



## **UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE AUTOBUSES.**

**Autor(es):**  
Albany Aguirre  
CI.: V-26.267.537  
José Ferrer  
CI.: V-25.903.745

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA  
EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE AUTOBUSES.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA.**

**Autor(es):**  
Albany Aguirre  
CI.: V-26.267.537  
José Ferrer  
CI.: V-25.903.745  
**Tutor:** Ing. Antonio Rodríguez

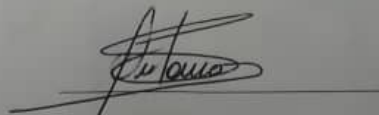


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

#### ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Antonio Rodríguez, titular de la cédula de identidad V-14923464, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el(los) ciudadano(s) Aguirre Albany, Ferrer José, portador (es) de la cédula de identidad N° V-26.267.537, V-25.903.745, (respectivamente), titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE AUTOBUSES”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Electrónica, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 04 DÍAS DEL MES DE OCTUBRE del año 2019

  
Ing. Antonio Rodríguez.  
C.I.: V-14923464



FLF-001-2019-2CR (I.G.)

Valencia, 19 de Julio de 2019

Ciudadanos:  
Albany Aguirre  
C.I:26.267.537  
José Ferrer  
C.I:23.903.745  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 19-07-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE AUTOBUSES**, Presentado por usted (es) como requisitos para optar al título de Ingeniero en Electrónica.

Se ratifica la designación del Ing. Antonio Rodríguez C.I:14.923.464 y la Ing. Alicia De Pizzella C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos y Metodológicos que los asesoraran en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



**Prof. Luis Lira**  
Decano de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

Llle

## ÍNDICE GENERAL

	Pp.
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance de la Investigación.....	6
1.6 Limitaciones .....	6
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Bases teóricas .....	9
2.2.1 Temperatura.....	9
2.2.2 Climatización.....	9
2.2.3 Funcionamiento de la refrigeración de aire .....	9
2.2.4 Instrumentos de medición de temperatura.....	11
2.2.4.1 Sensores de Temperatura .....	12
2.2.4.3 Termistor .....	14
2.2.4.4 RTD.....	14

2.2.5 Sistemas de Control .....	16
2.2.5.1 Objetivos de los Sistemas de Control.....	16
2.2.5.2 Clasificación de los sistemas de control.....	16
2.2.5.3 Controlador PID .....	17
2.2.6 Arduino .....	20
2.2.7 Matlab .....	23
2.2.8 Interfaz HMI .....	25
2.3 Definición de términos básicos .....	26

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Tipo de investigación .....	28
3.2 Diseño de la investigación.....	28
3.3 Nivel de la investigación .....	29
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos .....	29
3.5 Fases de la Investigación.....	31
3.6 Población y muestra .....	32

### **IV RESULTADOS**

4.1 Fase I .....	33
4.1.1 Sistemas de aire acondicionado .....	34
4.1.2 Parámetros que rigen el comportamiento del sistema de aire acondicionado .....	37
4.2 Fase II .....	54
4.2.1 Unidad de control Arduino Uno .....	55
4.2.2 Sensor de Temperatura RTD .....	57
4.2.2.1 Conexión de dos hilos .....	58
4.2.3 Sensor de presión .....	59
4.3 Fase III.....	41
4.3.1 Análisis del Lugar Geométrico de las Raíces .....	42

4.3.1.1 Reglas para la construcción del Lugar Geométrico de las Raíces (LGR): .....	43
4.3.2 Diseño del PID como método de control de temperatura del sistema .....	45
4.3.2.1 Parámetros para el control de temperatura del sistema .....	45
4.3.2.2 Análisis del LGR para el control del sistema de temperatura .....	47
4.3.2.4 Añadiendo un controlador PD.....	49
4.3.2.5 Añadiendo un controlador PI .....	50
4.3.2.6 Añadiendo un controlador PID .....	52
4.4 Fase IV .....	60
4.4.1 Software de Programación LABVIEW .....	60
4.4.2 Plataforma de desarrollo Arduino.....	61
4.4.3 Diseño de la interfaz HMI .....	63
4.4.3.1 Diseño de la conversión analógica-digital en el software Arduino.....	64
4.4.3.2 Diseño de la comunicación entre Arduino y LABVIEW.....	65
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Símbolo de un RTD.....	15
Figura 2. Sistemas de Control básico.....	16
Figura 3. Diagrama de bloques de un controlador PID en lazo realimentado .....	18
Figura 4. Comportamientos del PID .....	19
Figura 5. Arduino Uno .....	21
Figura 6. Etapas del proceso de refrigeración.....	39
Figura 7. Sistema de control de lazo cerrado .....	55
Figura 8. Placa Arduino UNO.....	57
Figura 9. Conexión de dos hilos de un RTD.....	59
Figura 10. Diagrama en lazo cerrado .....	42
Figura 11. Parámetros del sensor RTDPT100.....	46
Figura 12. LGR de la función .....	48
Figura 13. Diseño del controlador.....	49
Figura 14. LGR de la función PD .....	50
Figura 15. Controlador PI .....	52
Figura 16. Controlador PID .....	54
Figura 17. Plataforma de desarrollo Arduino.....	63
Figura 18. Diagrama de flujo del programa Arduino.....	64
Figura 19. Comunicación Unidireccional .....	65
Figura 20. Comunicación Arduino- LabView (paso #1). .....	66
Figura 21. Comunicación Arduino- LabView (paso #2). .....	66
Figura 22. Comunicación Arduino- LabView (paso #3). .....	67
Figura 23. Comunicación Arduino- LabView (paso #4). .....	67



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE AUTOBUSES.**

**Autor(es):** Aguirre Albany, Ferrer José.

**Tutor:** Ing. Rodríguez Antonio

**Fecha:** Mayo 2019.

### **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación tiene el objetivo de diseñar un sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses. Para ello fue necesario determinar los elementos que influyen en el proceso de refrigeración del aire y sus etapas, compresión, condensación, filtrado, expansión, evaporación y control. Luego se determinó el modelo matemático de la planta y se modeló el sistema de control, para ello se describió por medio de ecuaciones matemáticas la relación entre la variable de salida con la entrada del sistema, es decir la función de transferencia del control PID. Posteriormente con el uso del programa Matlab se logró la sintonización de las constantes del PID. Además con el uso del microcontrolador arduino uno se desarrolló la interfaz humano – máquina que permite al usuario visualizar y controlar la temperatura del sistema y el monitoreo del mismo.

**Descriptor(es):** sistema de control, temperatura, control, aires acondicionados.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas de transporte saben que conseguir un ambiente agradable en el interior de la cabina de pasajeros durante todo el trayecto es una de las prioridades principales, sin importar cuáles sean las condiciones meteorológicas en el exterior o el número de pasajeros. Por ello consideran que tener un sistema de aire acondicionado que funcione de forma óptima y eficiente es de suma importancia.

Así mismo una de las principales causas de que estos no funcionen de forma óptima es que el panel de control de estos equipos se daña muy fácilmente debido a que no poseen sistemas de protección. Actualmente en Venezuela las unidades de autobuses no son modernas y la mayoría de aires acondicionados son modelos cuyos repuestos están discontinuados, por lo tanto al dañarse el panel de control los propietarios de autobuses han optado por poner a funcionar el sistema realizando una conexión directa sin ningún dispositivo de control y sin conocer las consecuencias que esto trae al equipo de aire acondicionado.

Debido a esto surge la necesidad de desarrollar un sistema que permita ajustar la temperatura del compartimiento de pasajeros a la deseada por el usuario y que garantice la seguridad de los componentes del sistema de aire acondicionado. Se utilizará el PID como mecanismo de control de temperatura ya que es uno de los más adecuados para este proceso.

El presente proyecto de investigación está estructurado en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

**Capítulo I:** referido al problema, su planteamiento el cual se trata de comprobar durante todo el curso de la investigación por medio de los objetivos generales y específicos, así como la justificación del estudio y su alcance.

**Capítulo II:** se hace hincapié en los antecedentes y bases teóricas, se explican conceptos de gran importancia para el desarrollo del proyecto ya que al conocer la

teoría referente al tema se pueden seleccionar los sensores, actuadores y controlador más adecuados para el diseño propuesto.

**Capítulo III:** Marco Metodológico se plantea la naturaleza de la investigación, la cual por sus características, se trata de un proyecto factible, de modo que la estrategia metodológica seleccionada sirvió de guía para el desarrollo del trabajo de grado.

**Capítulo IV:** este capítulo se hablara de los recursos utilizados para realizar este proyecto, en este caso se incluyen recursos humanos, institucionales, materiales y tiempo.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad el avance tecnológico ha dado paso a la inclusión de nuevos sistemas de control incorporando tecnología digital para la resolución de diversos tipos de control. Dado el amplio uso de los controladores PID (proporcional-integrativo-derivativo) en diversos procesos de control, el uso de microcontroladores para el desarrollo de este tipo de aplicaciones ha tomado fuerza gracias a la incorporación de lenguajes de alto nivel que facilitan ampliamente este tipo de implementaciones. Hay lugares donde es necesario el mantener una temperatura constante o el poder variar la temperatura de cierto recinto hasta un punto determinado, esta temperatura a su vez debe estar siendo supervisada continuamente, siendo uno de estos casos la temperatura de los autobuses.

De este modo el aire acondicionado se ha transformado en un elemento muy importante. Los constantes incrementos de temperatura han hecho al aire acondicionado un elemento esencial para llevar una vida normal y placentera, tanto para el conductor como para los pasajeros. Y más en autobuses urbanos que circulan de forma permanente en la ciudad.

Ahora bien lo más importante es que los autobuses deben contar con este elemento, es tan importante que las carrocerías ya no se piensan sin este, al punto de que la misma ya cuenta con ventanillas fijas. Lo que nos indica que el ambiente interior debe estar climatizado.

Es por eso que las empresas de transporte saben que conseguir un ambiente agradable en el interior de la cabina de pasajeros durante todo el trayecto es una de las prioridades principales, sin importar cuáles sean las condiciones meteorológicas

en el exterior o el número de pasajeros. Por ello consideran que tener un sistema de aire acondicionado que funcione de forma óptima y eficiente es de suma importancia.

Así mismo una de las principales causas de que estos no funcionen de forma óptima es que el panel de control de estos equipos se daña muy fácilmente debido a que no poseen sistemas de protección. Actualmente en Venezuela las unidades de autobuses no son modernas y la mayoría de aires acondicionados son modelos cuyos repuestos están discontinuados, por lo tanto al dañarse dicho panel los propietarios de autobuses han optado por poner a funcionar el sistema realizando una conexión directa sin ningún dispositivo de control y desconociendo las consecuencias que esto trae a la estabilidad del sistema.

En tal sentido, al poner en marcha el sistema sin ningún tipo de control causa una disminución de la vida útil de este poniendo en riesgo el compresor, válvulas, sensores, entre otros; ocasionando que trabajen fuera del rango indicado por el fabricante, comprometiendo así las partes eléctricas y electrónicas del sistema de aire acondicionado.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo proteger los equipos o los componentes del sistema de climatización de los autobuses y a su vez mejorar el confort de los usuarios?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de un sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar las condiciones de trabajo de los distintos sistemas de aire acondicionado y los parámetros que rigen el comportamiento del sistema.
- Diseñar el sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses.
- Seleccionar la unidad de control, sensores y actuadores.

- Desarrollar el software del sistema de control de temperatura de aire acondicionado de autobuses.

#### **1.4 Justificación**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses, debido que los propietarios de las unidades de autobuses han optado por realizar conexiones directas del aire acondicionado, sin ningún tipo de control, lo que causa una disminución de la vida útil de este y pone en riesgo el compresor, válvulas, sensores, entre otros; ocasionando que trabajen fuera del rango indicado por el fabricante, comprometiendo así las partes eléctricas y electrónicas del sistema de aire acondicionado.

Se observa que es necesario el diseño de dicho sistema, el usuario podrá ajustar la temperatura a la deseada, lo que brindara un mayor nivel de confort, además de esto permitirá que el sistema de aire acondicionado utilice la energía de forma eficiente, los componentes eléctricos no trabajarán fuera del rango indicado por el fabricante por lo que su vida útil no se verá afectada, permitirá el monitoreo del sistema de aire acondicionado en tiempo real, lo que es muy útil ya que en caso de existir una falla el operador puede darse cuenta rápidamente .

Así mismo uno de los grandes beneficios es que al dañarse el panel de control del aire acondicionado los propietarios de las unidades de autobuses tendrán una alternativa para reemplazarlo de forma fácil y segura. Se utilizará el PID como mecanismo de control de temperatura ya que es uno de los más adecuados para este proceso y además contará con un panel de control, para que el usuario pueda seleccionar la temperatura que desea y monitorear el sistema, esté se diseñará utilizando el microcontrolador Arduino, este microcontrolador es de bajo costo y posee un buen rendimiento por lo que disminuye el costo del equipo.

## **1.5 Alcance de la Investigación**

Se espera lograr el desarrollo del sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses garantizando la integridad y seguridad de los componentes que forman dicho sistema.

## **1.6 Limitaciones**

Cada trabajo de investigación es distinto y por lo tanto poseen limitaciones diferentes, en este caso el tiempo un factor limitante, debido a que este puede no haber sido suficiente para la mayor profundización sobre el tema en estudio en el periodo evaluado.

Así mismo una de las más grandes limitaciones son los recursos, aunque se consiguió información sobre el tema en estudio, no hay suficientes datos de fuentes confiables que puedan servir de guía para el presente trabajo de investigación, no hay información sobre los paneles de control de los sistemas de aire acondicionados de autobuses ni sobre los elementos que influyen en el control de la temperatura de estos.

Por otra parte implementar el proyecto sería costoso debido a la situación económica que atraviesa actualmente el país, no hay acceso a divisas y pocos proveedores de componentes electrónicos, por ello los componentes se consiguen a un precio bastante elevado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Bach (2013), realizó un trabajo titulado **“Diseño e implementación de un controlador PID de temperatura controlado a distancia para un prototipo de incubadora”** para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Católica de Santa María. El presente trabajo de grado describe que el algoritmo PID es una de las técnicas de control más utilizadas en la industria y permite obtener un comportamiento estable durante todo el proceso de control de temperatura. Así mismo afirma que el uso de lenguajes como Matlab, Labview y compiladores de programación para microcontroladores, facilitan ampliamente la implementación de controlador PID u otro tipo de esquema de controlador sobre dispositivos micro controlado, abriendo así una alternativa para el desarrollo de sistemas de control.

La investigación citada, se vincula con la actual de manera que a pesar de que en dicha investigación se controla la temperatura de una incubadora, la información aporta ideas y técnicas referentes al control de temperatura utilizando controlador PID que pueden ser aplicadas a equipos de aire acondicionado de autobuses, y brinda información importante sobre el uso de lenguajes de programación, específicamente Matlab que será de vital importancia a la hora de diseñar el controlador PID propuesto en la presente investigación

De la misma manera Fuertes (2017) en la investigación titulada **“Diseño e implementación de un módulo educativo para el control de temperatura”**, para obtener el título de ingeniero electrónico en la pontifica universidad católica de Perú, afirman que para el desarrollo de un sistema de control de temperatura de un equipo de control de nivel aplicar el algoritmo PID es una de las formas más seguras de lograrlo, siendo este uno de los métodos más utilizados actualmente, dicha

investigación tuvo como objetivo el diseño e implementación de un sistema de control de temperatura adicionando un lazo de control al equipo control de nivel que se encuentra en las instalaciones del CETAM, para ello desarrollaron el diagrama de proceso e instrumentación (PID), seleccionaron los sensores y actuadores, luego diseñaron e implementaron los circuitos de acondicionamiento para los sensores y actuadores para posteriormente obtener el modelo matemático de la planta e implementar un algoritmo de control PID y desarrollar la interfaz de usuario mediante el software Labview.

De este modo se observa que el proceso utilizado en dicha investigación es análogo al que se debe utilizar para lograr el objetivo de este proyecto, por lo tanto sirve de guía y proporciona análisis sobre la obtención del modelo matemático de la planta e información sobre los sensores de temperaturas más utilizados, acondicionamiento de la señal de los sensores y algoritmo de control de PID que son de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

Por otra parte Ochoa (2012), realizó un trabajo titulado **“Identificación y diseño del controlador para un sistema de control de temperatura de agua en un tanque”**, para la obtención del título de Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial, en la escuela Superior Politécnica del Litoral. El autor llegó a la conclusión de que para poder obtener un buen controlador es necesario que el proceso de identificación se haya realizado con éxito, ya que si la identificación no es la adecuada se va a obtener un controlador ineficiente al momento de ponerlo a prueba con el prototipo, utilizaron el controlador que resultó del análisis del lugar geométrico de las raíces, ya que mediante dicho método se pueden ubicar los polos y ceros en la posición que se desea y así ir viendo en la gráfica cómo será la respuesta del sistema.

Así pues encontraron que por medio del método de sisotool se pueden diseñar varios controladores PID dependiendo de cuanto sobre nivel porcentual y tiempo de estabilización se desee. Se observa que cuando se desea obtener un controlador que actúe más rápido se obtiene un alto sobre nivel porcentual, en cambio cuando este es menor se obtiene un tiempo de estabilización mayor.

Vale la pena señalar, que el aporte al presente trabajo de grado de la investigación antes mencionada, es que propone utilizar el método del lugar geométrico de las raíces para el diseño del controlador PID, con esto se logra un controlador más eficiente y esto es lo que se requiere en todo sistema de control, por lo tanto se puede aplicar para el diseño que se propone en el presente proyecto.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Temperatura**

La temperatura es la propiedad que posee un cuerpo o sustancia que determinan si están en equilibrio térmico, este equilibrio térmico se produce cuando no existe transferencia de calor de un cuerpo hacia otro.

### **2.2.2 Climatización**

La climatización consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la calidad del aire interior dentro de los espacios habitados.

Así mismo, el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios de España (2012) define climatización como “dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas”.

La climatización comprende tres factores fundamentales: la ventilación, la calefacción, o climatización de invierno, y la refrigeración o climatización de verano.

### **2.2.3 Funcionamiento de la refrigeración de aire**

Según Padrón (2018) “El principio de funcionamiento del circuito de aire acondicionado se puede explicar siguiendo las siguientes etapas: compresión, condensación, filtrado y desecado, expansión, evaporación y control”.

- **Compresión:** al compresor se le considera el corazón del sistema de refrigeración, y su función es aumentar la presión desde el nivel de la presión de aspiración hasta el nivel de la presión de descarga. El compresor tiene la función de comprimir el gas (fluido refrigerante) que permite en un ciclo de

compresión/descompresión producir una transferencia de calor de una parte a otra de un circuito frigorífico. El compresor genera una fuerza comprimiendo el gas que llega desde el evaporador en estado gaseoso. Esta presión aumenta la temperatura del gas que vuelve a su estado líquido y se calienta. La energía necesaria para llevar a cabo este trabajo de compresión se la aporta la correa del alternador, que también suele mover la bomba de líquido refrigerante.

- **Condensación:** Padrón (2018) define la etapa de condensación de la siguiente manera:

“El condensador es un componente fundamental en el aire acondicionado, pues se encarga de convertir el vapor en líquido. El compresor envía al condensador vapor de refrigerante a altas temperaturas, el cuál será enfriado gracias a la alta presión proveniente del aire que es soplado en las bobinas de condensación. Todo este proceso da como resultado que este vapor de refrigerante que se está enfriando altere su estado de vapor a líquido caliente a alta presión, pasando a la válvula de expansión para continuar su proceso de enfriado. Si el condensador no funciona adecuadamente el aire acondicionado no enfriará.”

- **Filtrado y desecado:** el fluido en estado líquido pasa por el filtro deshidratante, que absorbe la humedad que pueda contener el fluido. Además, pasa a través de un elemento filtrante que retiene las impurezas presentes en el líquido. Así mismo Padrón (2018) señala que “no debe producirse ningún cambio en el estado termodinámico del fluido”.
- **Expansión:** el fluido en estado líquido penetra en la válvula de expansión termostática, produciéndose una caída brusca de presión y temperatura. La válvula de expansión controla el paso del refrigerante hacia el evaporador. Es un pequeño orificio regulado por temperatura y presión (en el caso de sistemas con válvula de expansión térmica). El descenso de la presión hace que el líquido refrigerante, que tiene un punto de ebullición por debajo de cero °C, se vaporice dentro del evaporador absorbiendo una gran cantidad de calor en este proceso, dando como resultado el enfriamiento del evaporador. Con un ventilador

especial se hace pasar aire a través del evaporador obteniendo aire frío que luego se envía hacia el interior del vehículo. El refrigerante gasificado y frío regresa al compresor para ser comprimido y continuar con el ciclo.

- **Evaporación:** el fluido en estado difásico penetra en el evaporador, donde comienza el intercambio de calor con el aire exterior que penetra al habitáculo. El evaporador es el intercambiador de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo. Boryszew (2019) afirma que “este componente tan importante es quien logra el éxito del confort que esperamos en todo vehículo. El evaporador tiene diversas capacidades, pero tiene la función de absorber el calor que aparece en los días cálidos en el interior del vehículo”.
- **Control:** El fluido a la salida del evaporador y por lo tanto a la entrada del compresor debe estar en estado gaseoso, para evitar posibles deterioros en el compresor. En los circuitos equipados con una válvula de expansión termostática, el control se realiza a la salida del evaporador, mediante el recalentamiento, o diferencia entre la temperatura a la salida del evaporador y la temperatura de evaporación. Dicho valor debe estar comprendido entre 2 y 10°C, y en caso de encontrarse fuera de estos márgenes, la válvula se abre más o menos para permitir la entrada de una caudal mayor o menor al evaporador. Por esto es imprescindible no variar el tarado de dicha válvula. Una vez garantizada la evaporación de la totalidad del fluido, éste pasa de nuevo por el compresor, y el ciclo comienza de nuevo.

#### **2.2.4 Instrumentos de medición de temperatura**

La clase de medición determina el tipo de sensor, Ramírez (2013) señala que “un sensor de temperatura más idóneo se selecciona según los siguientes criterios: rango de medición, exactitud, diseño según el lugar de medición, tiempo de respuesta, resistencia.”. Sin duda en el mercado se dispone de una gran variedad de elementos

sensores e instrumentos de medición de la temperatura para ofrecer el más adecuado, como son: los termopares o termocuplas, RTD, termistores, sensores IC (Circuitos Integrados), entre otros.

#### **2.2.4.1 Sensores de Temperatura**

Un sensor es un dispositivo que realiza la conversión física, como temperatura, distancia, presión, velocidad; a un valor que es más fácil medir.

Ramirez (2013) considera que “los sensores de temperatura son los elementos primarios de medición de variables del proceso, siendo utilizados para la lectura e indicación y para la transformar la variable medida en una señal eléctrica”.

Dependiendo de su funcionamiento y de la manera en la que transforman la señal, existen distintos tipos de sensores de temperatura. Principalmente, se encuentran tres categorías dentro de estos sensores: termopares, termistores y RTD.

#### **2.2.4.2 Termopares**

Un termopar es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado unión caliente o de medida y el otro llamado unión fría o de referencia.

Normalmente los termopares industriales están compuestos por un tubo de acero inoxidable u otro material. En un extremo del tubo está la unión, y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

En instrumentación industrial, los termopares son usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación está en la exactitud, pues es fácil obtener errores del sistema cuando se trabaja con precisiones inferiores a un grado Celsius. Existen varios tipos de termopares entre ellos:

- **Tipo K** (cromel/alumel): con una amplia variedad aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. El cromel es una aleación de Ni-Cr, y el alumel es una aleación de Ni-Al. Tienen un rango de temperatura de –

200 °C a +1372 °C y una sensibilidad 41  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación.

- **Tipo E** (cromel/constantán): no son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de 68  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
- **Tipo J** (hierro/constantán): su rango de utilización es de  $-270/+1200$  °C. Debido a sus características se recomienda su uso en atmósferas inertes, reductoras o en vacío, su uso continuado a 800 °C no presenta problemas, su principal inconveniente es la rápida oxidación que sufre el hierro por encima de 550 °C; y por debajo de 0 °C es necesario tomar precauciones a causa de la condensación de vapor de agua sobre el hierro.
- **Tipo T** (cobre/constantán): ideales para mediciones entre -200 y 260 °C. Resisten atmósferas húmedas, reductoras y oxidantes y son aplicables en criogenia. El tipo termopar de T tiene una sensibilidad de cerca de 43  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
- **Tipo N** (nicrosil): es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S, que son más caros.
- **Tipo B** (Pt-Rh): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1800 °C. Los tipos B presentan el mismo resultado a 0 °C y 42 °C debido a su curva de temperatura/voltaje, limitando así su uso a temperaturas por encima de 50 °C.
- **Tipo R** (Pt-Rh): adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1300 °C. Su baja sensibilidad (10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) y su elevado precio quitan su atractivo.
- **Tipo S** (Pt/Rh): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1300 °C, pero su baja sensibilidad (10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro (1064,43 °C).

### **2.2.4.3 Termistor**

Un termistor es un sensor de temperatura por resistencia. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura.

Existen dos tipos fundamentales de termistores: NTC (Negative Temperature Coefficient), donde la resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura y PTC (Positive Temperature Coefficient), los cuales incrementan su resistencia a medida que aumenta la temperatura

Los termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC) se usan habitualmente como sensores de temperatura o como limitadores de corriente de arranque y los termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC se instalan habitualmente para proteger contra condiciones de sobrecorriente, por ejemplo como fusibles reajustables.

El funcionamiento se basa en la variación de la resistencia del semiconductor debido al cambio de la temperatura ambiente, creando una variación en la concentración de portadores. Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo. Para los termistores PTC, en el caso de un semiconductor con un dopado muy intenso, éste adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado. Usualmente, los termistores se fabrican a partir de óxidos semiconductores, tales como el óxido férrico, el óxido de níquel, o el óxido de cobalto.

Sin embargo, a diferencia de los sensores RTD, la variación de la resistencia con la temperatura no es lineal. Para un termistor NTC, la característica es exponencial. Para pequeños incrementos de temperatura, se darán grandes incrementos de resistencia.

### **2.2.4.4 RTD**

Un RTD es un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Su símbolo es el siguiente (ver figura1), en el que se indica una variación lineal con coeficiente de temperatura positivo.

**Figura 1.** Símbolo de un RTD.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/RTD>

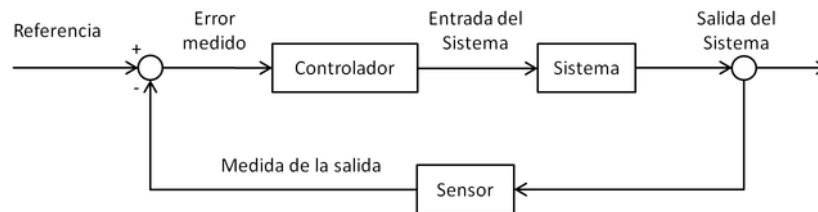
Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia. La variación de la resistencia puede ser expresada de manera polinómica como sigue a continuación. Por lo general, la variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R = R_0(1 +$$

temperaturas bajas (-100°C a +200°C). Una ventaja del sensor PT100 es que al contrario que otros sensores que se degradan con el tiempo y dan lecturas erróneas, el PT100 abre el circuito y es posible saber cuándo es necesario cambiarlo.

### 2.2.5 Sistemas de Control.

Los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso. En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta; y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema o planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación (ver figura 2).



**Figura 2.** Sistemas de Control básico.

Fuente: [http://www.epistemus.uson.mx/revistas/articulos/16-art2\\_DISENODECONTROLADORESPPID.pdf](http://www.epistemus.uson.mx/revistas/articulos/16-art2_DISENODECONTROLADORESPPID.pdf)

#### 2.2.5.1 Objetivos de los Sistemas de Control

Un sistema de control debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos: garantizar la estabilidad y particularmente ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos, ser tan eficiente como sea posible, según el criterio preestablecido, normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable evitando comportamiento brusco e irreal, ser de fácil implementación y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

#### 2.2.5.2 Clasificación de los sistemas de control

Existen varias clasificaciones dentro de los sistemas de control. Atendiendo a su naturaleza son analógicos, digitales o mixtos; atendiendo a su estructura (número de entradas y salidas) puede ser control clásico o control moderno; atendiendo a su diseño

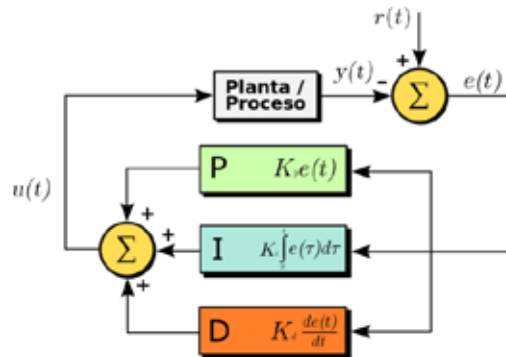
pueden ser por lógica difusa, redes neuronales. La clasificación principal de un sistema de control es de dos grandes grupos, los cuales son:

- **Sistema de lazo abierto:** Sistema de control en el que la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Se caracteriza porque la información o la variable que controla el proceso circulan en una sola dirección desde el sistema de control al proceso. El sistema de control no recibe la confirmación de que las acciones se han realizado correctamente. Ejemplo: Pensemos en el mecanismo de encendido y apagado de la luz de un pasillo de un edificio de departamentos. Cuando subimos por el ascensor y el pasillo se encuentra a oscuras encendemos la luz. Esta luz se mantiene encendida durante un lapso de tiempo y luego se apaga independientemente del tiempo que nosotros necesitemos. En este caso no hay ningún dispositivo que informe al sistema si todavía hay gente en el pasillo o si ya no hay nadie. No existe la retroalimentación ya que no existe un dispositivo que obtenga datos de ambiente (presencia de personas en el pasillo), y por lo tanto, ninguna información retroalimenta al sistema. La información va en un solo sentido.
- **Sistema de lazo cerrado:** Sistema de control en el que la salida ejerce un efecto directo sobre la acción de control. Se caracteriza porque existe una relación de realimentación desde el proceso hacia el sistema de control a través de los sensores. El sistema de control recibe la confirmación si las acciones ordenadas han sido realizadas correctamente.

### 2.2.5.3 Controlador PID

Un controlador PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo) es un mecanismo de control simultaneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial, este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. (Ver figura 3).

El valor proporcional depende del error actual, el integral depende de los errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador.



**Figura 3.** Diagrama de bloques de un controlador PID en lazo realimentado

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_PID](https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID)

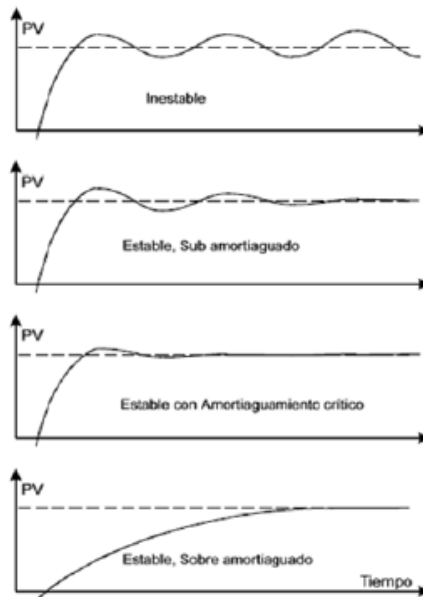
Siempre se busca que el sistema de control sea estable, pero además, dentro de las condiciones de estabilidad existen tres tipos de comportamiento bien definidos: control subamortiguado, control con amortiguamiento crítico y control sobre amortiguado.

De este modo el sistema sobre amortiguado tiene una velocidad de respuesta lenta, después de que ocurra una perturbación, el sistema puede tardar en volver al SP (set point o valor deseado), pero la ventaja es que el sistema es muy estable y no adquiere comportamientos oscilatorios indeseables. Esta condición tiende a ocurrir cuando la banda proporcional  $P_b$  es más grande de lo necesario. También puede deberse a una constante derivativa  $D$  muy grandes, basta acordarse de que la acción derivativa tiene a frenar la temperatura.

En el otro extremo, cuando un sistema se comporta de modo subamortiguado la velocidad de respuesta es muy buena pero pueden ocurrir varias oscilaciones de cierta amplitud antes de que la temperatura llegue a un valor estable. Suele ocurrir esta

condición cuando la banda proporcional  $P_b$  es pequeña (se parece a un ON-OFF), la constante derivativa  $D$  pequeña y la constante de integración  $I$  grande.

Por consiguiente el justo medio entre las condiciones anteriores es el amortiguamiento crítico. A esta condición corresponde los valores óptimos de los parámetros  $P, I, D$ . en este caso el sistema es bastante estable y la velocidad de respuesta es la mejor que se puede lograr. (Ver figura4).



**Figura 4.** Comportamientos del PID

Fuente: [http://www.epistemus.uson.mx/revistas/articulos/16-art2\\_DISENODECONTROLADORESPPID.pdf](http://www.epistemus.uson.mx/revistas/articulos/16-art2_DISENODECONTROLADORESPPID.pdf)

$$P_{sal} = K_p e(t) \text{ (Ecuación 2.)}$$

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \text{ (Ecuación 3.)}$$

$$D_{sal} = K_d \frac{de}{dt} \text{ (Ecuación 4.)}$$

Resulta claro que la fórmula del proporcional está dada por la ecuación 1, la fórmula integral por la ecuación 2 y finalmente la derivativa por la ecuación 3.

De esta manera resulta importante señalar el significado de las constantes,  $K_p$  es la constante de proporcionalidad y se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o banda proporcional,  $K_i$  es la constante de integración e indica la

velocidad con la que se repite la acción proporcional, finalmente  $K_d$  es la constante de derivación representa el lapso durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a dos veces el error y después desaparecerá.

Ahora bien la salida del control PID está dada por la ecuación 5.

$$Y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad (\text{Ecuación 5.})$$

### 2.2.6 Arduino

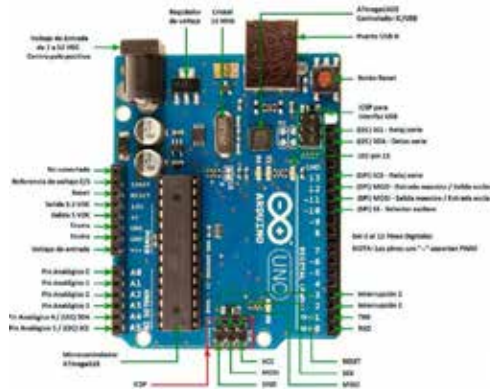
Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont).

Una placa electrónica es una PCB (“Printed Circuit Board”, “Placa de Circuito Impreso” en español). Las PCBs superficies planas fabricadas en un material no conductor, la cual consta de distintas capas de material conductor. Una PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico. Así que la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna, de esta forma el usuario final no se debe preocupar por las conexiones eléctricas que necesita el microcontrolador para funcionar, y puede empezar directamente a desarrollar las diferentes aplicaciones electrónicas que necesite.

Cuando se habla de “Arduino” se especifica el modelo concreto, ya que se han fabricado diferentes modelos de placas Arduino oficiales, cada una pensada con un propósito diferente y características variadas (como el tamaño físico, número de pines E/S, modelo del microcontrolador, etc). A pesar de las varias placas que existen todas pertenecen a la misma familia (microcontroladores AVR marca Atmel), esto significa que comparten la mayoría de sus características de software, como arquitectura, librerías y documentación.

- **Arduino Uno:** Es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados con

PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB, conector jack de alimentación, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Tiene toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, simplemente debe ser conectado a la energía por el puerto USB ó con un transformador AC-DC. (Ver figura 5).



**Figura 5.** Arduino Uno

Fuente: <https://www.arduino.cc/>

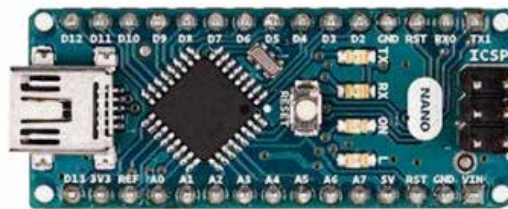
- Arduino Mega 2560:** El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO. (Ver figura 6).



**Figura 6.** ArduinoMega 2560

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

- **Arduino Nano:** Arduino Nano es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Posee las mismas capacidades que un Arduino UNO, tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad, solo se ve recortado en su conector USB, conector jack de alimentación y los pines cambia un formato de pines header. (Ver figura 7).



**Figura 7.** Arduino Nano

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-nano/>

- **Arduino Yun:** El Arduino Yun es una placa de desarrollo basada en un sistema Linux, el cual permite la conexión avanzada a redes y aplicaciones. Puedes conectar la placa a la red Wi-Fi o a una red cableada de una forma sencilla gracias al panel web de Yún. El panel web permite administrar la configuración de la placa y la carga de sketches. (Ver figura 8).



**Figura 8.** Arduino Yun

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-yun/>

- **Arduino Leonardo:** El Arduino Leonardo es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega32u4. Tiene 20 pines de entrada/salida digital (7 de ellos pueden ser usados como salida PWM), un cristal de 16Mhz, conexión micro USB, conector DC de alimentación, conector ICSP y botón de reseteo. La placa integra todo lo necesario para que el microcontrolador opere, solo necesita conectar al computador por el cable USB ó a un transformador de AC-DC. (Ver figura 9).



**Figura 9.** Arduino Leonardo

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-leonardo/>

### 2.2.7 Matlab

Matlab es un lenguaje de alto funcionamiento para computación técnica, integra computación, visualización, y programación, en un entorno fácil de usar donde los

problemas y las soluciones son expresados en la más familiar notación matemática. Los usos más familiares de Matlab son:

- Matemática y Computación
- Desarrollo de algoritmos
- Desarrollo de algoritmos
- Modelamiento, simulación y prototipado
- Análisis de datos, exploración y visualización
- Graficas científicas e ingenieriles
- Desarrollo de aplicaciones, incluyendo construcción de interfaces graficas de usuario

Es importante destacar que es un sistema interactivo cuyo elemento básico de almacenamiento de información es la matriz, que tiene una característica fundamental y es que no necesita dimensionamiento. Esto le permite resolver varios problemas de computación técnica (especialmente aquellos que tienen formulaciones matriciales y vectoriales) en una fracción de tiempo similar al que se gastaría cuando se escribe un programa en un lenguaje no interactivo como C. Matlab presenta una familia de soluciones a aplicaciones específicas de acoplamiento rápido llamadas ToolBoxes, para la simulación de sistemas dinámicos, Simulink.

#### **2.2.7.1 Simulink**

Simulink es una toolbox especial de Matlab que sirve para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos. Puede simular sistemas lineales y no lineales, modelos en tiempo continuo y tiempo discreto y sistemas híbridos de todos los anteriores. Es un entorno gráfico en el cual el modelo a simular se construye clicando y arrastrando los diferentes bloques que lo constituyen. Los modelos simulink se guardan en ficheros con extensión \*.mdl.

Con simulink se puede hacer lo siguiente:

- Modelizar su sistema en diferentes dominios mediante herramientas específicas y bloques prediseñados.

- Desarrollar modelos a gran escala mediante el uso de componentes, con librerías y componentes del sistema reutilizables.
- Combinar sus modelos en una simulación de nivel de sistema aunque no se hayan creado en simulink.
- Ejecutar simulaciones masivas en paralelo en un equipo de escritorio con varios núcleos, un cluster de equipos o en la nube sin tener que escribir montones de código.

### **2.2.8 Interfaz HMI**

Un HMI o Interfaz hombre - máquina, como su nombre lo indica, tiene como función que el operario pueda supervisar y controlar su proceso desde una pantalla gráfica. Fundamentalmente, un terminal sustituye a los antiguos paneles de control que estaban contruidos principalmente por pulsadores, pilotos, indicadores, y dispositivos de medición. Un terminal HMI, como parte de un sistema de automatización, puede conectarse a varios equipos al mismo tiempo.

Si bien una de las primeras que se utilizaron fueron las computadoras, y muchos usuarios podrían considerarlas anticuadas, siguen siendo incluidas en nuevos dispositivos y sistemas gracias a las ventajas que ofrecen al permitir automatizar acciones complejas mediante la creación de pequeños programas de bajo nivel (conocidos como Script o Batch).

Por otra parte, existen interfaces que reducen significativamente la curva de aprendizaje y permiten que usuarios sin experiencia y sin conocimientos técnicos puedan obtener resultados notables, por ejemplo: la interfaz táctil utilizada por los sistemas operativos de iOS y Android.

Las funciones principales de una HMI son las siguientes:

- Puesta en marcha y apagado.
- Control de las funciones manipulables del equipo.

- Manipulación de archivos y directorios.
- Herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- Comunicación con otros sistemas.
- Información de estado.
- Configuración de la propia interfaz y entorno.
- Intercambio de datos entre aplicaciones.
- Control de acceso.

### 2.2.8.1 Tipos de HMI

En las interfaces de usuario se pueden distinguir básicamente tres tipos:

- **Una interfaz de hardware**, a nivel de los dispositivos utilizados para ingresar, procesar y entregar los datos: teclado, ratón y pantalla visualizadora.
- **Una interfaz de software**, destinada a entregar información acerca de los procesos y herramientas de control, a través de lo que el usuario observa habitualmente en la pantalla.
- **Una interfaz de software-hardware**, que establece un puente entre la máquina y las personas, permite a la máquina entender la instrucción y al hombre entender el código binario traducido a información legible.

### 2.3 Definición de términos básicos

**Automático:** Mecanismo que funciona por sí solo o que realiza total o parcialmente un proceso sin ayuda humana.

**Calibración:** Es la acción de comparar la lectura de un instrumento de medición, con respecto a un patrón con valor o dimensión conocida.

**Estabilidad de un sistema:** Un sistema es estable si la respuesta del sistema al impulso tiende a cero cuando el tiempo tiende a infinito. Si el sistema tiende a un valor finito diferente a cero, se puede decir que el sistema es críticamente o marginalmente estable. Una magnitud infinita hace al sistema inestable.

**Error de medición:** El error de medición se define como la diferencia entre el valor medido y el "valor verdadero".

**Interfaz:** Conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, que proporciona una comunicación de distintos niveles permitiendo el intercambio de información.

**Parámetro de entrada:** Los parámetros en entrada pueden definirse como los elementos de datos que se utilizan para realizar una función

**Parámetro de salida:** los parámetros de salida son los elementos de datos que resultan de la función desempeñada.

**Robustez:** Es la capacidad de un sistema para mantener un funcionamiento aceptable frente a situaciones imprevistas.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El objetivo de esta investigación es el diseño de un sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses que se adapte a las distintas marcas disponibles en el mercado y que al mismo tiempo garantice la seguridad de todos los componentes del sistema

Se denomina Proyecto Factible la elaboración de una propuesta viable, destinada atender necesidades específicas a partir de un diagnóstico. Moya (2002), plantea: “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos.”

Del mismo modo, Arias, (2016) señala: “Que se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización.”

Se observa que al diseñar el sistema de control de temperatura para equipos de aires acondicionados de autobuses se satisface la necesidad que tienen los propietarios de dichas unidades, ya que actualmente en Venezuela no se consigue el reemplazo del panel de control, es una propuesta viable y por lo tanto es un proyecto factible.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

La estrategia de investigación seleccionada para el trabajo fue la documental, de acuerdo con Tamayo (2003) “constituye una estrategia que observa y reflexiona sistemáticamente sobre realidades usando diferentes tipos de documentos. Indaga,

interpreta, presenta datos e informaciones sobre un tema determinado de cualquier ciencia, utilizando una metódica de análisis”. Por otro lado Arias (2016), plantea que “Se caracteriza por la utilización de documentos; recolecta, selecciona, analiza y presenta resultados coherentes. Utiliza los procedimientos lógicos y mentales de toda investigación; análisis, síntesis, deducción, inducción, y realiza un proceso de abstracción científica”.

De este modo para llevar a cabo el desarrollo del sistema de control es necesario indagar sobre las distintas maneras de diseñar un sistema de control, las herramientas que se deben utilizar, recopilar y analizar los datos necesarios para posteriormente deducir las ecuaciones que rigen el comportamiento del sistema de aire acondicionado, y diseñar un controlador que cumpla con los requerimientos y especificaciones mencionadas anteriormente.

### **3.3 Nivel de la investigación**

Arias (2016) señala la investigación descriptiva como: “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.”

Se observa que esta investigación es de tipo descriptiva, ya que para diseñar el sistema de control, es necesario primero analizar y conocer el funcionamiento los equipos de aire acondicionado, así como el rango de trabajo de todos los componentes eléctricos y mecánicos que conforman a dichos equipos.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos**

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando, teniendo esto en cuenta Sabino (2003) lo define como:

“Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en si toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco

teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto a las variables o conceptos utilizados” (p.149, 150).

Y por técnica se va a anotar la definición que nos da el diccionario de metodología anteriormente citado, el cual establece que las técnicas de investigación son: “Conjunto de mecanismos, medios y sistemas de dirigir, recolectar, conservar, reelaborar y transmitir los datos sobre estos conceptos” (p.150).

### **3.4.1. Técnicas empleadas**

- **Revisión Documental**

La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado (2010) define este concepto como:

“... es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.427).

- **Observación directa**

La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado Hurtado (2010) la define como: "... un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información para el cual el investigador se apoya en sus sentidos” (p.459).

- **Entrevista**

Según Sampieri, Fernández y Batista (2006) la entrevista se define como “un dialogo intencionado entre el entrevistador y el entrevistado, con el objetivo de recopilar información sobre la investigación, bajo una estructura particular de preguntas y respuestas”.

Por otra parte, Hurtado (2010) opina que “la técnica de entrevista es la información que se recoge solicitándola a otra persona. El investigador no puede tener

la experiencia directa del evento; es otro quien la tiene, información se obtiene dialogando”.

### **3.4.2. Instrumentos empleados**

- **Instrumento de registro**

Permite poseer un soporte de la información en periodos de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando lo necesite.

- **Instrumento de observación técnicamente asistida**

Principalmente se contara con el empleo de algún dispositivo de medición de variables físicas de interés presentes en la realización de todas las experiencias que tenga el investigador con el fenómeno a estudiar.

### **3.5 Fases de la Investigación**

#### **Fase I: Diagnóstico de las condiciones de trabajo de los distintos sistemas de aire acondicionado y los parámetros que rigen el comportamiento del sistema.**

Observar el funcionamiento de los sistemas de aires acondicionados de autobuses para determinar los elementos que influyen en el proceso de refrigeración del aire y entender de manera más clara las etapas que comprenden el sistema.

#### **Fase II: Diseño del sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses.**

Al quedar clara la dinámica de la planta se procede a modelar un sistema de control, para ello es necesario describir por medio de ecuaciones matemáticas la relación entre la variable de salida (variable que se desea controlar) con la entrada del sistema, es decir la función de transferencia del control PID, y luego con el uso del programa Matlab lograr la sintonización de las constantes del PID.

#### **Fase III: Selección de la unidad de control, sensores y actuadores.**

Seleccionar los sensores, actuadores y el controlador en base a los requerimientos del sistema de aire acondicionado.

#### **Fase IV: Desarrollo del software del sistema de control de temperatura de aire acondicionado de autobuses.**

Realizar la interfaz con el uso del microcontrolador arduino uno, este recibe los datos del sensor y lo imprime, mediante el puerto serial, para que la aplicación en la computadora muestre la temperatura y el estado actual del sistema de aire acondicionado.

#### **3.6 Población y muestra**

Tamayo (2003), define la población como: “el conjunto de personas con características a fines que son objetos de estudio”, el mismo autor señala la muestra como “una parte representativa de la población objeto de estudio”.

La población y la muestra seleccionada para este proyecto de investigación coinciden ya que son los aires acondicionados de autobuses, específicamente las marcas carrier, cold master y thermoking.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se explican los resultados obtenidos para cada fase del proyecto.

#### **4.1 Fase I: Diagnóstico de las condiciones de trabajo de los distintos sistemas de aire acondicionado y los parámetros que rigen el comportamiento del sistema.**

El aire acondicionado es la realización de determinadas funciones destinadas a proporcionar durante todo el año, el confort térmico y la calidad del aire interior para la vida de las personas o el mejoramiento de los diferentes procesos industriales. Como mínimo, las instalaciones deben efectuar los siguientes procesos básicos:

- Control de temperatura y humedad.
- Ventilación y calidad del aire interior.
- Filtrado.
- Circulación.

Estos procesos deben realizarse:

- Automáticamente.
- Sin ruidos molestos.
- Con el menor consumo en energético.
- Sin producir contaminación al medio ambiente.

El tratamiento del aire se efectúa en recintos que se denominan unidades de tratamiento o manejadoras de aire o también denominadas fan-coil centrales en los cuales se obliga al aire a cumplir varios procesos que comprenden su limpieza, refrigeración, deshumidificación, calentamiento y humidificación. Se utilizan en general sistemas de tratamiento del aire compacto modular, elaborados en fábrica en gabinetes de chapa, construidos en unidades del tipo integral, capaces de contener todos los elementos necesarios.

Para lograr esos propósitos los sistemas de aire acondicionado, deben cumplir los siguientes requisitos fundamentales:

- Proveer una adecuada climatización para satisfacer las necesidades de confort de las personas, con una aceptable calidad del aire interior.
- Estar diseñados de la manera más simple y económica, con el mínimo consumo energético.
- Brindar una alta confiabilidad de operación y funcionamiento.
- Emplear materiales y equipos de alta calidad y tecnología probada, de larga vida útil, que cuenten con servicio y una segura provisión de repuestos en plaza.

#### **4.1.1 Sistemas de aire acondicionado**

La unidad para el tratamiento del aire del tipo central, que está alejada del espacio que se acondiciona y el aire llega al mismo, distribuido por una red de conductos que sirve tanto para refrigerar como para calefacciones. A estos sistemas se los denomina todo-aire. Son cuatro los elementos importantes que constituyen el sistema:

- Equipo de tratamiento de aire.
- Sistema de circulación y distribución.
- Planta de refrigeración.
- Planta de calefacción.

El propósito en los sistemas de confort es crear condiciones atmosféricas que conduzcan al bienestar, como el caso de viviendas, oficinas, comercio, restaurantes, salas de fiestas, hospitales, teatros, etc., mientras que en los industriales es el de controlar las condiciones atmosféricas para satisfacer los requisitos particulares de los procesos. Para lograr esos objetivos se detallan las funciones básicas a realizar.

- **Enfriamiento y deshumectación:** En verano para lograr el confort en los locales, es necesario enfriar y además, deshumidificar el aire, porque el porcentaje de humedad relativa aumentaría en forma considerable, provocando una sensación de molestia y pesadez. Esta función se efectúa en un proceso único y simultáneo por medio de un serpentín o batería de enfriamiento en las

cuales se absorbe el calor sensible y también el calor latente del aire, por efecto de la condensación sobre su superficie del vapor de agua que contiene, debido a que se lo enfría por debajo de su punto de rocío. De esa manera, en el serpentín disminuye tanto la temperatura como la humedad absoluta del aire que lo atraviesa. En instalaciones industriales que se requiere gran precisión puede aplicarse un sistema separado empleando para la deshumectación agentes absorbentes como la silica-gel. El serpentín puede consistir en el mismo evaporador del circuito frigorífico, que está vinculado con una unidad condensadora, llamándose a estos sistemas de expansión directa o trabajar con agua fría proveniente de una unidad enfriadora de agua, constituyendo los denominados sistemas de expansión indirecta.

- **Calentamiento y humectación:** para lograr confort es necesario calentar y humidificar el aire. El calentamiento del aire se efectúa por medio de una batería agua caliente o eventualmente vapor, vinculadas con cañerías a una planta de calderas o intercambiadores a gas o eléctricos. Para las aplicaciones de confort en instalaciones de agua fría se suele emplear para calentamiento, la misma batería que se usa para refrigerar haciendo circular agua caliente por la misma en la época de invierno, como forma de simplificar, pero con menores prestaciones de regulación, dado que solo se puede enfriar o calentar en forma independiente y separada. En sistema de expansión directa también se puede emplear la misma batería haciendo funcionar el sistema en el ciclo de bomba de calor. Por otra parte, si se calienta el aire sin agregarle humedad, la humedad relativa disminuye, provocando el resecaimiento de las mucosas respiratorias, con las consiguientes molestias fisiológicas. La función de humectación, se ejecuta en invierno en el humectador que debe colocarse después de la batería de calefacción dado que el aire más caliente tiene la propiedad de absorber más humedad. Existen aparatos que evaporan el agua contenida en una bandeja, por medio del calentamiento de una resistencia eléctrica de tipo blindado o

recipientes con electrodos sumergidos, que son controlados por medio de un humidistato de ambiente o de conducto. En los casos de grandes instalaciones, se recurre a baterías humidificadoras que incorporan al aire, agua finamente pulverizada y como cumplen además una función de limpieza, suelen llamarse también lavadores de aire.

- **Ventilación:** La función de ventilación, consiste en la entrada de aire exterior, para renovar permanentemente el aire de recirculación del sistema en las proporciones necesarias a fin de lograr un adecuado nivel de pureza, dado que como resultado del proceso respiratorio, se consume oxígeno y se exhala anhídrido carbónico, por lo que debe suministrarse siempre aire nuevo a los locales para evitar que se produzcan vaciamientos y olores. Además, en los nuevos edificios se producen emanaciones de materiales y elementos, los que sumados a los problemas de suciedades y falta de mantenimiento contribuyen a la contaminación del aire ambiente interior, constituyendo el denominado síndrome del edificio enfermo, por lo que debe proyectarse una entrada de un adecuado caudal de aire nuevo exterior para lograr mantener la calidad del aire del interior de los locales. El aire nuevo del exterior del edificio o aire de ventilación penetra a través de una reja de toma de aire en un recinto llamado pleno de mezcla, donde se mezcla el aire nuevo con el aire de retorno de los locales, regulándose mediante persianas de accionamiento manual o automático. Los puntos de toma de aire exterior deben ser seleccionados con cuidado para lograr el máximo de pureza, evitando colocarlos cerca de cocinas, baños, garajes, etc. y en lo posible a 1 m como mínimo del piso para evitar la entrada de polvo.
- **Filtrado:** La función de filtrado, consiste en la limpieza del aire y se cumple en la batería de filtros, quitándole al aire circulante el polvo, impurezas y partículas en suspensión y el grado de limpieza a lograr depende del tipo de instalación de acondicionamiento a efectuar. El filtro es el primer elemento a instalar en la

circulación del aire porque no solo protege a los locales acondicionados sino también al mismo equipo de acondicionamiento. En las instalaciones comunes de confort se emplean filtros que normalmente son del tipo mecánico, compuestos por substancias porosas que obligan al aire al pasar por ellas, a dejar las partículas de polvo que lleva en suspensión, pero que no son capaces de eliminar totalmente las impurezas de pequeño diámetro y mucho menos los humos, olores o gérmenes que pueda haber presente.

- **Recirculación del aire:** La función de circulación es necesaria dado que siempre debe haber un cierto movimiento de aire en la zona de permanencia con el fin de evitar su estancamiento, sin que se produzcan corrientes enérgicas que son perjudiciales, especialmente en invierno. Por otra parte, es muy importante un buen barrido del aire que circula en los locales, dado que ello contribuye a la calidad del aire interior, en virtud que contiene aire nuevo de ventilación cuya función es la de diluir los contaminantes del local. El proceso de su circulación y distribución, se efectúa mediante ventiladores del tipo centrífugo, capaces de hacer circular los caudales de aire necesarios, venciendo las resistencias de frotamiento ocasionadas por los conductos de distribución, rejillas, y los propios elementos de la unidad de tratamiento de aire como ser persianas, serpentines, filtros, etc., con bajo nivel de ruidos.

#### **4.1.2 Parámetros que rigen el comportamiento del sistema de aire acondicionado**

Al momento de diseñar un sistema de control de aire acondicionado es importante conocer el proceso, elementos y parámetros que influyen en dicho sistema. Por ello fue necesario evaluar los elementos que influyen en la refrigeración del aire, las etapas del sistema y los parámetros a controlar.

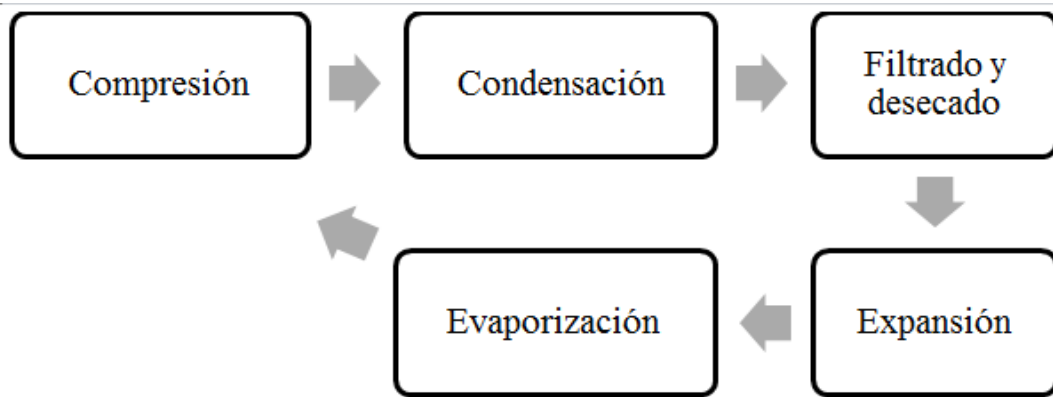
En dicho proceso se consultaron los manuales de instrucciones de operación para las unidades de aire acondicionado carrier, cold master y thermoking. Se pudo observar que los elementos que influyen en la refrigeración del aire acondicionado coinciden en todos los casos, estos elementos son los siguientes:

- **Compresor:** al compresor se le considera el corazón del sistema de refrigeración, y su función es aumentar la presión desde el nivel de la presión de aspiración hasta el nivel de la presión de descarga. El compresor tiene la función de comprimir el gas (fluido refrigerante) que permite en un ciclo de compresión/descompresión producir una transferencia de calor de una parte a otra de un circuito frigorífico. El compresor genera una fuerza comprimiendo el gas que llega desde el evaporador en estado gaseoso. Esta presión aumenta la temperatura del gas que vuelve a su estado líquido y se calienta.
- **Condensador:** es un componente fundamental en el aire acondicionado, se encarga de convertir el vapor en líquido. El compresor envía al condensador vapor de refrigerante a altas temperaturas, el cuál será enfriado gracias a la alta presión proveniente del aire que es soplado en las bobinas de condensación. Todo este proceso da como resultado que este vapor de refrigerante que se está enfriando altere su estado de vapor a líquido caliente a alta presión, pasando a la válvula de expansión para continuar su proceso de enfriado. Si el condensador no funciona adecuadamente el aire acondicionado no enfriará.
- **Filtro deshidratador:** es un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para remover la humedad y otros contaminantes de un sistema de refrigeración
- **Válvula de expansión:** La válvula de expansión controla el paso del refrigerante hacia el evaporador. Es un pequeño orificio regulado por temperatura y presión (en el caso de sistemas con válvula de expansión térmica), de manera que desde la válvula de expansión baja la presión del refrigerante. Este descenso de la presión hace que el líquido refrigerante, que tiene un punto de ebullición por debajo de cero °C, se vaporice dentro del evaporador absorbiendo una gran cantidad de calor en este proceso, dando como resultado el enfriamiento del evaporador. Con un ventilador especial se hace pasar aire a través del evaporador obteniendo aire frío que luego se envía

hacia el interior del vehículo. El refrigerante gasificado y frío regresa al compresor para ser comprimido y continuar con el ciclo.

- **Evaporador:** El evaporador es el intercambiador de calor donde se produce la transferencia de energía térmica desde un medio a ser enfriado hacia el fluido refrigerante que circula en el interior del dispositivo. Este componente tan importante es quien logra el éxito del confort que se espera. El evaporador tiene diversas capacidades, pero tiene la función de absorber el calor que aparece en los días cálidos en el interior del vehículo. El evaporador contiene gas freón frío.

Una vez conocidos estos elementos, fue necesario establecer las etapas del proceso de refrigeración de la manera más clara posible, con el apoyo de los manuales de instrucción de operación se tiene que el proceso se puede resumir por etapas.



**Figura 6.** Etapas del proceso de refrigeración.

Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

- 1) **Compresión:** Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es aspirado por el evaporador por la línea de aspiración hasta la entrada del compresor. En el compresor, la presión y la temperatura del vapor aumenta considerablemente gracias a la compresión, entonces al vapor a alta temperatura y a alta presión es devuelto por la línea de expulsión.

- 2) **Condensación:** El vapor atraviesa la línea de expulsión hacia el condensador donde libera el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha prescindido de su calor adicional, su temperatura se reduce a su nueva temperatura de saturación que corresponde a su nueva presión. En la liberación de su calor, el vapor se condensa completamente y entonces es enfriado. El líquido enfriado llega al regulador y está listo para un nuevo ciclo.
- 3) **Expansión:** El ciclo de expansión ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador a alta presión y a alta temperatura, y se dirige al evaporador a través del regulador. La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en el evaporador y será en este lugar donde se enfría. Una parte del líquido se evapora cuando cruza el regulador con el objetivo de bajar la temperatura del refrigerante a la temperatura de evaporación.
- 4) **Evaporación:** en el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el refrigerante que cruza el espacio del evaporador. Todo el refrigerante se vaporizada completamente en el evaporador, y se recalienta al final del evaporador. Aunque la temperatura del vapor aumenta un poco al final del evaporador debido al sobrecalentamiento, la presión se mantiene constante. Aunque el vapor absorbe el calor del aire alrededor de la línea de aspiración, aumentando su temperatura y disminuyendo ligeramente su presión debido a las pérdidas de cargas a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración, estos detalles no se tiene en cuenta cuando uno explica el funcionamiento de un ciclo de refrigeración normal.

En la figura 6 se puede observar todo el proceso de refrigeración el cual se interpreta de la siguiente manera:

- a) El refrigerante, en estado gaseoso, pasa del evaporador al compresor. Durante la compresión el gas refrigerante incrementa su temperatura y presión. El gas

caliente y a alta presión es descargado al condensador. Mediante una combinación de movimiento de aire bajando la temperatura dentro y alrededor de las bobinas del condensador, más la presión aumentada por el compresor, el gas es condensado. Durante este proceso, el calor es liberado mediante las bobinas del condensador y expulsado por el ventilador del condensador a través de movimiento de aire por el movimiento de las aletas de enfriamiento.

- b) Del condensador, el líquido refrigerante entra al filtro deshidratante. Del filtro deshidratante, el gas fluye por la línea de líquido de alta presión a través del vidrio hasta la válvula de expansión. La función de la válvula de expansión es controlar la cantidad de líquido refrigerante que entra a las bobinas del evaporador para que ocurra una adecuada vaporización del refrigerante.
- c) Para asegurar que el refrigerante se distribuya uniformemente en el evaporador el refrigerante se distribuye a través de un distribuidor y varios tubos capilares a las bobinas del evaporador.
- d) El último paso en el ciclo de enfriamiento es la evaporación del líquido refrigerante de baja presión dentro de las bobinas del evaporador. Debido a que la válvula de expansión permite el paso solo de una cantidad controlada de líquido refrigerante dentro de las bobinas del evaporador, la presión interna de estas se reduce. La reducción en presión causa que el refrigerante se convierta en gas y el calor es absorbido en el proceso.

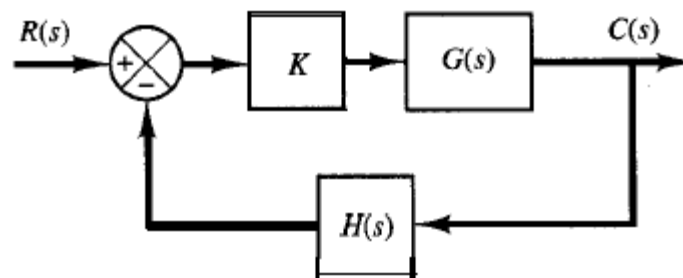
#### **4.2 Fase II: Diseño del sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses.**

Antes de estudiar el comportamiento de estabilidad asociado al sistema térmico obtenido con anterioridad se procede a estudiar los conceptos fundamentales para lograr la comprensión adecuada de dicho análisis, para ello, se estudiara lo que se conoce como el análisis del lugar geométrico de las raíces, donde, con dicho análisis lograremos estudiar el comportamiento de los polos y ceros que describen al sistema en cuestión. Partiendo de estos resultados se procederá a establecer los parámetros

necesarios para que, al integrar un controlador PI, PD o PID se logre realizar los ajustes necesarios al sistema para que este se comporte de acuerdo a las necesidades requeridas por el usuario.

#### 4.2.1 Análisis del Lugar Geométrico de las Raíces

La característica básica de la respuesta transitoria de un sistema en lazo cerrado se relaciona estrechamente con la localización de los polos en lazo cerrado. Si el sistema tiene una ganancia de lazo variable, la localización de los polos en lazo cerrado depende del valor de la ganancia de lazo elegida. Por tanto, es importante que el diseñador conozca cómo se mueven los polos en lazo cerrado en el plano  $s$  conforme varía la ganancia de lazo



**Figura 7.** Diagrama en lazo cerrado

Fuente: LugarGeometrico.PDF (pag 15)

Dónde:

- $R(s)$ : Punto de referencia o Set Point (SP)
- $C(s)$ : Variable controlada
- $K$ : Ganancia de lazo variable
- $G(s)$ : Función de transferencia del sistema
- $H(s)$ : Función de transferencia del sistema de realimentación (sensor)

Desde el punto de vista del diseño, un simple ajuste de la ganancia en algunos sistemas mueve los polos en lazo cerrado a las posiciones deseadas. A continuación el problema de diseño se centra en la selección de un valor de ganancia adecuado. Si el

ajuste de la ganancia no produce por sí solo un resultado conveniente, será necesario añadir un compensador o un controlador al sistema.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = k \cdot \frac{G(s)}{1 + GH(s)}$$

Los polos en lazo cerrado son las raíces de la ecuación característica. Ecuación característica del sistema:

$$Q(s) = 1 + GH(s)$$

Luego, los polos que conforman al sistema modelado son los valores que anulan la ecuación característica del sistema:

$$1 + GH(s) = 0 \qquad GH(s) = -1$$

Aquí se supone que  $GH(s)$  es un cociente de polinomios en  $s$ . Debido a que  $GH(s)$  es una cantidad compleja, la Ecuación se divide en dos ecuaciones igualando, respectivamente, los ángulos y magnitudes de ambos lados, para obtener:

**Condición de Fase:**

$$\angle G(s)H(s) = \pm 180^\circ(2k + 1) \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

**Condición de Magnitud:**

$$|G(s)H(s)| = 1$$

Los valores de  $S$  que cumplen tanto las condiciones de ángulo como las de magnitud son las raíces de la ecuación característica, o los polos en lazo cerrado. El lugar de las raíces es una gráfica de los puntos del plano complejo que sólo satisfacen la condición de ángulo. Las raíces de la ecuación característica (los polos en lazo cerrado) que corresponden a un valor específico de la ganancia se determinan a partir de la condición de magnitud.

#### 4.2.1.1 Reglas para la construcción del Lugar Geométrico de las Raíces (LGR):

- 1) Generalidades:

- El LGR comienza en los polos y terminan en los ceros
  - El número de ramas del LGR es igual a la cantidad de raíces de  $Q_{(s)}$  (la cantidad de polos de  $GH_{(s)}$ )
  - El punto de partida del LGR ( cuando  $k = 0$ ) son los polos de  $GH_{(s)}$
  - La llegada del LGR ( cuando  $k = \infty$ ) son los ceros de  $GH_{(s)}$
  - El LGR es simétrico respecto al eje real
- 2) Existe LGR sobre una determinada porción del eje real si la cantidad de polos y ceros a la derecha de dicha porción es impar

3) Calculo de las asíntotas:

i) Cantidad =  $P - Z$  donde  $\begin{cases} P = \text{numero de polos de } GH_{(s)} \\ Z = \text{numero de ceros de } GH_{(s)} \end{cases}$

ii) Angulo:

$$\alpha = \frac{180(2n + 1)}{P - Z} \quad n = 0, 1, 2 \dots (\text{cantidad de asintotas})$$

iii) Punto de intersección con el eje real:

$$\sigma = \frac{\text{Polos} - \text{Ceros}}{P - Z}$$

4) Angulo de partida (desde los polos) del LGR:

$$\sum \text{Angulos de los ceros} - \sum \text{Angulos de los polos} = \pm 180$$

5) Intersección con el eje imaginario:

- i) Construir la tabla de Routh-Hurwitz
- ii) Determinar el límite de estabilidad  $K_{Max}$
- iii) Tomar los coeficientes  $f(k)$  y  $g(k)$  de la fila  $S^2$  en la tabla
- iv) Resolver:

$$f(K_{Max}) S^2 + g(K_{Max}) = 0 \qquad S_{1,2} = j \sqrt{\frac{g(K_{Max})}{f(K_{Max})}}$$

6) Punto de separación de ramas:

$$\frac{d}{dS} GH_{(s)} = 0$$

#### 4.2.2 Diseño del PID como método de control de temperatura del sistema

Teniendo los conceptos básicos claros para la realización del LGR de un sistema determinado se procede a implementarlo al caso de estudio en cuestión, donde, se tiene un sistema térmico cuya función de transferencia a lazo abierto viene dado de la siguiente manera:

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{1}{RCS + 1}$$

##### 4.2.2.1 Parámetros para el control de temperatura del sistema

Cuyos parámetros R y C se determinaron de la siguiente manera:

- C : Capacitancia Térmica

Donde se define de la siguiente manera:

$$C = mc \text{ donde } \begin{cases} m = \text{masa de la sustancia considerada (kg)} \\ c = \text{calor específico de la masa } (\frac{kcal}{\text{kg} \cdot \text{°C}}) \end{cases}$$

De esta manera, al trabajar con un sistema de aire acondicionado el calor específico de la sustancia a considerar será el calor específico medio propiciado por el cuerpo humano, cuyo valor viene dado por:

$$c = 3300 \frac{J}{kg \cdot K} \times \frac{0.000239 Kcal}{1 J} = 0.7887 \frac{kcal}{kg \cdot \text{°C}}$$

Donde  $K = \text{°C}$

Por lo tanto:

$$C = mc = 0.7887 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 70 \text{kg} = 55 \frac{\text{kcal}}{^\circ\text{C}}$$

· **R:** Resistencia Térmica

Para determinar este parámetro se partió del sensor RTD PT100 cuyas características esenciales son las siguientes:

- 1) Posee una resistencia que varía en proporción a la temperatura medida según la siguiente tabla:

Temperature [Celsius]	PT100 resistance [Ohms]
0	100
10	103.9
20	107.79
30	111.67
40	115.54
50	119.4
60	123.24
70	127.08
80	130.9
90	134.71
100	138.51
110	142.29
120	146.07
130	149.83
140	153.58
150	157.33
160	161.05
170	164.77
180	168.48
190	172.17
200	175.86

**Figura 8.** Parámetros del sensor RTDPT100

Fuente: RTD sensor de temperatura (pag 15)

Físicamente, los RTD consisten en un arrollamiento de hilo conductor muy fino del material adecuado, por lo que, el platino es el material más adecuado por su linealidad y precisión lo cual, al mismo tiempo facilita el estudio del comportamiento de la función de transferencia dado que no es necesario proceder a una linealización del sistema. En este sentido, el valor de la R se obtiene como el promedio de las resistencias obtenidas a lo largo de la escala contemplada del sensor RTD cuyo valor viene dado por:

$$\bar{R} = 116 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{kcal s}}$$

Por lo tanto se tiene:

$$RC = 55 \cdot 116 \cdot 6380 \text{ seg}$$

Por lo que el sistema viene dado de la siguiente manera:

$$G_{(s)} = \frac{1}{6380s + 1}$$

Luego, analizando el sistema térmico determinado antes de implementar un compensador/controlador se obtiene lo siguiente:

#### 4.2.2.2 Análisis del LGR para el control del sistema de temperatura

Polos del sistema:

$$Q_{(s)} = 1 + GH_{(s)} = 1 + \frac{1}{6380s + 1} = \frac{6380s + 2}{6380s + 1} = 0$$

Cuyo polo se encuentra en:

$$s = \frac{2}{6380} \quad 0.00031$$

Para estudiar el comportamiento del LGR del sistema se procede a evaluar distintos valores de K que establecen el comportamiento de los polos y los ceros del sistema, de esta forma se tienen:

$$G_{(s)} = \frac{k}{6380s + 1}$$

Y luego, con lo explicado anteriormente, se obtiene el LGR de dicha función realizada en MATLAB

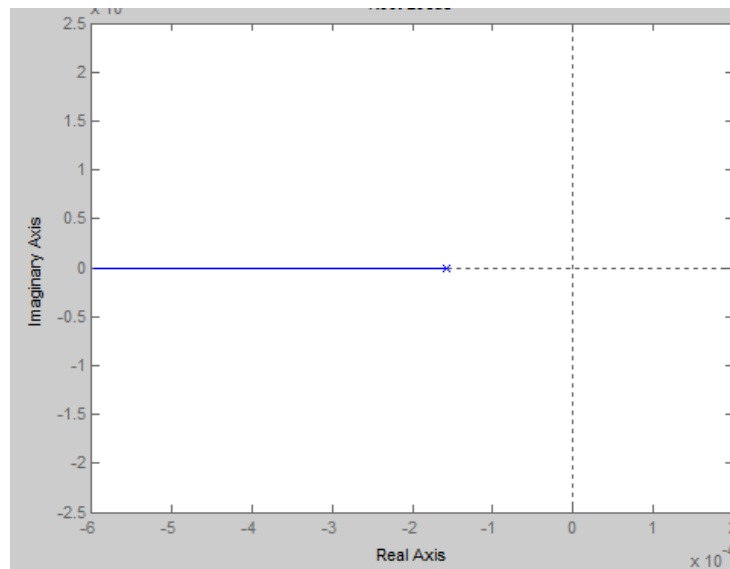
$$G(s) = \frac{1}{s + 0.00031}$$

Para el desarrollo del LGR en MATLAB se utilizó el siguiente código y se puede observar en la figura 12 el LGR de la función  $G(s)$ .

```
s=tf('s')
```

```
Gs=(1)/(s+0.00031)
```

```
rlocus(Gs)%
```

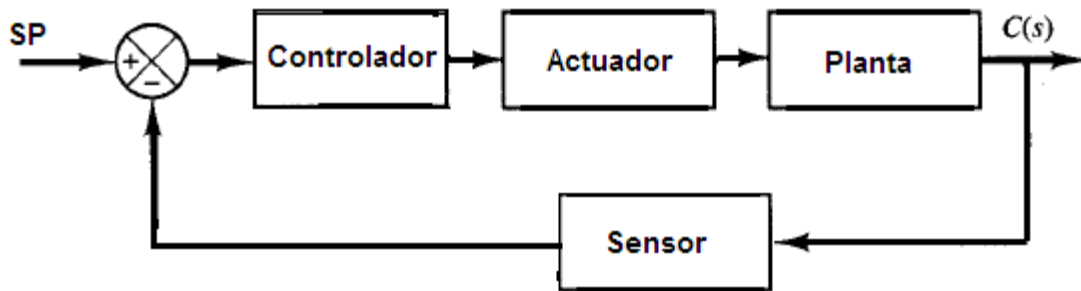


**Figura 9.** LGR de la función

Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

En la figura 12 se logra apreciar que a medida que aumenta el parámetro  $k$  los polos tienden a menos infinito (en busca de un cero)

Para añadir el controlador que más se adecue a nuestro sistema de estudio se procede a analizar según sea el caso partiendo del siguiente diagrama de bloques, el diagrama de bloques se puede observar en la figura 13.



**Figura 10.** Diseño del controlador  
Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

Es decir, basta con multiplicar la función de transferencia del controlador a añadir por la función de transferencia del sistema, en este sentido, se tienen los siguientes casos:

#### 4.2.2.4 Añadiendo un controlador PD

Se sabe que, la función de transferencia de un controlador PD viene dada por la siguiente expresión:

$$G_{c(s)} = k_c(1 + T_d S)$$

E incorporándolo al sistema se tiene:

$$G_{(s)} = \frac{k_c(1 + T_d S)}{6380S + 1}$$

Por lo que, al analizar el nuevo sistema obtenido se observa que ahora el controlador incorporado añade un cero al sistema, dicho cero se encuentra ubicado en:

$$S = \frac{1}{T_d}$$

Cuyo valor de  $T_d$  es obtenido a conveniencia para lograr que el sistema se comporte según las especificaciones del usuario

Partiendo de esto se obtiene el LGR del sistema mediante MATLAB y asumiendo un valor de  $T_d = 1$

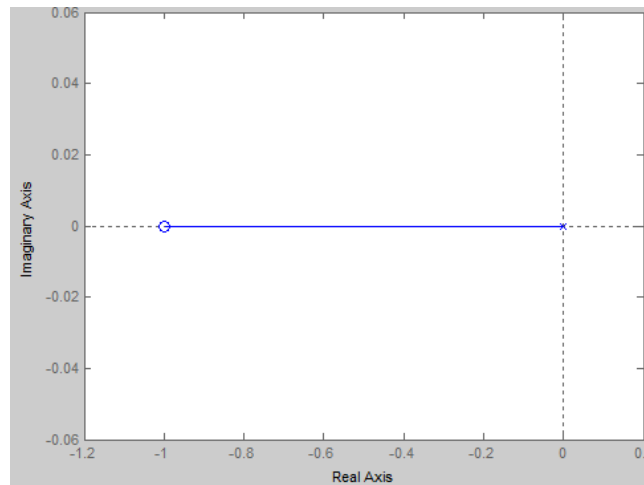
$$G(s) = \frac{k \cdot (1 + T_d s)}{s + 0.000000546}$$

Sustituyendo los parámetros ya calculados

$$G(s) = \frac{4 \cdot (1 + s)}{s + 0.000000546}$$

Para el desarrollo del LGR en MATLAB se utilizó el siguiente código, y se puede observar en la figura 14 el LGR de la función  $G(s)$ .

```
s=tf('s')
Gs=(4*(s+1))/(s+0.000000546)
rlocus(Gs)%
```



**Figura 11.** LGR de la función PD

Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

Al añadirle un cero al sistema por medio de un controlador PD se observa en la figura 14 que el comportamiento de la gráfica viene acotada por dicho cero, es decir, los desplazamientos de los polos no tienden a menos infinito sino que termina donde se ubica el cero

#### 4.2.2.5 Añadiendo un controlador PI

La función de transferencia de un controlador PI viene dada por la siguiente expresión:

$$G_{c(s)} = k_c \left( 1 + \frac{1}{TiS} \right)$$

E incorporándolo al sistema se tiene:

$$G_{(s)} = \frac{k_c(s + 1/Ti)}{s(6380s + 1)}$$

En este caso, el controlador PI incorpora al sistema original tanto un cero como un polo que vienen dado por las siguientes ubicaciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{POLO en } S = 0 \\ \text{CERO en } S = \frac{1}{Ti} \end{array} \right.$$

Obteniéndose el LGR de la siguiente manera asumiendo un valor de  $Ti = 4$

$$G(s) = \frac{k \cdot (s + \frac{1}{Ti})}{s \cdot (s + 0.000156739)}$$

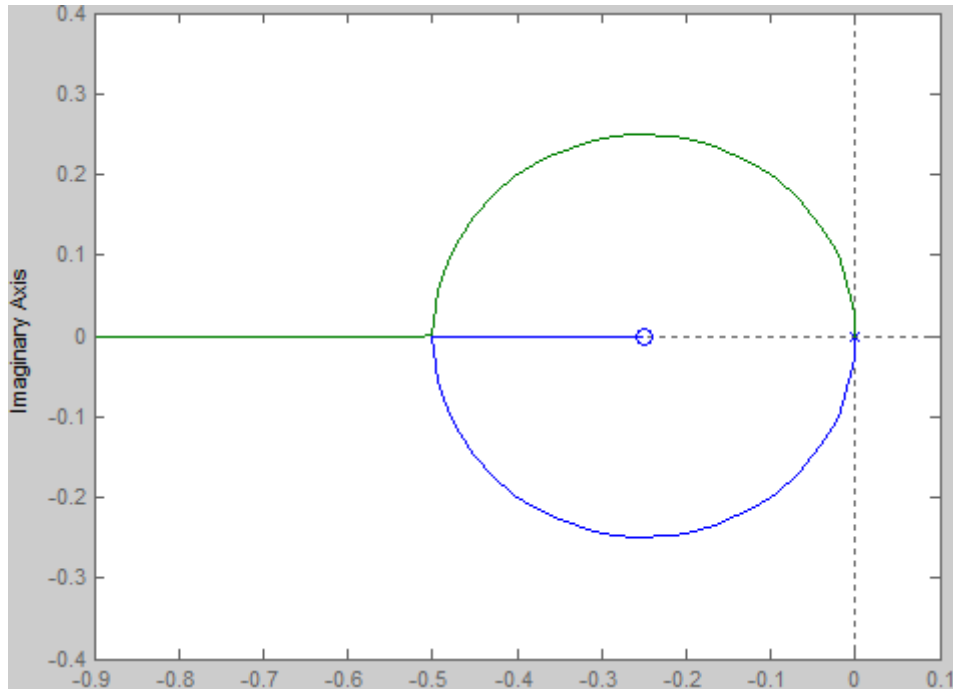
Sustituyendo los parámetros ya calculados

$$G(s) = \frac{4 \cdot (s + \frac{1}{4})}{s \cdot (s + 0.00031)}$$

$$G(s) = \frac{4 \cdot (s + 0.25)}{s \cdot (s + 0.00031)}$$

Para el desarrollo del controlador PI en MATLAB se utilizó el siguiente código, y se puede observar en la figura 14 el LGR de la función  $G(s)$ .

```
s=tf('s')
Gs=(4*(s+0.25))/(s*(s+0.00031))
rlocus(Gs)%
```



**Figura 12.** Controlador PI  
**Fuente:** Aguirre, Ferrer (2019)

#### 4.2.2.6 Añadiendo un controlador PID

La función de transferencia del controlador viene dada por la siguiente expresión:

$$G_{c(s)} = k_c \left( 1 + \frac{1}{TiS} + t_d S \right)$$

Organizando un poco la expresión, nos queda:

$$G_{c(s)} = \frac{k_c}{S} \left( T_d S^2 + S + \frac{1}{Ti} \right)$$

E incorporándolo al sistema, se obtiene:

$$G(s) = \frac{k_c(TdS^2 + S + 1/Ti)}{S(6380S + 1)}$$

Al incorporar un controlador PID se puede observar que este controlador le añade al sistema dos ceros y un polo con las siguientes ubicaciones:

- *POLO* en  $S = 0$
- Para determinar los ceros:

$$TdS^2 + S + 1/Ti = 0$$

$$S_{1,2} = \frac{1}{2Td} \pm \frac{1}{2Td} \sqrt{1 - \frac{4Td}{Ti}}$$

Y por simplicidad, se toman los valores de los parámetros antes asumidos, es decir:

- $Td = 1$
- $Ti = 4$
- $k_c > 0$
- Por lo que, en conclusión los ceros del nuevo sistema se encuentran ubicados en  $s = 0.5$

Obteniendo la gráfica del LGR se tiene:

$$G(s) = \frac{k \cdot (TdS^2 + s + \frac{1}{Ti})}{s \cdot (s + 0.000000546)}$$

Sustituyendo los parámetros ya calculados

$$G(s) = \frac{4 \cdot (s^2 + s + \frac{1}{4})}{s \cdot (s + 0.000000546)}$$

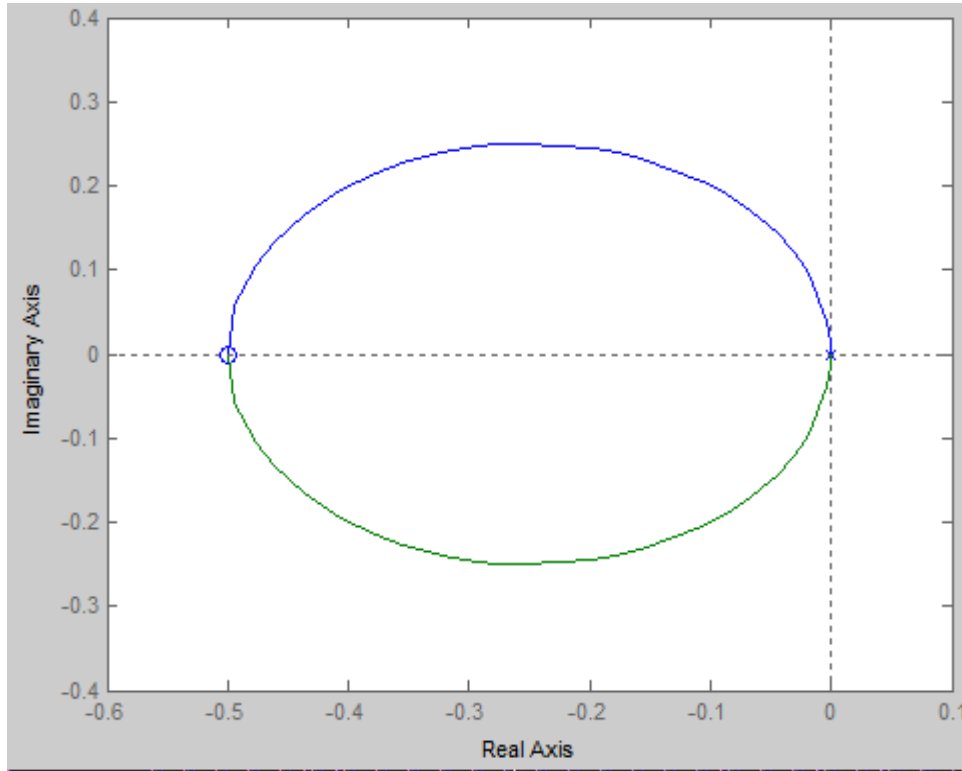
$$G(s) = \frac{4 \cdot (s^2 + s + 0.25)}{s \cdot (s + 0.000000546)}$$

Para el desarrollo del controlador PID en MATLAB se utilizó el siguiente código, y se puede observar en la figura 16 el PID de la función  $G(s)$ .

`s=tf('s')`

$$G_s = \frac{4(s^2 + s + 0.25)}{s(s + 0.000000546)}$$

rlocus(Gs)%



**Figura 13.** Controlador PID

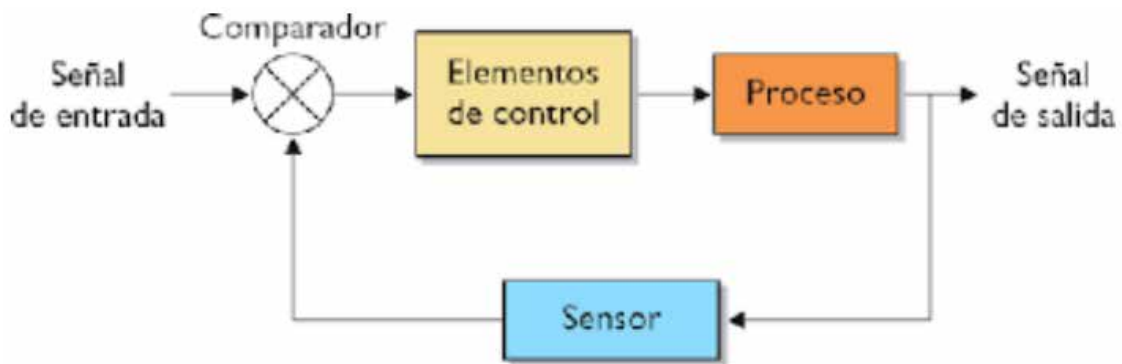
Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

Al incorporar un controlador PID se tiene un comportamiento netamente estable, es decir, para cualquier valor de  $k > 0$  el sistema siempre será estable

### 4.3 Fase III: Selección de la unidad de control, sensores y actuadores.

Al momento de seleccionar los componentes electrónicos utilizados en el sistema de control de temperatura fue importante tomar en cuenta las especificaciones técnicas del equipo de aire acondicionado.

Es importante destacar que el sistema de aire acondicionado se basa en control de sistema de lazo cerrado. Por lo que se le denominan sistemas de control de lazo cerrado o retroalimentado su funcionamiento se basa en comparar dos señales, la de referencia que es la que nosotros deseamos y la de retroalimentación en función de esta comparación la diferencia entre ambas es la señal de error aquí entra el controlador para reducir la diferencia y llevar a la salida el valor deseado.



**Figura 14.** Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: <http://guinea-edeso.blogspot.com/2012/02/ejemplos-de-control-en-lazo-cerrado.html>

Para el control del sistema del aire acondicionado se tienen varios elementos los cuales son referidos al figura 7. Estos elementos son:

- **Entrada:** Temperatura aire exterior.
- **Control:** Aparato aire acondicionado.
- **Actuador:** Refrigerador.
- **Planta:** Aire habitación.
- **Sensor:** Termostato.

Sabiendo esto se procede a escoger los elementos que conforman el sistema de control de temperatura:

#### 4.3.1 Unidad de control Arduino Uno

La unidad de control seleccionada para el sistema fue el Arduino Uno.

Para realizar el proceso de comunicación, recopilación de datos y posible visualización, se utiliza una plataforma de desarrollo digital que permita realizar estas

tareas. La plataforma de desarrollo elegida para este proyecto es Arduino, debido a su bajo costo y la existencia de una gran comunidad, desarrollando numerosos proyectos de distintos ámbitos, incluyendo el sanitario. Esta última característica es muy importante pues existen una gran variedad de proyectos realizados por diversos desarrolladores de los que se puede extraer bastante información específica sobre diversos aspectos. Esta plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, cuenta con un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing (Hodges et al., 2012). Se trata de un dispositivo que conecta el entorno analógico con el digital. Arduino se basa en un microcontrolador Atmel AVR de 8 bits, existiendo de diferentes tipos dependiendo del modelo de placa que se adquiriera. En el presente proyecto, se emplea la versión Arduino UNO, con un microcontrolador ATmega328.

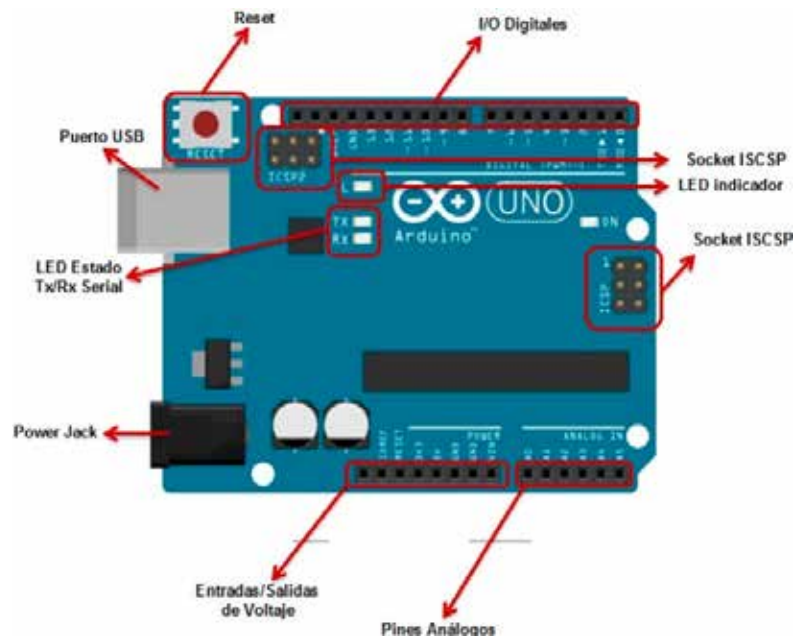
**Tabla 1.** Especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
<b>Microcontrolador</b>	ATmega328
<b>Voltaje Operativo</b>	5V
<b>Tensión de entrada (recomendada)</b>	7-12V
<b>Tensión de entrada (límites)</b>	6-20V
<b>Pines de E/S digitales</b>	14
<b>Pines de entrada analógica</b>	6
<b>SRAM</b>	2KB
<b>Memoria Flash</b>	32KB
<b>EEPROM</b>	1KB
<b>Frecuencia reloj</b>	16MHz

Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

Como se puede observar en la tabla 1, la tensión de funcionamiento de este dispositivo es de 5V, alimentado por una fuente externa de entre 6 y 20 V o vía USB. El problema de la alimentación de este dispositivo es que si se alimenta por debajo de los 7V se puede tener una tensión inestable en los pines de salida de la placa. Otro de los principales motivos por el que se ha elegido la plataforma de desarrollo de Arduino para este proyecto es el precio. Mientras que otras plataformas de desarrollo ofrecen

poca variedad de artículos con diferentes características, Arduino presenta una gran variedad de placas con distintas funcionalidades. Existen algunas con posibilidad de módulo de conexión WIFI ya incorporado, aunque siempre se puede conectar uno externo, otras con mayor velocidad de procesamiento de datos y otras con menos, y muchas otras funciones.



**Figura 15.** Placa Arduino UNO

Fuente: Manual Arduino Uno. Caceres Carlos. Página 8

#### 4.3.2 Sensor de Temperatura RTD

Un RTD es un tipo de sensor que varía la resistencia de un conductor conforme la temperatura cambia. La variación de la resistencia a una determinada temperatura dependerá del coeficiente de temperatura de la resistencia, que es una característica propia del material que es usado como RTD, en el mercado existen RTD de distintos materiales tales como: platino, cobre, níquel y molibdeno aunque el más usado es el platino por su comportamiento lineal y su rango de medida.

En la Tabla 2, se pueden apreciar las diferentes características de los materiales que son usados para la elaboración de RTD. Sepuede notar que el coeficiente de temperatura de la resistencia para el platino es de 0.00385

**Tabla 2.** Características de materiales usados en RTD

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Platino</b>	<b>Cobre</b>	<b>Níquel</b>	<b>Molibdeno</b>
Resistividad a 20°C		10.6	1.673	6.844	5.7
		0.00385	0.0043	0.00681	0.003786
Ro a 0°C		25, 50, 100, 200, 500, 1000	10 (20°C)	50, 100, 120	100, 200, 500, 1000, 2000
Margen	°C	-200 a 850	-200 a 260	-80 a 320	-200 a 200

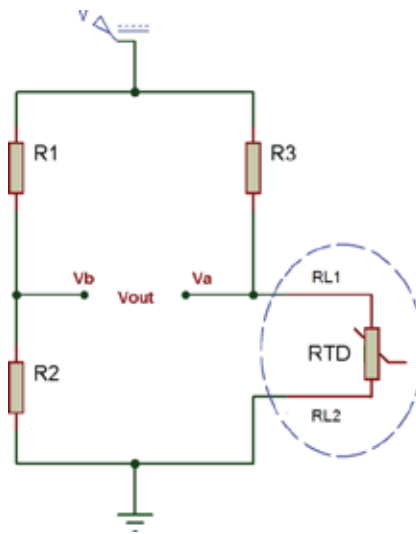
Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

Un RTD se puede conectar de tres diferentes maneras, conexión 2 hilos, conexión 3 hilos y la conexión 4 hilos, en las conexiones de 2 y 3 hilos se utiliza un puente de Wheatstone mientras que en la conexión de 4 hilos se requiere una fuente de corriente.

Así como en los termopares la unión fría generaba fallas al momento de la medición, en los RTD el largo del cable es un problema en la exactitud del sensor, ya que los cables generan cierta resistencia que se suma a la dada por el RTD generando problemas en la medición, es por eso que dependiendo de la exactitud que requiera el proceso, se utiliza una determinada conexión.

#### **4.3.2.1 Conexión de dos hilos**

La conexión dos hilos de un RTD es la más simple, pero genera un considerable error de medición causado por la resistencia de los cables (cuando estos son de gran longitud) que unen al RTD con el circuito. En la Figura 1.8, se aprecia dicha conexión



**Figura 16.** Conexión de dos hilos de un RTD.

Fuente: RTD sensor de temperatura (pag 15)

La resistencia de los cables se suma a la resistencia del RTD, este efecto hace que la temperatura marcada por el circuito sea mayor que la temperatura marcada por el RTD, generando un error de medición.

### 4.3.3 Sensor de presión

El sensor de presión es un dispositivo capaz de medir la presión de gases o líquidos. En este contexto, la presión es una expresión de la fuerza necesaria para impedir la expansión de un fluido. Normalmente se expresa en términos de fuerza por unidad de área. En general, los sensores de presión funcionan como un transductor; es decir, generan una señal en función de la presión a la que se someten. Para los propósitos de este artículo, esa señal es eléctrica. Los sensores de presión se utilizan en miles de aplicaciones cotidianas de control y monitorización. También se pueden utilizar para medir de forma indirecta otras variables, como flujo de fluidos, gases, velocidad, nivel de agua o altitud. Los sensores de presión también pueden denominarse transductores de presión, transmisores de presión, registradores de presión, indicadores de presión, piezómetros y manómetros, entre otros nombres.

Existen muchísimas variantes de sensores de presión en cuanto a tecnología, diseño, prestaciones, idoneidad de aplicación y coste. Según una estimación

conservadora, existen más de cincuenta tecnologías y al menos trescientas empresas que fabrican sensores de presión en todo el mundo.

También existe una categoría de sensores de presión diseñados para medir de modo dinámico y detectar cambios muy rápidos de presión. Esta clase de sensores se emplean, por ejemplo, para medir la presión de combustión en el cilindro de un motor o en una turbina de gas. Este tipo de sensores se fabrican típicamente en materiales piezoeléctricos como el cuarzo.

Algunos sensores de presión actúan como presostatos y abren o cierran un contacto eléctrico cuando se alcanza una determinada presión. Por ejemplo, una bomba de agua puede controlarse mediante un presostato, de modo que la bomba se ponga en marcha en el momento en que un sistema empieza a liberar agua y se registra una reducción de la presión en un depósito.

#### **4.4 Fase IV: Desarrollo del software del sistema de control de temperatura de aire acondicionado de autobuses.**

Conociendo los resultados obtenidos en la fase II y III se seleccionaron los componentes y se realizó el diseño del PID, de esta manera se procederá al desarrollo de la interfaz HMI. Para esta elección se han tenido en cuenta el cumplimiento de las especificaciones anteriormente estudiadas además de otros factores.

##### **4.4.1 Software de Programación LABVIEW**

Para realizar el almacenamiento de la señal, adquisición de datos, análisis de mediciones y presentación de datos, se seleccionó el software de programación LABVIEW, que por sus siglas especifica Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. El cual este es un entorno de programación gráfico, que posee funciones integradas para efectuar control de instrumentos. Este software de programación nos permite directamente obtener la señal biomédica por medio del arduino y de esta manera realizar un análisis y procesamiento de la misma. Por otro lado nos permite realizar la interfaz usuario donde es posible la visualización de datos y visualización de la señal biomédica en tiempo real.

Para el proyecto se escogió específicamente este software de programación ya que posee las siguientes características que se detallan a continuación:

- Análisis y procesamiento de datos.
- Interfaz de usuario.
- Visualización de datos.
- Almacenamiento de datos.
- Reporte de datos.

LABVIEW es un software de gran utilidad puesto que nos permite la realización de instrumentos virtuales, un instrumento virtual es aquel que no es real, se ejecuta en un computador y sus funciones quedan definidas por software. La instrumentación virtual se basa en la utilización del computador como instrumento de medición de una o varias variables físicas ya sean estas de presión, caudal, temperatura, que se representen mediante señales analógicas de voltaje o corriente, en nuestro caso la señal biomédica. El término virtual le permite al instrumento no estar limitado a realizar ciertas funciones y operaciones puntuales, ya que el programador será quien definirá la apariencia, funcionamiento, y los análisis que deberá realizar el instrumento creado. Este es un punto importante ya que no tenemos limitaciones a la hora de diseñar nuestro programa.

Por otra parte este instrumento virtual se complementara con el hardware adecuado para la adquisición de datos (DAQ), la cual en el apartado anterior fue seleccionada la placa Arduino, lo cual da una gran flexibilidad para crear una variedad de aplicaciones que puedan ser manipuladas por software. El instrumento virtual queda definido como el hardware y software, que sumado a un computador, permite a una persona interactuar con esta como si estuviera utilizando un equipo o instrumento electrónico hecho a su gusto.

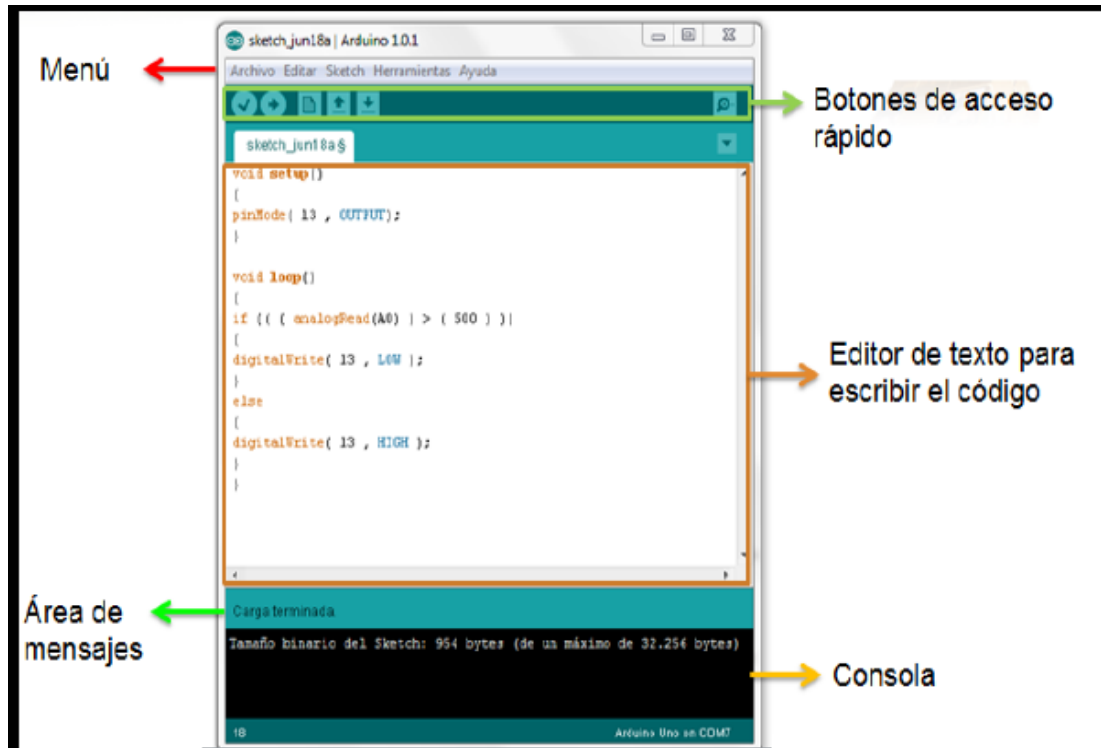
#### **4.4.2 Plataforma de desarrollo Arduino**

Es una plataforma electrónica para prototipos de código abierto, está diseñada para hacer el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios accesible

fácilmente. El hardware consiste en un diseño simple para la tarjeta Arduino, con un procesador Atmel AVR y soporte de entradas y salidas de la tarjeta. El software consiste en un lenguaje de programación estándar y un boot loader que se ejecuta en la tarjeta. El hardware es programado empleando un lenguaje basado en cableado (sintaxis + librerías), muy similar a C++ con algunas simplificaciones y modificaciones, y un entorno de desarrollo integrado basado en Processing (IDE).

El Arduino es básicamente una placa con un microcontrolador. Un microcontrolador (abreviado  $\mu$ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Para empezar a programar la placa del Arduino UNO es necesario descargarse el programa de la página web de Arduino el entorno de desarrollo IDE. Se dispone de versiones para Windows y para MAC, en la Figura 5 se muestra el aspecto del entorno de programación, el cual está constituido por un editor de texto para escribir el código, una consola de texto, un área de mensajes, una barra de herramientas con botones para las funciones más comunes, y una serie de menús. Permite la conexión con el hardware de Arduino para cargar los programas y comunicarse con ellos.



**Figura 17.** Plataforma de desarrollo Arduino  
 Fuente: Desarrollo de un dispositivo Arduino, Página 5

Cuando se programa en el entorno de Arduino existe la posibilidad de buscar, reemplazar, cortar y pegar texto lo que facilita la programación. En el área de mensajes se puede observar la información mientras se ejecutan los programas y también muestra los errores de los programas. La barra de herramientas permite verificar el proceso de carga de la tarjeta Arduino, guardado de programas, y la monitorización serie.

#### 4.4.3 Diseño de la interfaz HMI

Estableciendo el PID para control de temperatura del sistema, se procederá al diseño de la interfaz gráfica para observar la señal analógica el cual se dividirá el trabajo en tres secciones:

- Diseño de la conversión analógica-digital en el software Arduino.
- Diseño de la comunicación entre Arduino y LABVIEW.

- Diseño de la interfaz en el software LABVIEW.

#### 4.4.3.1 Diseño de la conversión analógica-digital en el software Arduino

Para establecer una comunicación entre la resistencia RTD, y la interfaz electrónica Arduino Uno, se hace necesario el uso de un firmware, es decir, un código que debe ser cargado a la placa arduino para que ésta interprete adecuadamente las señales que el dispositivo envíe, además de que el software pueda reconocer el puerto de la computadora adecuadamente y se establezca una comunicación exitosa entre ellos. Antes de proceder con el desarrollo del código fuente se elaboró un diagrama de flujo en donde se detalla los procesos que conlleva cada etapa de programación, (ver figura 18.) Para este sistema se ha hecho uso de varias funciones que ejecutan una tarea específica del sistema.



**Figura 18.** Diagrama de flujo del programa Arduino

Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

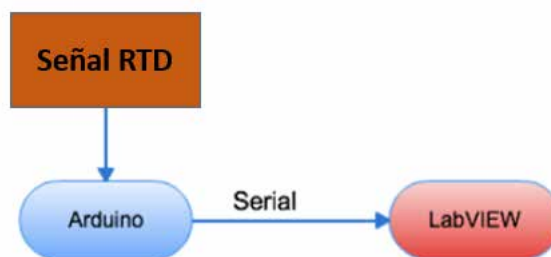
En la figura 18 se puede observar el diagrama de flujo del programa Arduino el cual especifica que es necesario añadir las librerías específicas para las distintas conexiones entre Arduino y la plataforma de desarrollo Labview, seguidamente se hace la declaración de variables estáticas, variables de entrada y salida para el manejo del programa y por último se declaran los puertos dependiendo de cuantas señales de entrada y salida manejos. En nuestro caso tenemos una variable de entrada la cual será

conectada por el pin A0 proveniente de la salida de la resistencia RTD y tenemos una señal de salida que genera el dispositivo Arduino la cual esta será enviada a la plataforma de desarrollo Labview.

#### 4.4.3.2 Diseño de la comunicación entre Arduino y LABVIEW.

Una vez establecido el código en Arduino para detectar la señal de la resistencia RTD, vamos a realizar una primera comunicación direccional, en este caso solo enviaremos datos desde el Arduino hacia el LABVIEW.

En la figura 19, se muestra un diagrama de bloques entre el Arduino y el software LABVIEW.

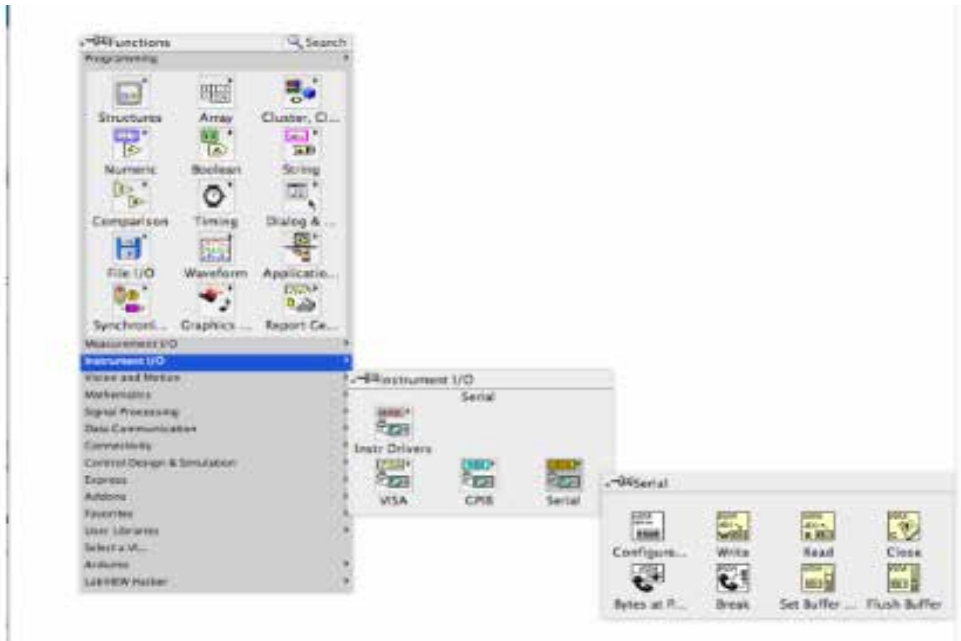


**Figura 19.** Comunicación Unidireccional

Fuente: Aguirre, Ferrer (2019)

Para establecer el acceso al puerto serial desde LABVIEW se debe iniciar una sesión VISA añadiendo un bloque “VISA configure serial port”, para realizar esto seguimos los siguientes pasos:

- 1) Abrir la pantalla LABVIEW y escoger como plantilla un documento en blanco Pulsamos con el botón derecho sobre ella, desplegando el menú de funciones y nos desplazamos hasta la categoría Instrument I/O -> Serial



**Figura 20.** Comunicación Arduino- LabView (paso #1).  
**Fuente:** Aguirre, Ferrer (2019)

2) Luego insertamos los bloques  
 (Observar figura 20).



**Figura 21.** Comunicación Arduino- LabView (paso #2).  
**Fuente:** Aguirre, Ferrer (2019)

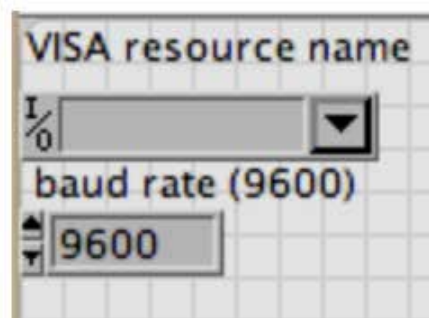
3) Lo siguiente es crear el bucle  
 donde ejecutaremos el programa e introducimos en él los  
 bloques de



**Figura 22.** Comunicación Arduino- LabView (paso #3).  
**Fuente:** Aguirre, Ferrer (2019)

4) Se utilizaron dos controles para poder seleccionar el tipo de placa que utilizaremos y la velocidad de transmisión. Para ello, en el bloque hacemos clic derecho sobre la opción que deseemos y seleccionamos

De esta manera creamos los controles el primero VISA resource name, el cual sirve para escoger el puerto COM por el cual está conectado el dispositivo Arduino, el segundo baud rate la velocidad de conexión del puerto serial por defecto se coloca en 9600 ya que inicialmente en el código de Arduino se estableció de esta manera y para que la comunicación sea efectiva estos valores deben coincidir.



**Figura 23.** Comunicación Arduino- LabView (paso #4).  
**Fuente:** Aguirre, Ferrer (2019)

## CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones más resaltantes del estudio realizado, así como las recomendaciones para futuras investigaciones.

El desarrollo de este proyecto de grado se aplicaron los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica mención control y automatización, siendo esta carrera unos de los pilares más importantes en el campo industrial.

El proyecto de grado realizado, cumple con el objetivo principal planteado el cual es diseñar un sistema de control de temperatura para equipos de aire acondicionado de autobuses.

Se usó un algoritmo PID ya que este algoritmo es el más usado en comparación con otras teorías de control aplicadas a la industria, además su sobre-impulso está dentro del 25% permitido y su comportamiento es el más estable posible dentro de todo el proceso de control de temperatura.

Por medio del Lugar geométrico de las raíces se logró evaluar el desempeño del sistema térmico en estudio, partiendo de esto se obtuvieron tres tipos de comportamientos según lo especificado por los controladores añadidos al sistema, donde, a conveniencia, se ajustaron los parámetros de dicho controlador para modificar el comportamiento del sistema para que este de alguna manera u otra siempre permanezca como un sistema estable a lo largo del tiempo.

Se observó que, el comportamiento de los polos de los sistemas a medida que se aumentaba un parámetro  $K$  tendían en busca de los ceros, y, a diferencia del sistema original (el cual no posee ceros) los polos tienden a dirigirse hacia el infinito (hacia el lado más izquierdo del plano  $S$ ).

El uso de lenguajes de programación de alto nivel (Matlab, Arduino, Labview, Compiladores de programación para microcontrolador, etc.) facilita ampliamente la implementación de controlador PID, u otro tipo de esquema del

controlador sobre dispositivos microcontrolador, abriendo así una alternativa de desarrollo de sistemas de control. Estos lenguajes permiten fácilmente adicionar periféricos para ingreso de datos y supervisión de variables de estado del sistema del controlador como también se reduce el tiempo de sintonización del PID al emplear simulaciones en PC.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación del sistema propuesto en el presente trabajo de investigación.

Se puede mejorar el rendimiento del ambiente de desarrollo, si se trabajara con una plataforma que cuente con mayor rapidez de su señal de reloj, porque permite que los algoritmos se ejecuten con mayor velocidad.

Actualmente existen otras referencia de Arduino que poseen mayor resolución en los convertidores análogos digitales e incluso con salidas de conversores digital análogo, como el Arduino due y con una frecuencia de reloj de 84 MHz, lo que podría simplificar a un más el circuito de la etapa de potencia y proveer una mejor exactitud en la lectura y escritura de datos.

Se recomienda limitar la cantidad de datos que son enviados a través del protocolo de comunicación serial, debido a que esto consume tiempo que se podría utilizar haciendo otras tareas o incrementando la velocidad de ejecución de los algoritmos.

Se recomienda eliminar la necesidad de tener un computador dedicado para la ejecución de estos algoritmos, si se trabajara con un sistema embebido que integre la ejecución del controlador e interfaz de usuario o HMI.

## REFERENCIAS

### **Bibliográficas**

- Arias, F. (2016). **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica.** Caracas: Editorial Episteme.
- Dubs de Moya, R. (2002). **El Proyecto Factible: una modalidad de investigación.** Caracas, Venezuela.
- Franco, I. (2018). **Propuesta de mejora del proceso de distribución de agua mediante la implementación de un sistema automatizado para la empresa Colgate-Palmolive Company.** Carabobo: Editorial UJAP
- Hurtado, J. (2010). **El proyecto de investigación.** Caracas: Editorial Quirón.
- Mijares, H y García, L. (2007). **Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado.** Carabobo: Editorial UJAP
- Sabino, C. (2003). **Introducción a la Metodología de Investigación.** Caracas: Editorial: Panapo.
- Tamayo, M. (2003). **El proceso de la investigación científica.** 3ra edición. México: Editorial Limusa.

### **Electrónicas**

- Bach M. (2013). **Diseño e implementación de un PID de temperatura controlado a distancia para un prototipo de incubadora.** [En línea]. UCSM de Perú. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/4229>
- Fuertes G. (2017). **Diseño e implementación de un módulo educativo para el control de temperatura.** [En línea]. PUCP de Perú. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8629>
- Ochoa G. (2012). **Identificación y diseño del controlador para un sistema de control de temperatura de agua en un tanque.** [En línea]. ESPOL de Ecuador. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21330/2/control%20de%20temperatura%20de%20agua%20en%20un%20tanque.pdf>