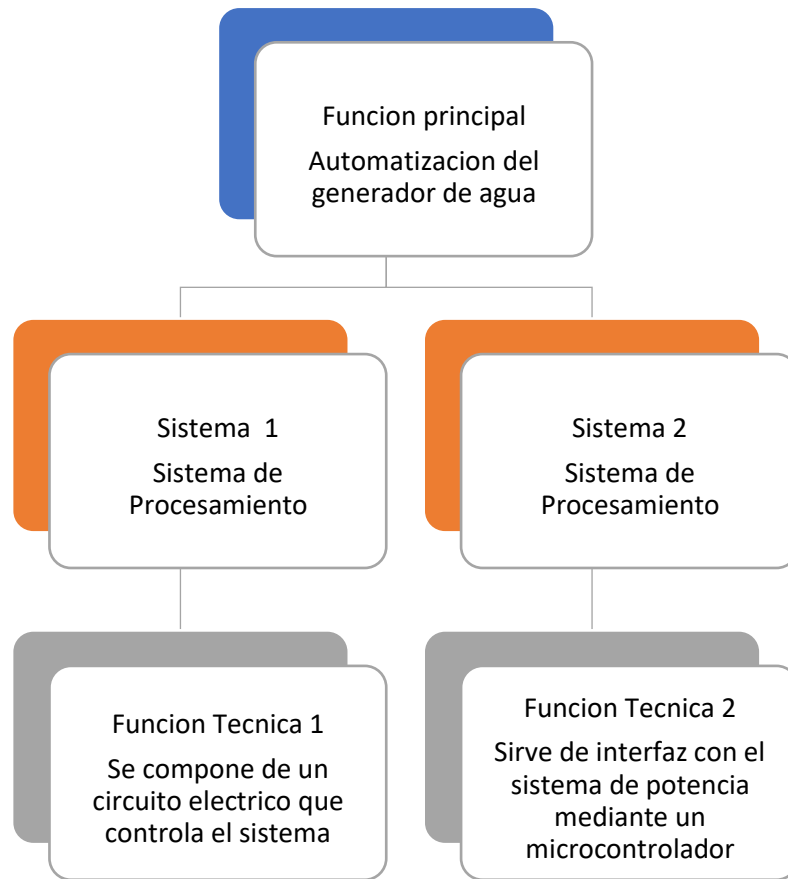


Ilustración 17-Arquitectura de Funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.2 Etapa II: Nivel de los Subtemas

En la segunda etapa, se menciona cada sistema previamente mencionado con su respectivo subsistema:

- 1) Sistema de control, conformado por un circuito electrónico capaz de enviarle las señales de activación al sistema.
- 2) Sistema de procesamiento, conformado por un microprocesador que sea capaz de procesar y traducir las condiciones atmosféricas y enviar las señales presentes en tiempo real.

4.5.2.3 Etapa III: Realización de Partes

En la tercera etapa, se desarrolló el circuito en el software Proteus, en donde se busca diseñar el circuito de la placa en físico, junto con la ubicación de cada componente necesario para ejercer un control sobre el sistema de refrigeración y así mismo obtener

el mejor rendimiento espacial. Posterior a la impresión, se tomó en cuenta el proceso de soldadura que se llevaría a cabo para el desarrollo del circuito, aquí, se determinaron riesgos de posibles fallos en las soldaduras como ser bolas de soldadura, puentes de soldadura, entre otros. Además, a este circuito, se verifico que todas las conexiones sean las adecuadas para su correcto funcionamiento.

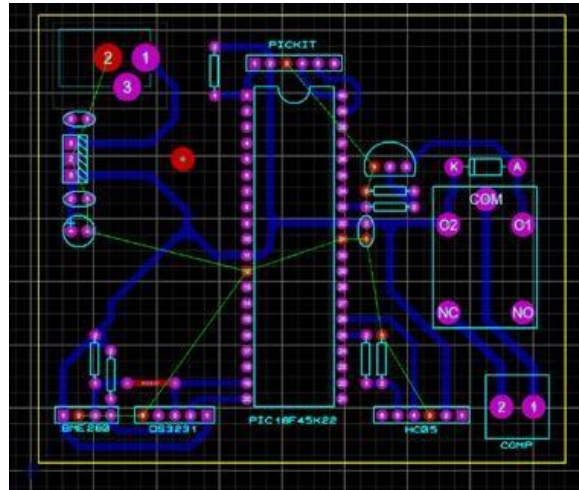


Ilustración 18-Diseño del circuito electrónico

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.4 Etapa IV: Integración de Partes

En la cuarta etapa, luego de haber verificado la integridad del circuito en Proteus en la etapa anterior. Se procedió a la simulación de este circuito, para ello, se determinó la necesidad del desarrollo del código necesario para ejecutar el control del proceso de producción de agua. Este código sería simulado en un microcontrolador PIC, y el código a desarrollar se hará en el software MikroC. Para determinar la funcionalidad del circuito junto con el código diseñado, se evaluará el comportamiento del circuito, observando si realiza las secuencias de manera correcta.

4.5.2.5 Etapa V: Integración de Subsistema

En la quinta etapa, se integraron todos los componentes de los subsistemas y se comprobó que su funcionamiento en conjunto fuera exitoso. Se realizaron diferentes pruebas experimentales para cada sistema.

4.5.2.6 Etapa VI: Integración de Sistemas

En la última etapa, se integraron todos los sistemas para construir el prototipo del dispositivo que todavía no estaba acoplado al sistema de refrigeración. Este paso es importante porque se realizaron las pruebas necesarias para verificar el funcionamiento en conjunto del producto. Con los resultados de las pruebas se pueden conocer los errores del sistema lo que nos da el conocimiento necesario para poder hacer los cambios necesarios en el siguiente ciclo de modelo V.

4.5.3 CICLO B DE LA METODOLOGÍA EN V

En el segundo ciclo del método en V, se analizaron los resultados del prototipo del dispositivo del primer ciclo. Y así se obtuvo conocimiento de las fallas y errores del prototipo, en este segundo ciclo se hacen los cambios necesarios poder llegar al producto funcional.

4.5.3.1 Etapa I: Nivel de los Sistemas

En la primera etapa del segundo ciclo, no se realizará ningún cambio de los requerimientos. Se mantendrán los requerimientos ya antes mencionados del ciclo A.

4.5.3.2 Etapa II: Nivel de los Subtemas

En la segunda etapa del segundo ciclo, no se adicionará o eliminará ningún subsistema. Se mantendrán los subsistemas mencionados anteriormente en el ciclo A.

4.5.2.3 Etapa III: Realización de Partes

En la tercera etapa del segundo ciclo, se define el componente de los subsistemas que presento errores en el diseño de la automatización del sistema.

- 1) Sistema de control, se obtuvo un error en el circuito electrónico a la hora de probar su funcionamiento. Debido a que no se pudo establecer conexión con el oscilador interno de la PIC. Así que se tuvo que rediseñar la placa y agregarle un oscilador externo.

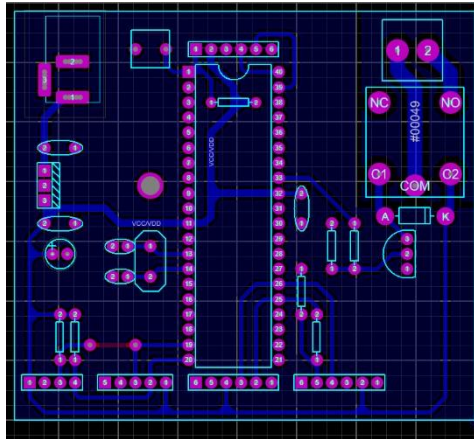


Ilustración 19-Corrección del circuito electrónico

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.4 Etapa IV: Integración de Partes

En la cuarta etapa del segundo ciclo, se realizaron las pruebas respectivas para el nuevo componente. En el sistema de potencia se logró realizar las pruebas del circuito electrónico con el nuevo diseño integrado.

4.5.2.5 Etapa V: Integración de Subsistema

En la quinta etapa del segundo ciclo, al comprobar la funcionalidad de los componentes pasamos nuevamente a la integración de los subsistemas al sistema para poder realizar las pruebas necesarias para realizar el producto que estará implementado en el sistema de refrigeración.

4.5.2.6 Etapa VI: Integración de Sistemas

Finalmente, al tener el diseño apropiado y funcionalidad se ensamblaron todos los subsistemas en el sistema de refrigeración para poder crear nuestro producto final, el dispositivo generador de agua automatizado.

4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tomando en consideración un período académico que consta de 10 semanas, se realizó un cronograma de actividades de manera secuencial, véase la ilustración 18.

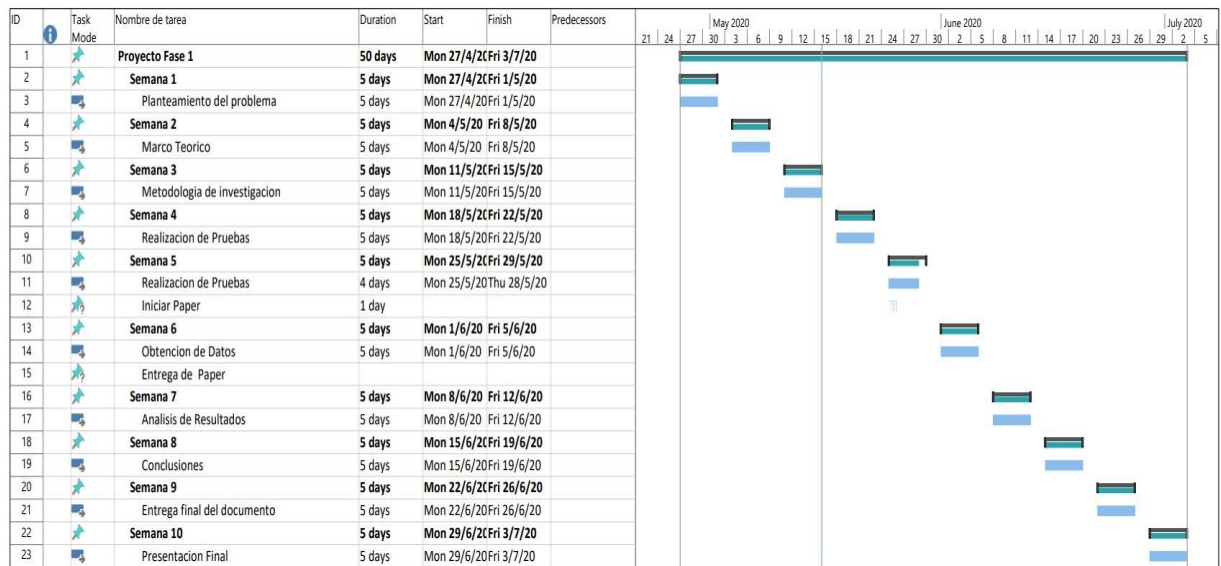


Ilustración 20-Cronograma de actividades

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se presenta y describe la implementación realizada, esto logró ser efectuado gracias al proceso de investigación realizado a través de una metodología de estudio establecida a seguir.

5.1 ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO

Con la finalidad obtener los mejores resultados del desarrollo del generador de agua, se realizó una investigación exhaustiva sobre la situación actual relacionada a la temática de estudio. En la presente investigación, toda esta información recolectada y seleccionada esta detallada en el marco teórico, capítulo 3. Se centró en los sistemas de refrigeración por compresión, aun así, existente otros tipos de sistemas de refrigeración como ser el de absorción. Se detalló tanto los elementos principales, de seguridad, control y complementarios que comúnmente son utilizados, todo ello fue detallado ya que es necesario tener en cuenta todo esto para realizar el mejor diseño posible de refrigeración, seguridad y control. Se indagó sobre la psicrometría, siendo la que permite la generación de agua a partir del aire y da funcionalidad al proyecto desarrollado. Se desarrolló un prototipo generador de agua, para esto se tomó en cuenta todos sus elementos, especialmente, sobre el área de control, de ingeniería de control, que nos permite manipular variables de entrada y salida de un sistema, siendo un sistema de lazo cerrado que fue desarrollado. Se decidió utilizar un microprocesador PIC que funcionó como el cerebro de todo el sistema, además, de ello, fueron instalados diversas entradas o sensores que permitieron determinar la situación actual del sistema, estos sensores se detallan dentro del marco teórico.

5.2 CICLO A

El ciclo A de la metodología consta de seis etapas que se detallaran a continuación:

5.2.1 ETAPA I: DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS

1. Sistema de control conformado por un circuito electrónico capaz de enviarle las señales de activación al sistema de refrigeración.
2. Sistema de procesamiento se compone de un microcontrolador con la

capacidad de traducir las condiciones atmosféricas captadas por los sensores.

5.2.2 ETAPA II: DEFINICIÓN DE LOS SUBSISTEMAS

Después de definir cada sistema se continua a determinar los subsistemas.

Subsistemas de control:

1. En el circuito electrónico, el relé es el encargado de encender y apagar el compresor según el tiempo establecido en la programación.
2. BME280, el sensor encargado de enviar las señales captadas de las condiciones atmosféricas.
3. DS3231, un módulo reloj en tiempo real, para indicar cuando se tienen que tomar las lecturas.

Subsistemas de procesamiento:

1. Microcontrolador se encarga de procesar la información que estará emitiendo el sensor y así enviarle las señales de activación al sistema de potencia.
2. Programación es importante ya que es la que dictara cada cuanto tiene que encender y apagar el compresor y cada cuanto estará realizando las lecturas.

5.2.3 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES

Subsistemas de control

- Circuito eléctrico: se desarrolló el circuito en el software Proteus. Los componentes que se utilizaron para realizar el circuito electrónico se presentan en la tabla 3.
- BME280: se eligió este sensor ya que nos ofrece los datos que se requieren para la investigación. Siendo estos: Temperatura, Humedad y presión.

Tabla 3-Componentes del sistema de control

Componente	Cantidad
BME280	1
DS3231	1
Modulo Bluetooth HC-05	1
MOSFET 2N7000	1
Diodo Rectificador 1N4007	1

Relé de 5V	1
Resistencia de 10K ¼ W	4
Resistencia de 1K ¼ W	2
Resistencia de 2.2K ¼ W	1
Conector Barril	1
Regulador de Voltaje 5V LM7805	1
Capacitor Cerámico 100nF	3
Capacitor Cerámico 22pF	2
Capacitor Electrolítico 100uf	1
Bornera Doble	1
Oscilador 8MHz	1

Fuente: Elaboración Propia

Subsistemas de Procesamiento

- Microcontrolador: Este será el encargado de hacer entendibles los valores captados por el BME280 y transmitir las señales para activar o desactivar el relé.

5.2.4 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES

Siguiendo los pasos de la metodología se realizaron las pruebas de los componentes que se utilizaron en los subsistemas.

5.2.4.1 BME280

Para realizarle pruebas al BME280, se realizó una programación sencilla en la que un módulo bluetooth HC-05 nos enviara las lecturas tomadas por el sensor a través de UART1. El protocolo de comunicación usado por el BME280 es de I2C, correspondiente a los puertos RD0 (SCL) y RD1 (SDA). Usando datos seriales por medio de I2C se leyeron estas lecturas y con la ayuda del datasheet del módulo se creó una librería que facilitaba el uso del sensor y la conversión de datos a un formato más aceptable (float).

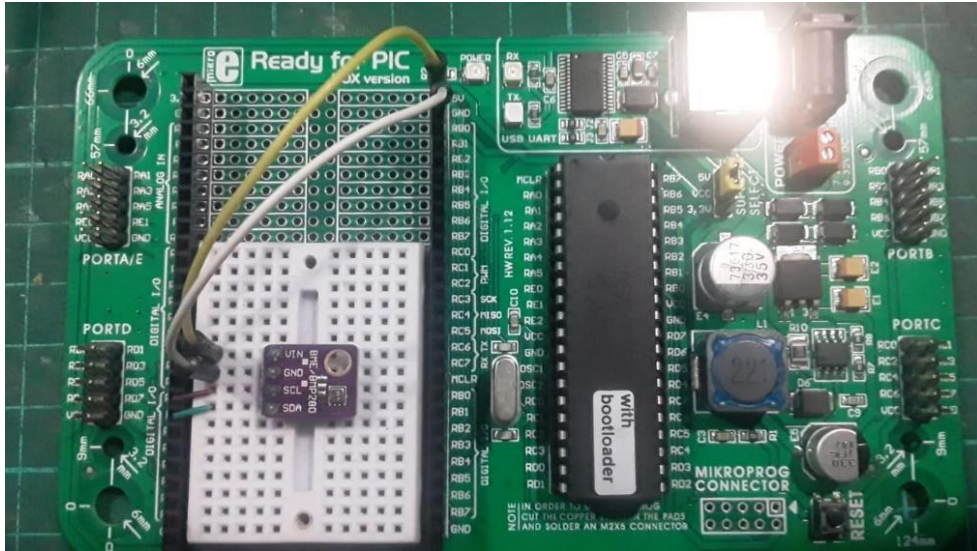


Ilustración 21-Placa electrónica física

Fuente: Elaboración Propia

Para esta prueba se realizó una programación sencilla en la que el sensor tomara lecturas atmosféricas y la enviara a la PIC. La PIC se encarga de descomponer la información obtenida del sensor y enviarlas a un dispositivo móvil por medio del módulo bluetooth HC-05. Los valores obtenidos en la ilustración 22, se presentan con las siguientes unidades: Temperatura [°C], Presión [Pa] y Humedad [%] en relativo.

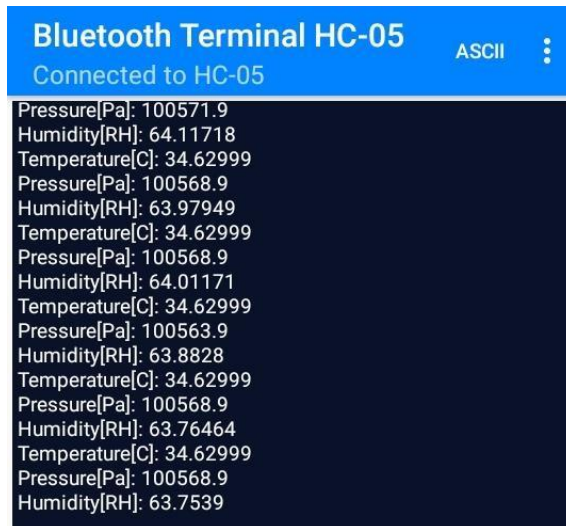


Ilustración 22-Lecturas del sensor

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4.2 Circuito Electrónico

Se desarrolló el circuito en físico, para esto, inicialmente, fue impreso el circuito diseñado con anterioridad sobre la placa electrónica. Seguidamente, cada componente fue soldado correctamente. Para validar la integridad de este circuito, se realizaron pruebas de voltaje y continuidad.

El circuito está basado en un microprocesador PIC18F45k22, este controla el compresor por medio de un relé el cual es activado por el pin 33 (RB0). El relé tiene un mosfet como driver, con R5 para amarrar la puerta a GND y un diodo reverso para evitar el voltaje inducido por el relé. El conector barril y un regulador de 5V, con esto se puede conectar a fuentes de 12V comunes. También está un conector hembra por el cual se puede programar la PIC con la PICKIT. La comunicación con la PIC se hace a través del I2C (BME280 y DS3231) y UART1 (HC-05). Todo esto se muestra en la ilustración 23.

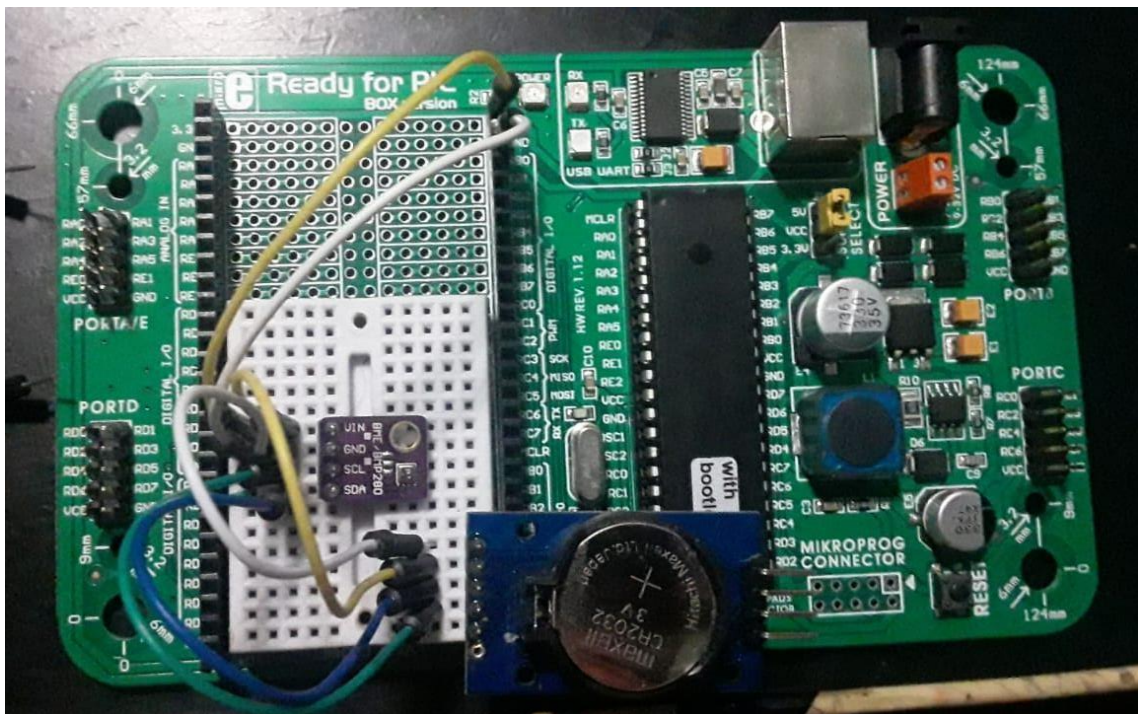


Ilustración 23-Circuito electrónico

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4.3 Programación

La programación del sistema se basa en escribir y leer los registros de cada componente. Por ejemplo, en el caso del DS3231 hay 7 registros los cuales guardan el tiempo: segundos, minutos, horas, día de la semana, día del mes, mes y año. Lo que hace la

programación es leer cada registro y asignarle ese valor a una variable. Normalmente se aplica una fórmula, la cual nos la proporciona el datasheet del componente.

Ahora, para el BME280 no solo leemos y aplicamos una simple fórmula, sino que hay un proceso complejo para poder obtener una lectura entendible. Se tiene que leer registros de compensación, crear variables de esos registros, leer los registros del ADC de cada sensor (Temperatura, Humedad y Presión), aplicar fórmulas de compensación y convertirlos a formato float para que sean entendibles. Igual, toda esta información nos la proporciona el datasheet del componente ya explicado. Con dicha información se realizó una librería, la cual se ejecuta juntamente con la programación principal. Lo que hacen estas librerías es que facilitan el uso de los componentes, en lugar de hacer todo este proceso complejo anteriormente explicado, solo se llama una función, en este caso `Read_BME280()`, y de esa forma obtenemos valores entendibles.

5.2.5 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS

En la etapa cinco se integran las partes de los subsistemas para probar su comportamiento en conjunto.

5.2.5.1 SUBSISTEMA DE CONTROL

Al terminar la programación de los sensores se realizaron pruebas en una protoboard, se enviaron las lecturas a un dispositivo móvil por medio del módulo bluetooth HC-05.

En la ilustración 24, se muestra las respuestas sé que obtuvieron.

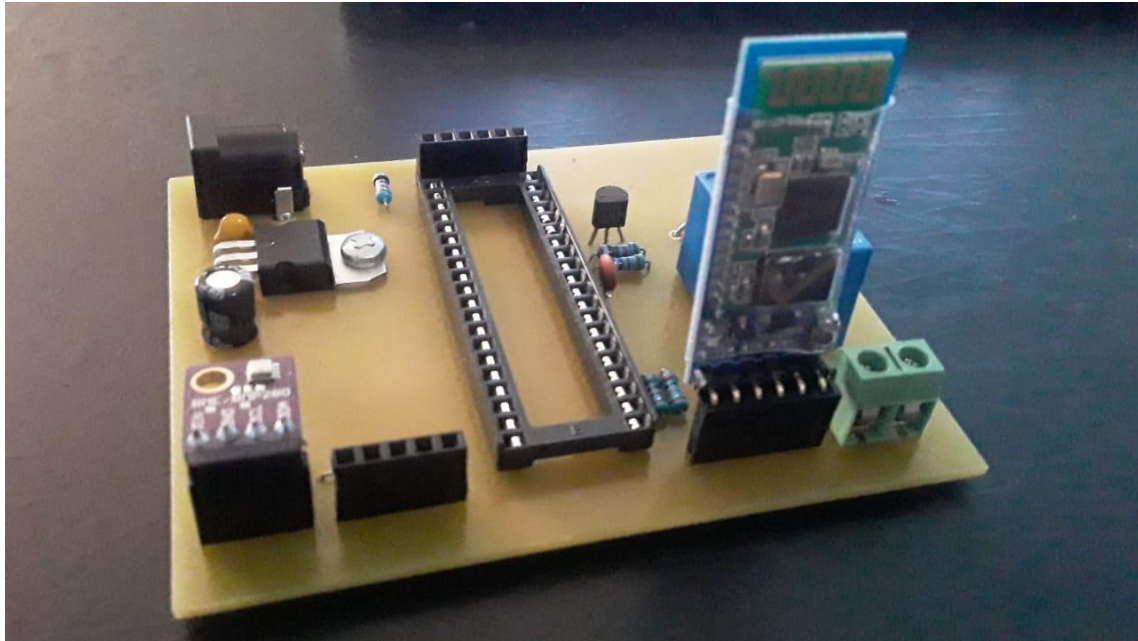


Ilustración 24-Circuito final

Fuente: Elaboración Propia

Para esta prueba se realizó una programación sencilla, en la que el BME280 realiza lecturas atmosféricas cada minuto, el tiempo entre las mediciones es controlado con el DS3231. Los valores obtenidos en la ilustración 25, se leen de la siguiente manera:
Hora-minuto-día-mes-temperatura -presión-humedad.

```
Bluetooth Terminal HC-05
Connected to HC-05
[10 Jun 2020 8:58:24 pm] ASCII:
020-057-010-006-24.21999-100819.9-46.53222
020-058-010-006-24.23999-100827.9-45.99706
020-059-010-006-23.75999-100829.9-45.81054
021-000-010-006-23.43999-100826.9-44.91503
021-001-010-006-23.41999-100836.9-44.80663
021-002-010-006-23.41999-100842.9-48.88085
021-003-010-006-23.64999-100846.9-51.41992
```

Ilustración 25-Lecturas del sensor con el DS3231 integrado

Fuente: Elaboración Propia

En conjunto con todo esto, se realizó una interfaz del software, que permite una mayor facilidad de control sobre el sistema diseñado, en la ilustración 26, se muestra esta interfaz.

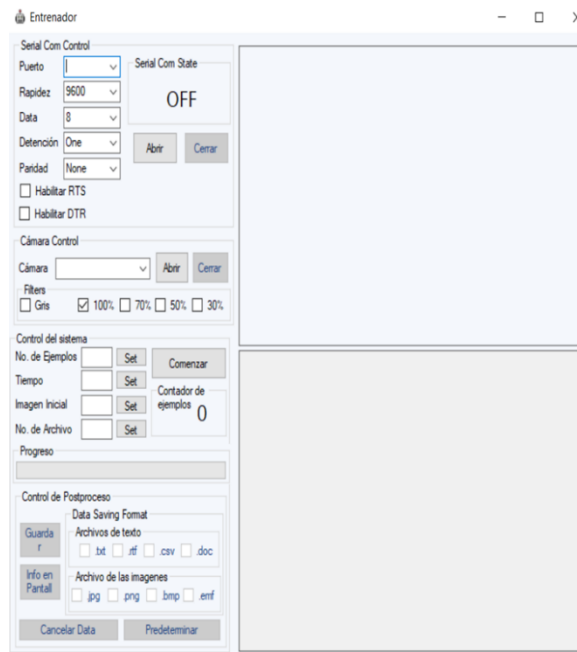


Ilustración 26-Interfaz del software

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6 ETAPA VI: PROTOTIPO DE LABORATORIO

Al realizar todas las etapas se logró realizar un prototipo de laboratorio que nos ayudó a determinar las fallas que se presentaron al integrar todos los sistemas. La detección de estas fallas nos ayudó a la realización de las etapas del segundo ciclo de la metodología.

5.3 CICLO B

En el ciclo fueron realizadas diversas pruebas que pusieron en funcionamiento el sistema de adquisición diseñado en el ciclo anterior.

5.3.1 ETAPA III: REALIZACIÓN DE PARTES

Inicialmente, el generador de agua empezó su funcionamiento, con una duración total de 4 horas con 12 minutos. A lo largo de este tiempo se fue tomando lectura de diversas variables que afectan la producción de agua. Uno de los datos obtenidos fue el comportamiento visual del evaporador, siendo en este elemento del sistema de refrigeración en donde se genera el agua. Para posteriormente, realizar un análisis de valores RGB, que permite visualizar la generación de agua.

Con la finalidad de realizar este análisis de valores RGB, fue necesario obtener imágenes de evaporador, por esta razón, a lo largo de las 4 horas con 12 minutos se tomó captura del mismo, estas imágenes fueron tomadas cada 1 minuto. Fueron obtenidas un total de 252 imágenes del comportamiento del evaporador, en escala de grises. Con el propósito de analizar el color dominante en cada imagen y de tal manera, observar el congelamiento y descongelamiento del evaporador. En la ilustración 27, se muestra algunas de las imágenes obtenidos para realizar el respectivo análisis de valores RGB en escala de grises.

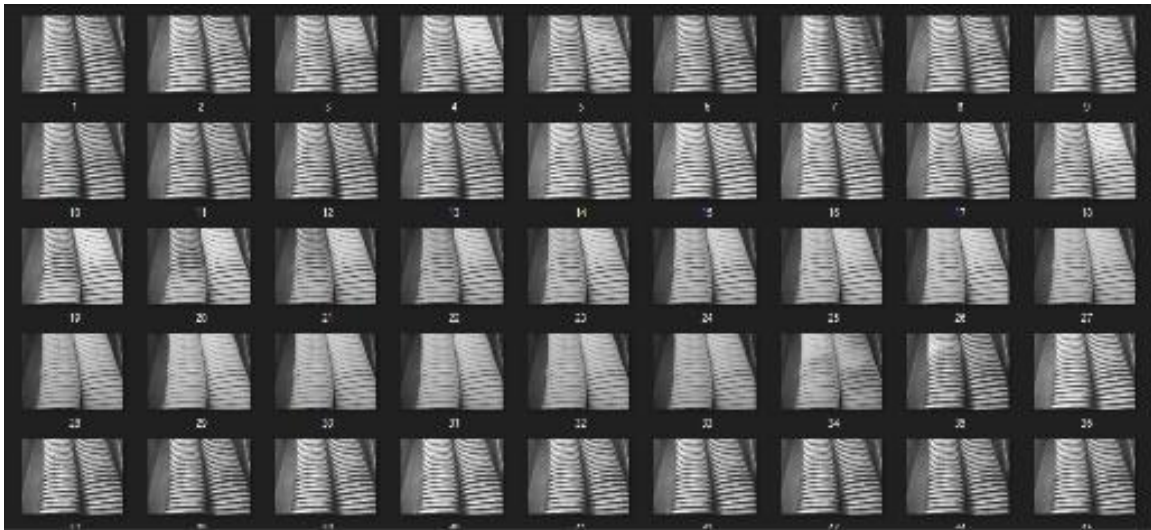


Ilustración 27-Imágenes del evaporador

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE PARTES

Una vez obtenidas las imágenes que permitieron analizar el comportamiento RGB. Se procedió a la obtención de los valores de RGB de cada una de las imágenes, determinando el valor determinante en la escala de grises. En la ilustración 28, se presentan los resultados obtenidos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los valores RGB dominante de las escala de grises de las imágenes obtenidos, se logró determinar los valores más altos, representan el color blanco en la imagen. Este color hace referencia al hielo que posee el evaporador, es decir, cuando la imagen detectada posee este valor de RGB es cuando el evaporador cuenta con una mayor cantidad de hielo, y al momento de reducir esta valor de RGB, se refiere que el color oscurece, esto indica, que el hielo del evaporador se ha derretido, y

se ha generado el agua esperado, permitiendo al nuevo ciclo de refrigeración realizar más hielo, para la posterior producción de agua.

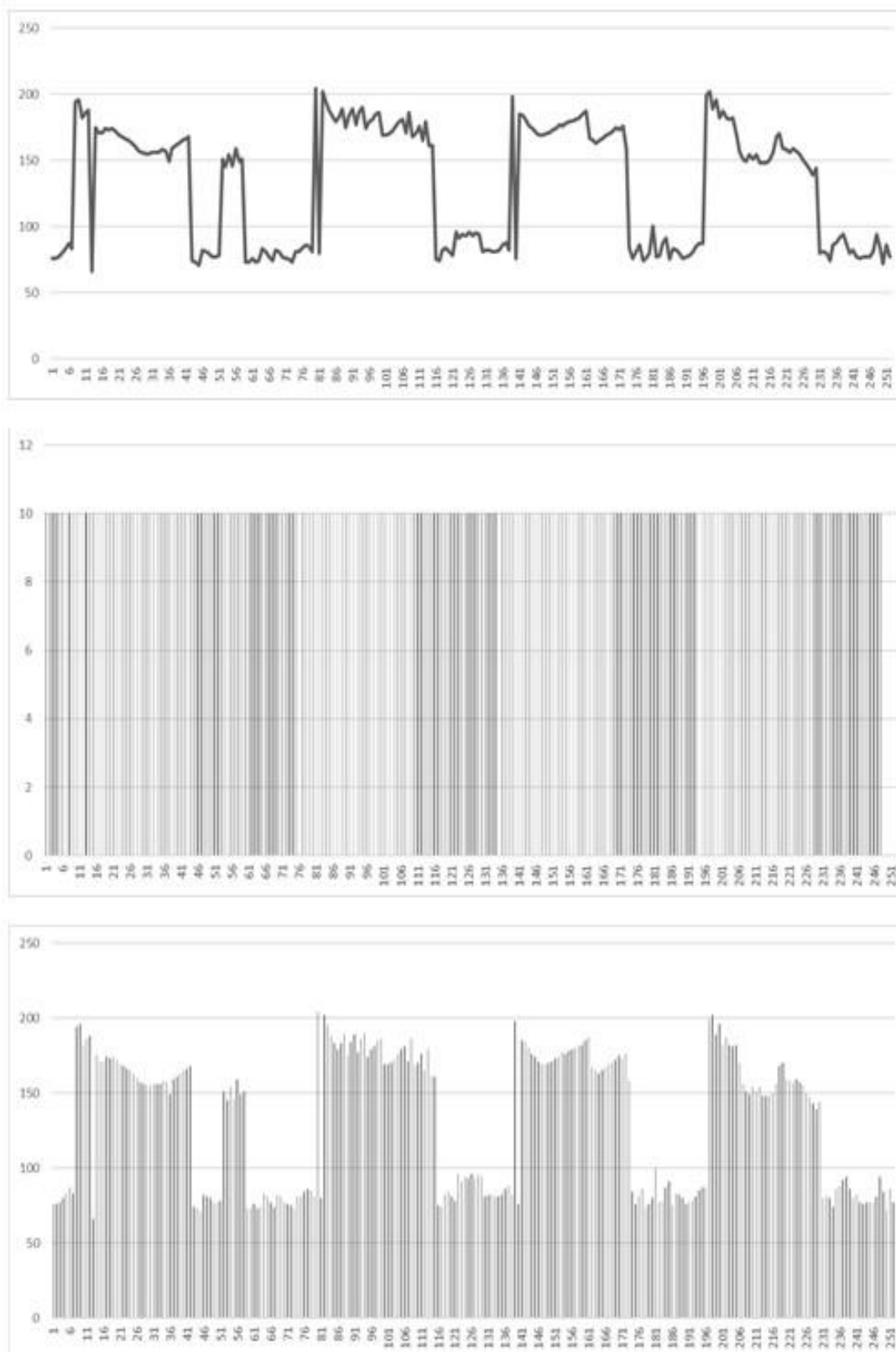


Ilustración 28-Valores RGB

Fuente: Elaboración Propia

Además del comportamiento de los valores RGB, fueron analizadas otras variables que influyen en la producción de agua final. Una de estas variables importantes que influyen en la producción de agua fue la temperatura ambiente. Se tomó lectura de la temperatura en la prueba de 4 horas con 12 minutos a través del sistema de adquisición de datos. En la ilustración 29, se presenta el comportamiento obtenido de la temperatura.

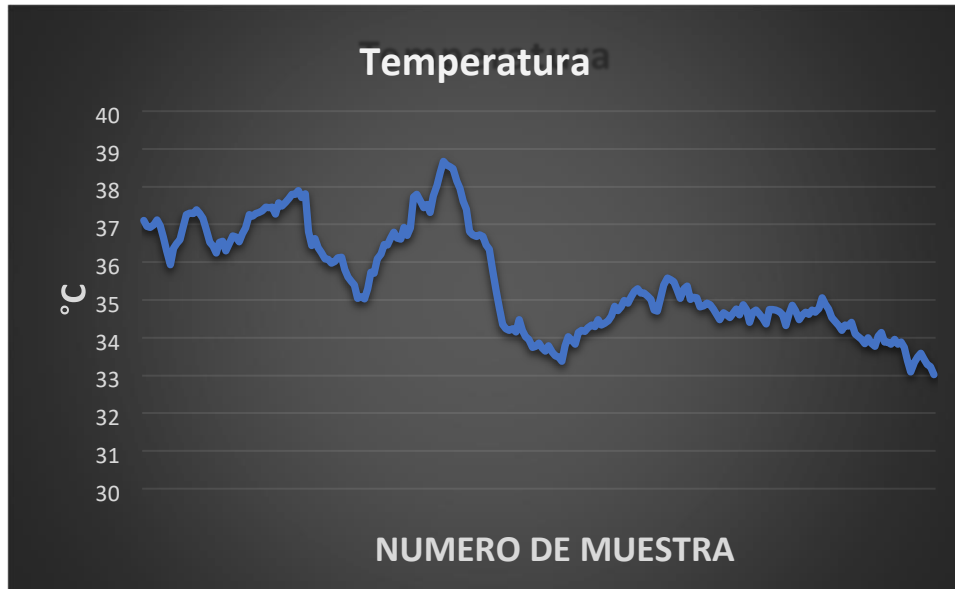


Ilustración 29-Comportamiento de la temperatura

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de la lectura de la temperatura, ver ilustración 29, se determinó que la temperatura osciló entre 33 a 39 °C a lo largo de las más de 4 horas de duración de la prueba realizada. Además de ello, se tomó lectura de la presión ambiental encontrada, en la ilustración 30, se presenta el comportamiento de la presión, dado en valores de pascal.

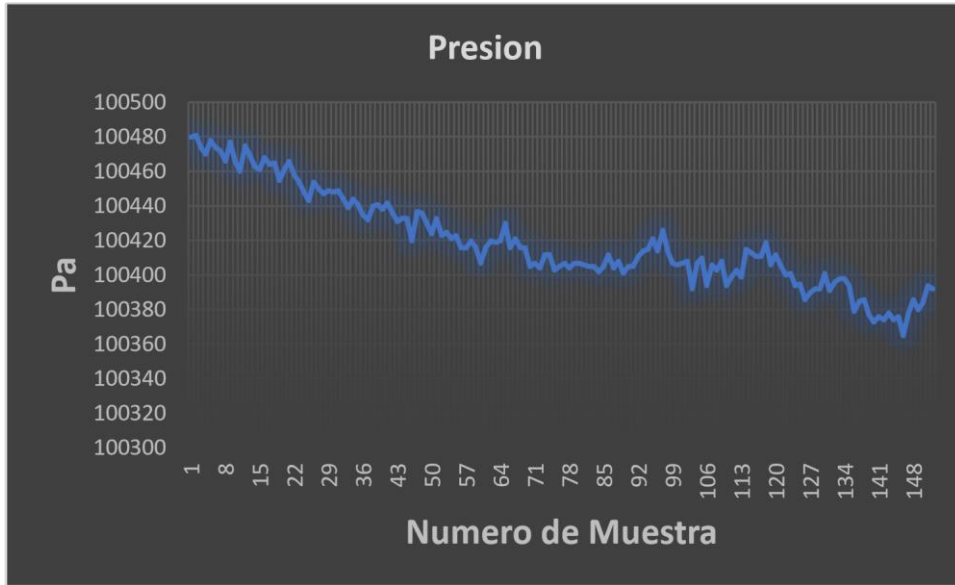


Ilustración 30-Comportamiento de la presión

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados mostrados en la ilustración 30, a lo largo de toda la prueba realizada, se determinó que la presión no obtuvo mucha varianza, de hecho esta solamente osciló de 100.60 a 100.80 kPa. Como última variable de la cual se obtuvo lectura en la primera prueba fue la humedad relativa. En la ilustración 31, se muestra el comportamiento obtenido de ella, los valores fueron en %HR.

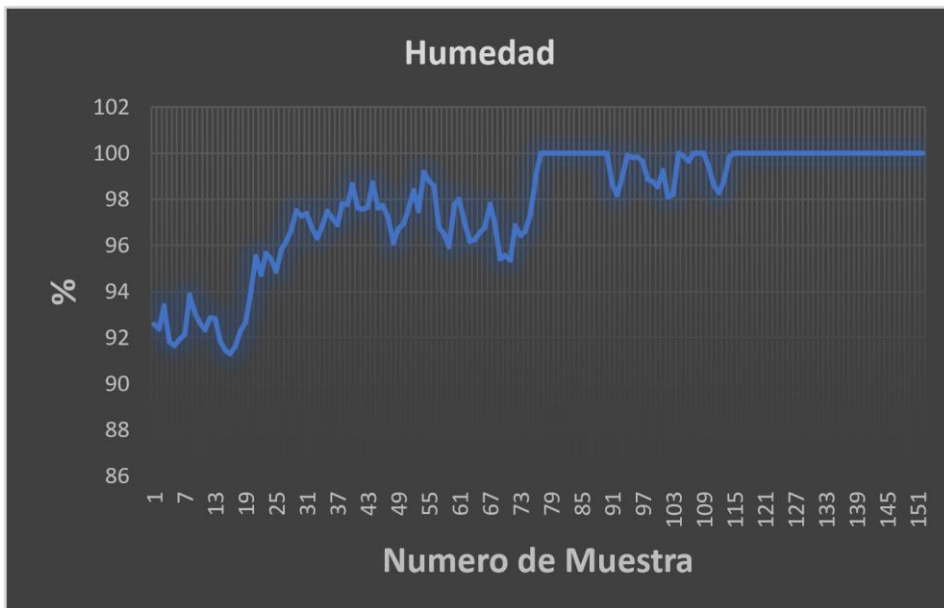


Ilustración 31-Comportamiento de la humedad relativa

Fuente: Elaboración Propia

También, fue determinado el comportamiento del punto de rocío, el cual es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse, a medida que disminuye la temperatura de una masa de aire, va disminuyendo la capacidad que tiene para contener vapor de agua, es decir, va disminuyendo la humedad relativa de ésta, si dicha masa de aire continúa enfriándose llegará un momento en que el aire alcanzará el punto de saturación y, a partir de ahí, podrá producirse la condensación. En la ilustración 32, se presenta el comportamiento del punto de rocío.



Ilustración 32-Comportamiento del punto de rocío

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados de la ilustración 32, se obtuvo un punto de rocío promedio de 33.82 °C. Con este promedio junto con el valor RGB se logró calcular el volumen, el comportamiento obtenido se muestra en la ilustración 33.

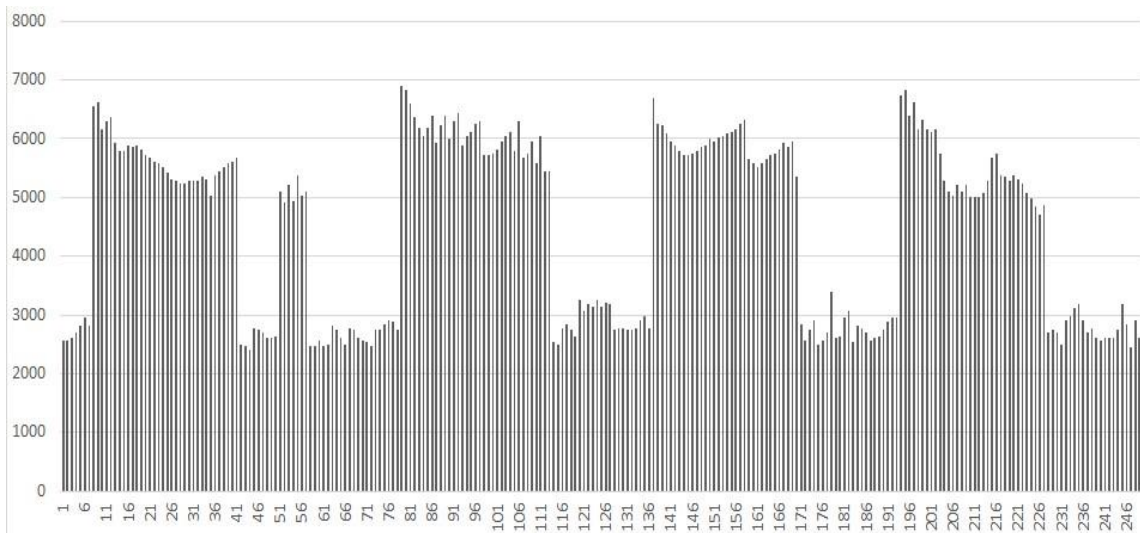


Ilustración 33-Comportamiento del volumen

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS

Posteriormente, se realizó la segunda prueba. Esta tuvo una duración de 2 horas con 37 minutos. En esta segunda prueba se analizó la cantidad de agua producida en mililitros por cada ciclo. Se tomó lectura del comportamiento de las variables de observación. En la ilustración 34, se muestra la cantidad de agua por ciclo.

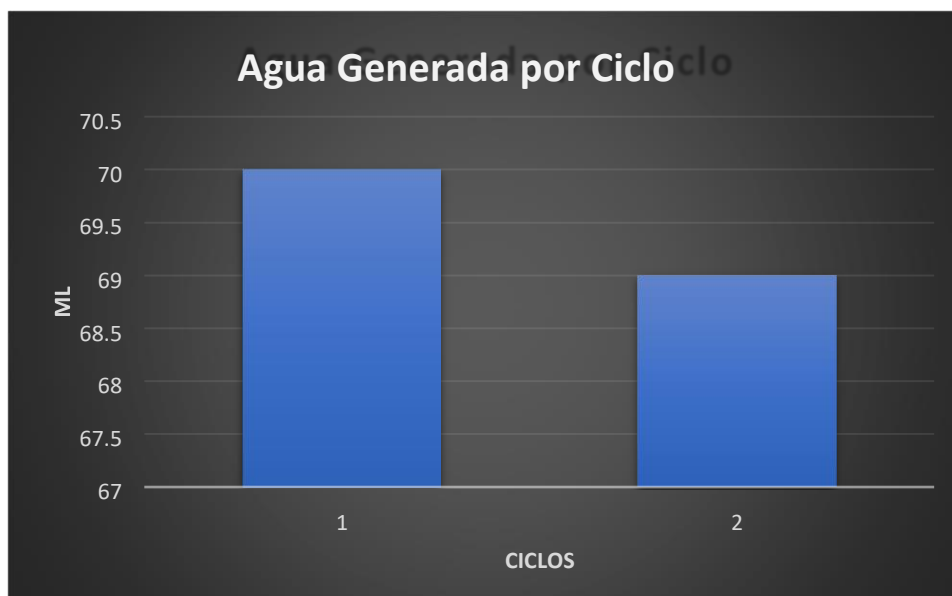


Ilustración 34-Cantidad de agua por ciclo

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 35-Producción de agua

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 35, se presenta la producción de agua en la 2da prueba realizada con el sistema de generación de agua.

5.3.4 PRODUCTO FUNCIONAL

En el presente trabajo, fue desarrollado un sistema de adquisición de datos para un generador de agua automático. Para esto se dotó al sistema de refrigeración encargado de un sistema de control, que permitió el accionamiento del sistema de refrigeración y a la vez, obtener una retroalimentación de las variables que afectan la producción de agua, siendo estas la temperatura, la presión y la humedad relativa. Además de ello, permite un análisis de los valores RGB, del evaporador en una escala de grises. De igual manera diversas autoras han desarrollado sistemas para la adquisición de datos sobre sistemas de refrigeración.

Ishiwata et al. (2019) desarrollaron un sistema para controlar los puntos de rocío mediante el uso de un sistema de control de presión activo en un generador de humedad

estándar primario. Al usar este sistema, lograron una capacidad de ajuste a un valor objetivo de $0.0008\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la generación del punto de rocío en comparación con el valor anterior de $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$. La desviación estándar del punto de rocío obtenida con su sistema de control del punto de rocío fue 10 veces menor que la deriva observada en ausencia del sistema. Además, permite calibrar sensores de humedad a valores objetivo con mayor eficiencia.

Rostamzadeh et al. (2018) propusieron un nuevo ciclo de refrigeración por compresión de vapor de doble evaporador de doble circuito para satisfacer las demandas de aplicaciones de congelación y aire acondicionado que podrían emplearse en los sectores de la construcción. Utilizaron el expansor eyector en lugar de la válvula de expansión en el sistema de refrigeración para mejorar el rendimiento del sistema, desde el punto de vista termodinámico y termo económico. Examinaron cuatro fluidos refrigerantes diferentes, R717, R290, R600a y R134a, recomendando el R717. Gracias a estos dos campos lograron aumentar la capacidad de congelación, capacidad de aire acondicionado, el coeficiente de rendimiento (COP), la eficiencia de la exergía y el costo unitario de enfriamiento en 10.09%, 1.93%, 22.35%, 57.97% y 11.03%, respectivamente.

Wang et al. (2010) presentaron un método de medición basado en un sistema de imágenes microscópicas y tecnología de procesamiento de imágenes. Realizaron pruebas sobre el grosor de las heladas que crecen en los lados dobles de una lámina de aluminio, para observar el proceso dinámico de crecimiento de pequeños cristales de escarcha. Concluyeron que el método desarrollado es efectivo u podría usarse para medir el crecimiento de cristales de escarcha y el espesor de la capa de escarcha en una superficie fría sobre un evaporador de tubo de aletas.

Park et al. (2020) investigaron numéricamente el proceso de congelación alrededor de dos tubos de canal dispuestos consecutivamente utilizados para el intercambio de calor del evaporador. Confirmaron que el vórtice ocurrió entre el canal delantero y el canal trasero y también que el vórtice ocurrió debido al cambio rápido del canal en la parte trasera del canal trasero. Demostraron que la capa de congelación posee una tendencia a aumentar gradualmente a medida que pasaba a través de la tubería del canal.

Blanco et al. (2000) desarrollaron un dispositivo de generación de puntos de rocío de agua y metanol. A través de mediciones experimentales del punto de rocío, con una presión entre 101 KPa y 9.784 MPa y entre un rango de temperatura de 248.71 a 282.93K.

Sukusno et al. (2019) analizaron la eficiencia energética y la eficiencia de un sistema de refrigeración con temperatura de tres pasos para el proceso de congelación. Para las pruebas utilizaron un congelador a escala de laboratorio con tres válvulas de expansión para proporcional el nivel de temperatura requerido. Obtuvieron un COP total de 2.66, mayor que el COP del proceso de temperatura fija que fue de 2.40.

Ahmad et al. (2018) lograron predecir el equilibrio del punto de rocío del agua del gas natural en el proceso de deshidratación de TEG haciendo uso una red neuronal artificial (FANN). El modelo de la red neuronal mostró un buen resultado, ya que se obtuvo el coeficiente de determinación de 0.9989 y 0.9976 para los datos de entrenamiento y prueba prueba respectivamente.

Liu & Tan (2019) realizaron una investigación experimental sobre el ciclo de refrigeración por compresión de vapor utilizado en una máquina de hacer hielo con un evaporador multicanal. Los resultados obtenidos demuestran que los circuitos de enfriamiento externos tienen las mayores fluctuaciones de temperatura causadas por el gran flujo inicial de inyección de refrigerante y las perturbaciones ambientales externas. Para los circuitos de enfriamiento internos, los perfiles de temperatura relacionados de diferentes puntos de prueba tienen variaciones relativamente estables. Para reducir las fluctuaciones de temperatura de los circuitos externos, sugirieron reducir el flujo de masa de refrigerante inicial y ajustar la apertura inicial de la válvula de expansión térmica.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se logra responder las preguntas de investigación, a través de las conclusiones mostradas en el presente capítulo.

6.1 CONCLUSIÓN GENERAL

En el presente trabajo, fue desarrollado un sistema de adquisición de datos para un generador de agua automático. Para esto se dotó al sistema de refrigeración encargado de un sistema de control, que permitió el accionamiento del sistema de refrigeración y a

la vez, obtener una retroalimentación de las variables que afectan la producción de agua, siendo estas la temperatura, la presión y la humedad relativa.

6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- 1) Para el sistema de control fue necesario tomar lectura de las diversas variables que influyen en la producción de agua, incluyendo la temperatura ambiente, la humedad relativa, y fue calculado el punto de rocío. Se obtuvieron imágenes del evaporador, con la Lifecam Studio, cada minuto en los que el sistema de producción de agua se encontraba en operación, estas imágenes se encontraban en una escala de grises.
- 2) Se determinó que el punto de rocío influye grandemente en la cantidad de producción de agua final. A partir de los valores RGB mayor a 140, el evaporador empieza a rodearse por hielo, representado por el color blanco. Se tomó la diferencia entre los valores mayores a 140 con respecto al umbral definido de valor RGB, 140. Fue realizada una suma de estos valores, presentando una cantidad de valor RGB por ciclo. Se obtuvo un promedio de una sumatoria de valores RGB de 1247 por cada ciclo. Por lo tanto, al momento en que la suma de los valores RGB mayores a 140, alcance 1247, el sistema de refrigeración ya generó la máxima cantidad de hielo. Permitiendo, reducir el tiempo de secuencia de encendido del compresor. Con ello, se obtiene una producción de agua con mayor eficiencia.
- 3) Fue realizado un análisis de los valores RGB que presenta el evaporador en su funcionamiento, a partir de imágenes obtenidas en el proceso de funcionamiento del sistema de refrigeración, estas imágenes se encontraban en escala de grises.

Esto permitió determinar el comportamiento del volumen generado del agua en estado sólido para posteriormente pase a estado líquido. Esto se determinó junto con el punto de rocío calculado.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahamed, J. U., Saidur, R., & Masjuki, H. H. (2011). A review on exergy analysis of vapor compression refrigeration system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1593-1600.
- Ahmad, Z., Bahadori, A., & Zhang, J. (2018). Prediction of equilibrium water dew point of natural gas in TEG dehydration systems using Bayesian Feedforward Artificial Neural Network (FANN). *Petroleum Science and Technology*, 36(20), 1620-1626.
- Angulo Usategui, J. M. (2003). *Microcontroladores PIC: diseño práctico de aplicaciones* (3ra Ed). McGraw-Hill Interamericana.
- Barbosa Jr., J. R., Ribeiro, G. B., & de Oliveira, P. A. (2011). A State-of-the-Art Review of Compact Vapor Compression Refrigeration Systems and Their Applications. *Heat Transfer Engineering*, 33(4-5), 356-374.
- Bendapudi, S., & Braun, J. E. (2005). *A review of literature on dynamic models of vapor compression equipment*. ASHRAE Technical Report 4036-5.
- Blanco, S. T., Velasco, I., Rauzy, E., & Otín, S. (2000). Dew points of ternary methane + water + methanol. Measurement and correlation. *Canadian Journal of Chemistry*, 78, 1587-1593.
- Britto, F. (2016). Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCC*, 35-41.
- Brown, R. N. (1997). *Compressors: Selection and Sizing* (2nd Ed). Gulf Publishing Company.
- Buzelin, L. O. S., Amico, S. C., Vargas, J. V. C., & Parise, J. A. R. (2005). Experimental development of an intelligent refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 28(2), 165-175.

- Catano, J., Zhang, T., Wen, J. T., Jensen, M. K., & Peles, Y. (2013). Vapor compression refrigeration cycle for electronics cooling – Part I: Dynamic modeling and experimental validation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 66, 911-921.
- Chávez, R., & Costas, M. (2015). *PSICROMETRÍA. Principios y protocolos experimentales diversos* (1ra ed.). UNAM, Facultad de Química.
- Corbin, A. S. (2002). *Bases de la investigación cualitativa, Técnicas y Procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Cosgrove, W. J., & Rusberman, F. R. (2020). Challenge for the 21st Century: Making Water Everybody's Business. *Sustainable Development International*, 2, 149-156.
- Dahmani, A., Aidoun, Z., & Galanis, N. (2011). Optimum design of ejector refrigeration systems with environmentally benign fluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(8), 1562-1572.
- Daikin. (2004). *Air Conditioning and Refrigeration Equipment: Service Manual* (Si-18). DAIKIN Europe N. V.
- Dormido, S. (2004). Control learning: Present and future. *Annual Reviews in Control*, 28(1), 116-136.
- Fenton, D. L. (2016). *Fundamentals of Refrigeration* (2nd Ed). ASHRAE Learning Institute.
- Franco Lijó, J. M. (2012). *Manual de Refrigeración* (1ra ed). Editorial Reverté, S. A.
- Guérin, B. A. (2018). *ASP.NET con C# en Visual Studio 2017 Diseño y desarrollo de aplicaciones Web*. Ediciones ENI.

- Guzmán, J. L., Aström, K. J., Dormido, S., Hagglund, T., Berenguel, M., & Piguet, Y. (2008). Interactive learning modules for PID control. *IEEE Control Systems Magazine*, 28(5), 118-134.
- Guzmán, J. L., Costa Castelló, R., Berenguel, M., & Dormido, S. (2012). *Control automático con herramientas interactivas*. PEARSON EDUCACIÓN, S. A.
- Hallberg, J., Nilsson, M., & Synnes, K. (2003). Positioning with Bluetooth. *10th International Conference on Telecommunications, 2003. ICT 2003.*, 2, 954-958.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5a ed). McGraw-Hill.
- Ishiwata, N., Niwa, T., & Abe, H. (2019). Accurate and precise dew-point control system based on active pressure control in two-pressure humidity generator. *Review of Scientific Instruments*, 90(7), 076104.
- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de control automático* (7ma Ed). Pearson Prentice Hall.
- Lawrence, N., & Elbel, S. (2014). Experimental investigation of a two-phase ejector cycle suitable for use with low-pressure refrigerants R134a and R1234yf. *International Journal of Refrigeration*, 38, 310-322.
- Liu, Z., & Tan, H. (2019). Thermal performance of ice-making machine with a multichannel evaporator. *International Journal of Green Energy*, 16(7), 520-529.
- Mandado Pérez, E. (2007). *Microcontroladores PIC: Sistema Integrado para el Autoaprendizaje*. Marcombo, S. A.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), 1-3.

- MIKROE. (2020). MikroC. *MikroElectronika d. o. o.* <https://www.mikroe.com/mikroc-pic>
- Murthy, A. A., Subiantoro, A., Norris, S., & Fukuta, M. (2019). A review on expanders and their performance in vapour compression refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 106, 427-446.
- Ogata, K. (2002). *Sistemas de control en tiempo discreto* (2da Ed). Pearson Educación de México S.A. de C.V.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna* (4ta Ed). Pearson Prentice Hall.
- Park, Y. S., Seong, H. S., & Suh, J. S. (2020). Numerical Analysis of Freezing Phenomena of Water around the Channel Tube of MF Evaporator. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 19(1), 114-120.
- Pilatowsky Figueroa, I. (2002). *Psicrometría: Métodos de humidificación y dehumudificación y sus aplicaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rasmussen, B. P. (2004). Control-Oriented Modeling of Transcritical Vapor Compression Systems. *Trans, ASME*, 126, 54-64.
- Rosegrant, M. W., Cai, X., & Cline, S. A. (2002, septiembre). Panorama Global del Agua Hasta el Año 2025: Como impedir una crisis inminente. *International Food Policy Research Institute (IFPRI), International Water Management Institute (IWMI)*.
- Rostamzadeh, H., Rostamzadeh, J., Matin, P. S., & Ghaebi, H. (2018). Novel dual-loop bievaporator vapor compression refrigeration cycles for freezing and airconditioning applications. *Applied Thermal Engineering*, 138, 563-582.
- Sarkar, J. (2012). Ejector enhanced vapor compression refrigeration and heat pump systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 66476659.

- Selvaraju, A., & Mani, A. (2006). Experimental investigation on R134a vapour ejector refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 29(7), 1160-1166.
- Sukusno, P., Agus Setiawan, R. P., Purwanto, Y. A., & Tambunan, A. H. (2019). Exergy analysis of refrigerator for a three steps freezing process. *Cogent Engineering*, 6(1), 1637621.
- Sumeru, K., Nasution, H., & Ani, F. N. (2012). A review on two-phase ejector as an expansion device in vapor compression refrigeration cycle. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4927-4937.
- UNESCO. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (WWAP)*.
- Valdes, F., & Pallás Areny, R. (2007). *Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC*. Marcombo, S. A.
- Wang, D., Tao, T., Kang, S., & Xu, G. (2010). Non-contact frost thickness measurement by using a micro-camera and image processing technology. *2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 288-293.
- Wirz, D. (2010). *Commercial Refrigeration for Air Conditioning Technicians*. Delmar Cengage Learning.