



Control de la temperatura en el interior del habitáculo de un vehículo

Temperature control inside the habitacle of a vehicle

Vicente Rojas Reinoso*
Vicente Romero Hidalgo**
Johnny Pancha Ramos***
Jorge M. Néjer Guerrero****

(Recibido el 21-11-2019. Aprobado el 03-02-2020)

Estilo de citación de artículo:

V. Rojas Reinoso, V. Romero Hidalgo, J. Pancha Ramos, y J. M. Néjer Guerrero, "Control de la temperatura en el interior del habitáculo de un vehículo", *Lámpsakos*, (23), pp. 79-91. (enero-junio, 2020). DOI: 10.21501/21454086.3462

Resumen

El presente trabajo analiza las variables que influyen en el gradiente térmico del habitáculo en vehículos, se establecen los parámetros de los elementos con el fin de determinar la función de transferencia del sistema, logrando mantener el control de temperatura en dicho espacio; el circuito electrónico actúa con base en los parámetros y datos obtenidos de los distintos dispositivos instalados, lo cual permite mantener una temperatura de confort adecuada para la lucidez del conductor y sus ocupantes, reduciendo la fatiga por calor y evitando posibles siniestros de tránsito que se presentan frecuentemente en las carreteras del país. El objetivo principal para la optimización de las condiciones de manejo son los sistemas climatizados que, además de permitir la estabilización de temperatura cuando el vehículo está en funcionamiento, también logra hacerlo cuando se encuentre estacionario en todas sus condiciones; ya que, de esta manera, permite disminuir el riesgo a la salud y, por lo tanto, a la gestión realizada por el conductor y sus ocupantes.

Palabras clave: Calor, Calor latente, Calor Sensible, Temperatura, Transferencia de Calor, Automatización, Control Automático, Electrónica, Circuito Electrónico, Climatización, Flujo de aire.

* Master en Sistemas Automotrices, Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Contacto: evrr_1989@hotmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5658-3055>

** Master en Ingeniería Mecánica, Universidad Castilla La Mancha. Ecuador. Contacto: vromero@hotmail.es, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2317-7071>

*** Master en Sistemas Automotrices, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. Contacto: johnnypancha_ing@outlook.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7320-2154>

**** Master en Energías Renovables, filiación institucional. Ecuador. Contacto: jmnejer@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-2585>

Abstract

The present work analyzes the variables that influence the thermal gradient of the passenger compartment in vehicles; the parameters of the elements are established in order to determine the transfer function of the system, managing to maintain temperature control in said space; the electronic circuit operates based on parameters and data obtained from devices installed, which allows to maintain a comfort temperature suitable for the clarity of the driver and occupants, reducing heat stress and avoiding possible traffic accidents occurring frequently on country roads.

The main objective to optimize driving conditions are heated systems that also allow temperature stabilization operation of the vehicle, also achieved when the same be steady in all conditions; because in this way, you can reduce the risk to health and therefore the management by the driver and occupants.

Keywords: Heat, Latent Heat, Sensitive Heat, Temperature, Heat Transfer, Automation, Automatic Control, Electronics, Electronic Circuit, Climate Control, Air Flow.

1. INTRODUCCIÓN

La función principal del control de temperatura es mantener lúcido al conductor e incidir en el cuidado de la salud de todos sus ocupantes, de modo que brinda confort climático, mediante el tratamiento del aire en el habitáculo y, permitiendo su regulación por medio de controles de fácil operación [1].

La temperatura ambiente ideal para mantener la concentración, lucidez y confort oscila entre 18 °C y 25 °C, a diferencia de la del cuerpo humano que oscila entre los 35,5 °C y los 37 °C. [2].

En condiciones normales de operación, la diferencia de temperatura del habitáculo y el exterior debe estar entre los 8°C a 10°C, siendo menor la del habitáculo. Cuando la temperatura ambiental excede los 26.6°C, el interior del vehículo puede alcanzar los 40.6°C en menos de 20 minutos y resultar perjudicial para las personas que se encuentran dentro del habitáculo [2].

Se debe considerar que no todas las personas reaccionan del mismo modo ante determinadas características de ambiente térmico, hay personas que sienten frío en mayor o menor intensidad o medida. En ese sentido se ha definido la opinión Media Estimada, o PMV por sus siglas en inglés (*Predicted Mean Vote*), la cual es un índice establecido para reflejar la opinión media estadística de un grupo numeroso de personas respecto a la sensación térmica percibida en un ambiente dado, definido por un conjunto de parámetros.

Efectivamente, es casi imposible que una combinación dada de valores de los parámetros sea capaz de satisfacer a todos, desde el punto de vista térmico. Para este índice se considera que se aproxima más la opinión, cuando el valor se aproxima a cero, pero se consideran valores adecuados los comprendidos entre $-0,5 < PMV < +0,5$ [3].

La percepción de ambiente y confort térmico no es algo que dependa únicamente de los parámetros ambientales, es decir, de la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del aire, la temperatura

radiante [4]. También se considera la comodidad térmica, misma que está sujeta a tres factores: el factor humano, que incluye la manera de vestir, el dinamismo y el tiempo durante el cual las personas permanecen activas que influye sobre la comodidad térmica.

El aire: temperatura, velocidad y humedad relativa.

El espacio: la temperatura radiante media de las paredes o límites del espacio considerado.

Un vehículo está expuesto a todo tipo de condiciones climáticas que de una u otra forma afectan la temperatura en el interior de este, las variables relacionadas a este fenómeno son la temperatura, la humedad y la variación de calor [5].

Materiales y métodos

La generación del control de temperatura en un ambiente cerrado o habitáculo se realiza mediante el control de dispositivos o actuadores que se comandan por medio del módulo de control y la adquisición de señales o datos provenientes de sensores colocados estratégicamente.

Para iniciar, se deben seleccionar dichos dispositivos de control y comandos operacionales que comandarán todo el sistema.

Con la ayuda de dispositivos electrónicos como el amplificador operacional, podemos manejar la diferencia de entradas, una alta ganancia, una impedancia de entrada muy alta y una baja impedancia de salida.

El amplificador operacional cuenta con 2 entradas: la entrada inversora (-) y la entrada directa (+) y cuenta con una sola salida, este dispositivo se alimenta generalmente por una fuente de voltaje de doble polaridad que está en los rangos de +/- 5 voltios a +/- 15 voltios. [6]

Adicional se hace uso de un dispositivo inversor con el cual se invierte la señal de entrada (Fig. 1).



Fig. 1: Señal de salida del inversor.

La relación de magnitudes entre la entrada y la salida del amplificador operacional se denomina ganancia del amplificador y depende de los valores de las resistencias R_1 y R_2 , viene dada por la fórmula:

$$A_v = \frac{-R_2}{R_1} \quad (1)$$

Se acopla un seguidor de tensión, en el cual las formas de onda entrada / salida serían iguales y estarían en fase [7]. La Fig. 2 muestra el diagrama del seguidor de tensión.

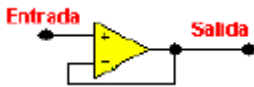


Fig. 2: Seguidor de tensión.

Para estabilizar el sistema y sus señales, se hace uso de la Acción de Control Proporcional Integral (PI) que considera el acoplamiento de la unión de un controlador proporcional y uno integral, en una acción de control integral la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2)$$

$$u(t) = k_i \int_0^t e(t) \quad (3)$$

donde $K_i K_i$ es una constante ajustable.

Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $u(t)$ varía al doble de velocidad y, cuando el error es cero, el valor de $u(t)$ permanece estacionario. Esta acción de control integral se denomina control de reajuste. Ecuación 3.

En el control proporcional integral decrece el tiempo de subida, se incrementa el sobrepaso y el tiempo de estabilización. Como se mencionó anteriormente en la parte integral, el polo en el origen vuelve a un sistema de segundo orden menos estable, por lo que la parte proporcional ayuda a la estabilización del sistema, con lo que se logra resolver el problema de volatilidad de señal [2].

La acción de control proporcional-integral se define mediante:

$$u(t) = K_p d(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \quad (4)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_i se denomina tiempo integral.

Con base en el análisis Acción de Control Proporcional Integral (PI) se realiza la contraparte del Control proporcional-integrativo (PI).

Si la función de transferencia del proceso no contiene un integrador ($1/s$), implicará que exista un error de régimen $e(s)$ en la respuesta a escalón del sistema. Este desfase puede ser eliminado si se incluye la acción integrativa. Al aplicar esta acción, se puede dar el caso de que la señal de control $u(t)$ tenga un valor diferente de cero cuando el error $e(t)$ es cero.

Para la obtención de este tipo de acción se añade a la parte proporcional el resultado de integrar la señal de error habiendo afectado a esta por una cierta constante denominada constante de integración [6].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3462>

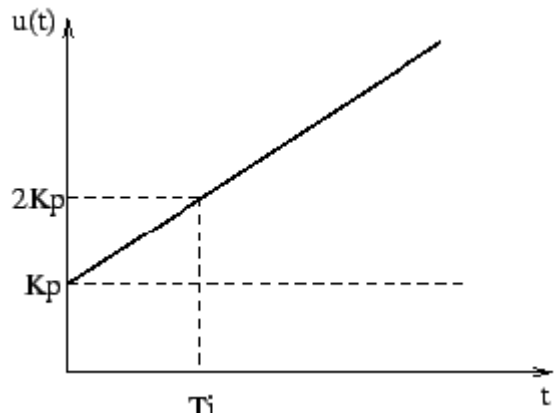


Fig. 3: Sistema con controlador PI [8].

Una vez estabilizado el sistema en razón de las señales y su tratamiento, se elige trabajar con el sensor de temperatura de la serie LM35. Este es un sensor de precisión, sus voltajes de salida son linealmente proporcionales a la temperatura en grados centígrados. El dispositivo tiene algunas ventajas sobre los sensores de temperatura lineales calibrados en grados Kelvin, debido a que no requiere ninguna calibración externa y posee una baja impedancia [9].

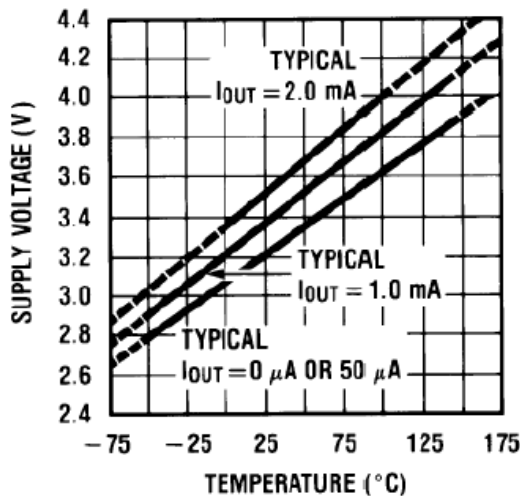


Fig. 4: Voltaje vs temperatura sensor LM35.

Para distribuir el aire en el habitáculo se incorporan ventiladores de tipo fan cooler, cuyo consumo eléctrico está en el orden de 1kw por mes, estos permiten un

control focalizado del enfriamiento o climatización de espacios reducidos como es el caso del área automotriz.

En la Fig. 5 se muestra el modelo físico del sistema de control de la función de transferencia de manera simplificada, el cual permite observar los puntos de control y dispositivos actuadores.

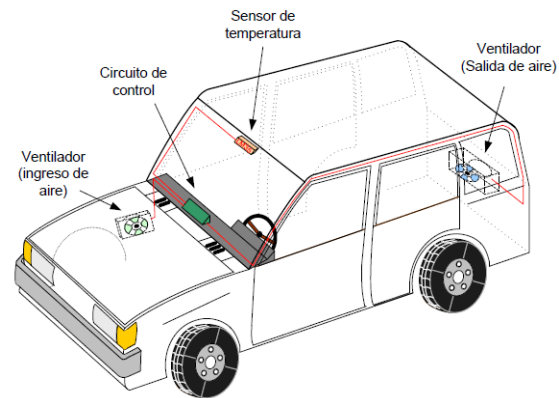


Fig. 5: Esquema del modelo físico.

Para la realización del análisis energético y ahorro se usa un variador de velocidad y se considera como variable el consumo de energía a velocidad constante, con este análisis se logra determinar el consumo de energía, así como el nivel de flujo de aire en los puntos de operación o nivel de carga analizados, dicho procedimiento contempla dos fases de análisis: la primera consiste en el desarrollo de un ciclo de carga-servicio que permite asignar en cada nivel de carga en horas de operación y, la segunda que determina la potencia de entrada al motor, bajo cada nivel de carga, medido en kW.

El cálculo del consumo de energía (kWh) es el producto de la potencia por las horas de operación.

El consumo de energía se obtiene sumando energía consumida en todos los niveles de carga a velocidad constante.

Para el análisis de estas dos fases son necesarios datos derivados u obtenidos en sitio; el ciclo de carga es la fracción de tiempo en un año de trabajo de una máquina operando en distintos niveles de carga, tomando en consideración los tiempos de parada que puedan suscitarse por mantenimiento u otras razones; por otro lado, la potencia de entrada al motor puede medirse directa o indirectamente, a partir de medidas de flujo de aire, curvas características y eficiencia del motor medido en cada nivel de carga.

El cálculo realizado a velocidad constante es directo considerando la medida de los niveles de flujo.

El otro análisis es la operación del sistema a velocidad variable, este permite predecir el consumo de energía siempre y cuando se tenga el control de la velocidad del motor.

Las variables para este análisis son las siguientes: curvas características, ciclo carga-servicio, curva del sistema, y puntos de caudal a velocidad constante.

De la misma forma que se calculó en el caso de velocidad constante, la potencia eléctrica a velocidad variable se mide y calcula en cada punto de operación, por ende, el producto de la potencia por las horas de operación da como resultado el consumo anual de energía en cada nivel de carga, la suma de estas potencias representa el consumo anual operando a velocidad variable.

Las condiciones de funcionamiento trabajan con criterios distintos, por lo cual se genera un factor de conversión; al usar la tabla de datos de características del motor de cc del ventilador, esta nos muestra que la velocidad es de 2815 rpm, por lo que podemos determinar de forma lineal el flujo de aire que es transportado por el mismo.

Tabla I Especificaciones NMB 4710NL-04W-B59

VENTILADOR	
Código	4710NL-04W-B59
Formato	CUADRADO
Tamaño (mm)	119x25
Tensión (volts)	12
Potencia (W)	6,6
Rpm (vueltas / minuto)	2800
FLUJO (l/segundo)	43.7
Tipo *	FAN
Marca	NMB

Flujo de aire = 43.7 l/s = 41.8kg/s

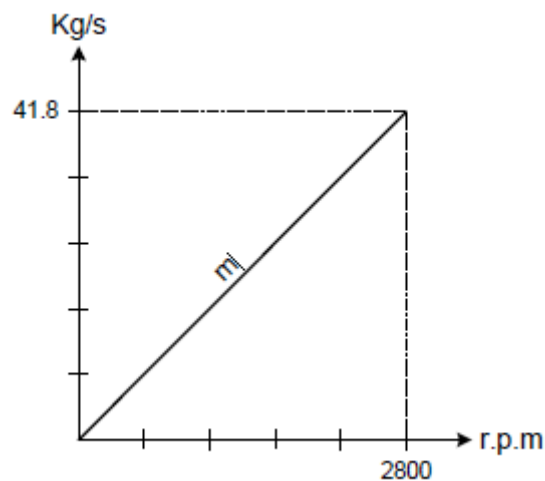


Fig. 6: Flujo de aire del ventilador.

Se aplican las siguientes ecuaciones para generar un comportamiento lineal de funcionamiento del ventilador:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = 0.01492$$

Entonces:

$$F(s)_4 = K$$

$$F(s)_4 = 0.01492$$

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3462>

Para el cálculo de la función de transferencia tomamos en consideración la temperatura máxima que se puede soportar en el interior del vehículo que no puede exceder los 50°C, los ventiladores producirán un flujo de aire adecuado manteniendo el interior del vehículo a 20°C [2].

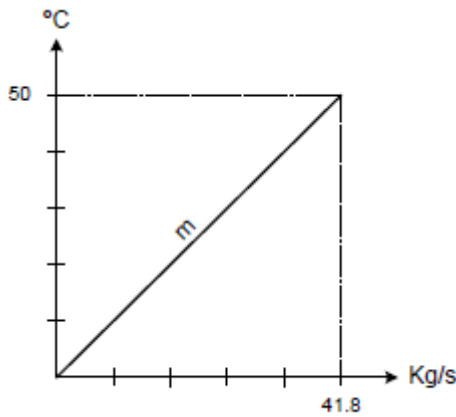


Fig. 7: Flujo vs temperatura máxima.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = 1.19$$

Entonces:

$$F(s)_s = \frac{K}{s + 1}$$

$$F(s)_s = \frac{1.19}{s + 1}$$

El sistema de climatización es retroalimentado, de forma que cuenta con un circuito integrado de precisión (sensor de temperatura) LM35 y para el cálculo de la función de transferencia vamos a tomar en consideración los valores de voltajes en las temperaturas en el rango de calibración de 0°C y 50 °C.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = 0.06$$

Constante de tiempo para una LM35:

$$\tau = \frac{1}{T}$$

$$\tau = \frac{1}{50} = 0.02$$

Entonces:

$$H(s) = \frac{K_t}{\tau s + 1}$$

$$H(s) = \frac{0.006}{0.02s + 1}$$

Para el control de las señales obtenidas se diseña un sistema de control que tendrá un filtro que tiene la siguiente función de transferencia:

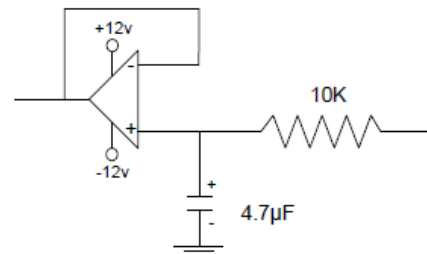


Fig. 8: Filtro.

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{0.047s + 1}$$

Con las funciones de transferencia obtenidas, el diagrama de bloques se estructura de la siguiente manera [7]:

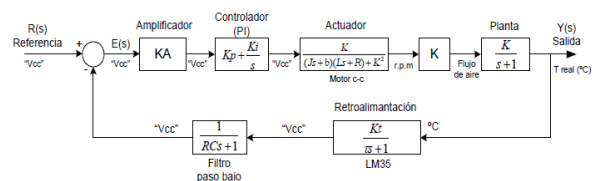


Fig. 9: Diagrama de bloques.

Reemplazando los valores de cada una de las funciones de transferencia tenemos [7]:

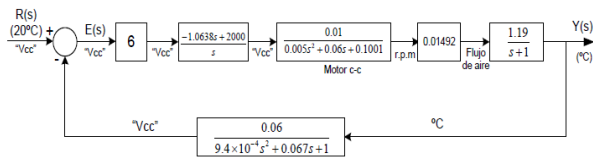


Fig. 10: Diagrama de bloques con funciones de transferencia.

Realizando la simplificación de los diagramas de bloque indicados previamente se obtiene:

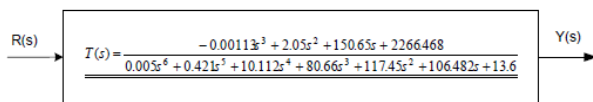


Fig. 11: Reducción de diagramas de bloques.

Resultados y discusión

Con la variación del cambio climático, la salud de los ocupantes dentro de lugares cerrados genera mucha preocupación, sobre todo en los habitáculos de los vehículos, por lo que las grandes compañías vienen desarrollando sistemas de control climatizados, sin embargo, no se consideran o se olvidan las condiciones de estacionarios de los vehículos, estas se ven alteradas constantemente con el pasar de las horas, de manera que provocan la acumulación de gases, bacterias y condiciones térmicas extremas en relación al exterior debido a que son habitáculos cerrados, por lo cual en este trabajo se estructura un sistema de control de bajo consumo que permite mantener condiciones controladas y, sobre todo, en una preestablecida por el conductor del vehículo, para así optimizar las condiciones de uso, por lo que disminuye el estrés, la afectación a la salud y mejora la confortabilidad de los ocupantes.

La susceptibilidad de la temperatura al control viene dada por los siguientes aspectos:

- Al hacer uso de un sensor de temperatura, se puede leer la temperatura del habitáculo (T muestra).
- Se pueden realizar comparaciones de la temperatura de muestra con la de ajuste (T ajuste), entendiendo que los sensores dan variaciones lineales de voltaje con respecto a la temperatura
- Se logra determinar el valor del voltaje de entrada (T entrada) necesario para que la temperatura de la muestra se acerque lo mejor posible a la temperatura de ajuste.
- Es fácil influir en su valor para hacerla que aumente o disminuya dependiendo de las necesidades.
- Los sensores existentes para este propósito son muy variados y fáciles de conseguir en el mercado.

Las unidades de medida estarán relacionadas correctamente con la salida de cada uno de los elementos del sistema de control, por lo que se tiene el siguiente diagrama de bloques que las relaciona [7]:

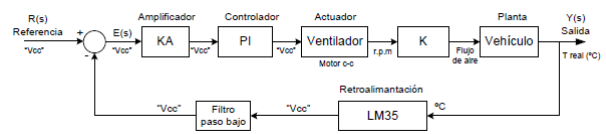


Fig.12: Diagrama de bloques.

Los dispositivos usados en el presente trabajo son adecuados matemáticamente acorde a sus características propias mismas que pueden variar de acuerdo con la necesidad del sistema a implementarse o a las condiciones externas de operación del circuito. Las características y ecuaciones generadas se muestran a continuación:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3462>

Amplificador control de inversor.

Ganancia del amplificador no inversor:

$$K_a = 1 + \frac{R2}{R1} = 6$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) V_{in}$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{5000}{1000}\right) 1 - 33$$

$$V_{out} = 7.98V$$

$$F(s)_1 = 6$$

Controlador.

Ganancia del amplificador proporcional inversor:

$$K_p = \frac{-R2}{R1} = -1.0638$$

Ganancia del Circuito integrador:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = 1.063 + \frac{2000}{s}$$

Cálculo de la resistencia de polarización de los transistores:

Transistor TIP31

$$I_c = 7A_{m\acute{a}x.}$$

$$h_{fe} = 20_{min.}$$

Corriente del motor del ventilador ($I_c = 0.5A$)

Voltaje a la salida del P máx = ± 8V

Voltaje Base-Emissor = 0.7V

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}}$$

$$I_b = 0.025A.$$

$$R_b = 292ohms.$$

$$F(s)_2 = K_p + \frac{K_i}{s}$$

$$F(s)_2 = -1.0638 + \frac{2000}{s}$$

Circuito El electrónico.

Comparador:

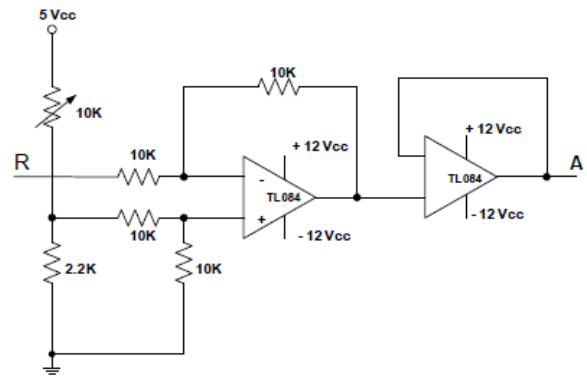


Fig. 13: Circuito comparador.

Amplificador:

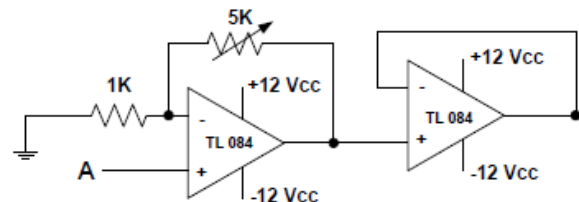


Fig. 14: Circuito amplificador.

Controlador PI:

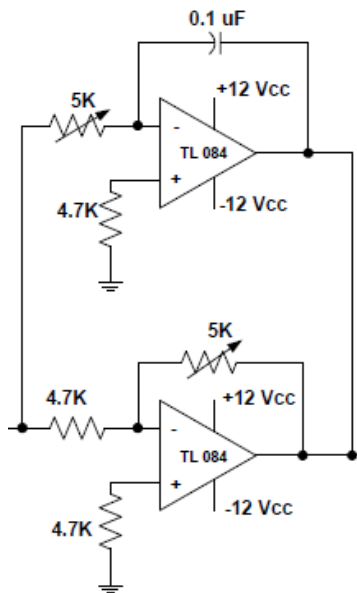


Fig. 15: Circuito controlador PI.

Ventilador:

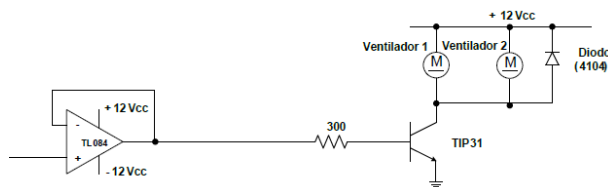


Fig. 16: Circuito ventilador.

Características técnicas aproximadas de los motores para un ventilador [11]:

Motor a 12V.

Voltaje nominal 12V.

Torque nominal 10 mNm.

Velocidad nominal c/carga 2815±385 rpm

Velocidad nominal s/carga 3310±460 rpm

Torque de inicio 70 ± 17 mNm

En la Fig. 17 se muestra el esquema del motor eléctrico de corriente continua, circuito eléctrico y armazón del motor que funciona como un actuador en sistemas de control.

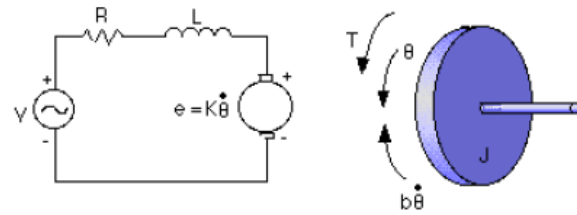


Fig. 17: Esquema motor eléctrico.

Ecuaciones del sistema [7], [2].

El torque del motor (T) se relaciona con la corriente de armadura (i) por un factor constante (K_t). La fuerza electromotriz (e) se relaciona con la velocidad rotacional que permite el control del sistema mediante las siguientes ecuaciones:

$$T = K_t i$$

$$e = K_e \dot{\theta}$$

Las siguientes ecuaciones son el resultado de la combinación de la ley de Newton con la de Kirchhoff:

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K_t i$$

$$L \frac{di}{dt} + R_i i = v - k\dot{\theta}$$

Las funciones de transferencia con base en el cálculo de la Transformada de Laplace y las ecuaciones del modelo descrito son expresadas en términos de s .

$$s(Js + b)\theta(s) = K I(s)$$

$$(Ls + R)I(s) = V - Ks\theta(s)$$

Se obtiene una función de transferencia, donde la velocidad rotacional es la salida y la tensión es considerada como entrada.

$$\frac{\dot{\theta}}{V} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2}$$

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3462>

$$F(s)_3 = \frac{0.01}{(0.01s + 0.1)(0.5s + 1) + 0.01^2}$$

El diagrama de bloques es procesado en el software MatLab como muestra la Fig. 18.

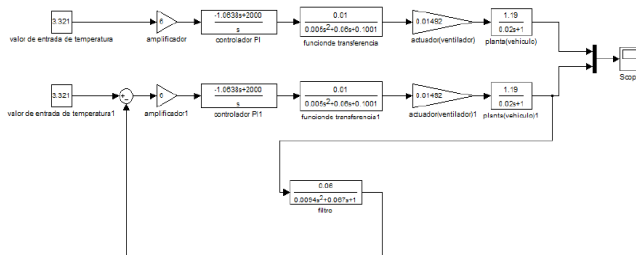


Fig. 18: Diagrama de bloques en MatLab.

Con el uso MatLab y Simulink, ingresamos los valores del controlador PI, con lo cual el programa se encarga de controlar la función de transferencia que es fija, y no puede ser modificada debido a que el diseño en este caso es único para el sistema de climatización de temperatura.

El diseño permite ingresar datos en botones programados, con el fin de insertar códigos que nos permitan interactuar entre el usuario y el modelado de manera amigable, los datos ingresados son procesados por Simulink y presentados en forma de curvas para su mejor visualización y análisis [7].

Ciertos procesos son ejecutados en segundo plano, tales como la función del controlador; el objetivo es que dicha función no sea modificada, con lo que se permite verificar cuál función fue ingresada originalmente para efectos de análisis, control y toma de decisiones.

De acuerdo a [8], una característica importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la estabilidad absoluta, la cual, de forma cualitativa se clasifica como sistema estable, críticamente estable o inestable.

Una vez procesada la función, el simulador muestra una ventana de axis en la que se grafican las curvas del circuito del climatizador controlado por un PI. [11]

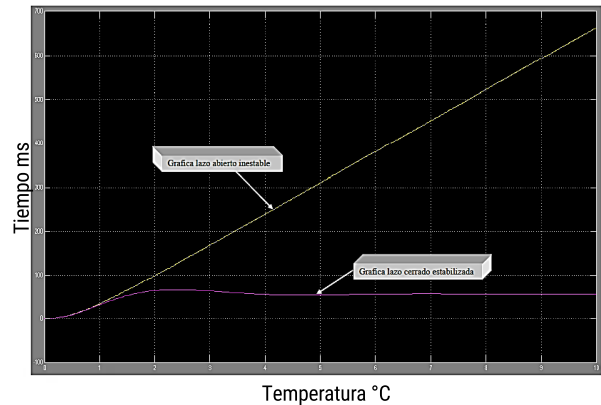


Fig.19: Lazos abiertos inestables y lazos cerrados estables.

En la Fig. 19 se representan las gráficas de resultados obtenidos, cabe indicar que en este diagrama de control interactúan varias funciones de transferencia; en el procesamiento del programa se logra estabilizar el sistema y presentar los datos.

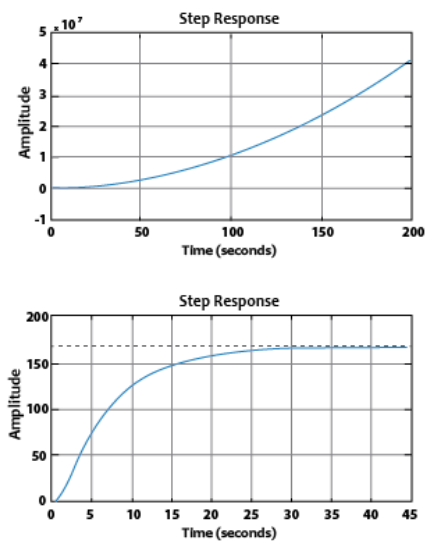


Fig. 20: Curvas de resultados.

La ubicación y búsqueda de los diferentes elementos y dispositivos a utilizar son fundamentales para el correcto funcionamiento del controlador y del circuito climatizador del habitáculo.

Una vez concluido el análisis del controlador, con base en los datos obtenidos se puede construir, codificar e implementar un circuito de automatización y sistematización electrónica aplicable a vehículos modernos o habitáculos de cualquier tipo [7].

La Fig. 20 representa las gráficas de curvas y resultados obtenidos, el software de procesamiento permite la visualización de las gráficas acorde con los procesos automatizados.

Se logra obtener un sistema de control térmico adecuado para el habitáculo en vehículos, de modo que se mantiene estable la temperatura y calidad del aire, a fin de cuidar la salud de los ocupantes, mejorando la seguridad y lucidez al conducir y adicionalmente brindando confort a sus pasajeros.

2. CONCLUSIONES

Los controladores operacionales nos permiten controlar con precisión y con un consumo mínimo de energía dispositivos que ayudan a la optimización de zonas cerradas con cambios de temperatura extremas, así se mejora y estabiliza dicho ambiente.

Las ecuaciones obtenidas permiten controlar y especificar los lazos de temperatura y tiempos de trabajo para la estabilización del sistema.

Este dispositivo propone propiciar condiciones idóneas para evitar la generación o propagación de enfermedades e incubación de bacterias cuando los cambios de temperatura son extremos dentro del habitáculo de un vehículo.

Los cambios de temperatura forman parte del análisis y estudio de la física e ingeniería, el sistema propuesto permite realizar a futuro el análisis, bajo distintas condiciones térmicas dentro de cada habitáculo, donde con ayuda de la bioingeniería y sus estudios, se llegará a mejorar la salud de los ocupantes de vehículos.

3. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo y colaboración a las instituciones, autoridades y personas que colaboraron con el proceso de análisis y laboratorios de pruebas para realizar los distintos procedimientos y adquisición de datos, a la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Universidad Castilla La Mancha.

4. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

5. REFERENCIAS

- [1] ASHRAE, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ANSI/ASHRAE, 2013.
- [2] F. P. Incropera, y D. P. De Witt, *Fundamentos de Transferencia de Calor*; 4ta edición, Prentice Hall, 1999.
- [3] ASHRAE, 2013, Part 55-103 Norma 55-103. *Thermal environmental conditions for human occupancy*.
- [4] F. J. Chávez del Valle, *Zona Variable de confort térmico*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2002.
- [5] D. A. Peláez, *Técnicas del automóvil: sistemas de climatización*. España: Paraninfo, 2003.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3462>

- [6] M. Mazzone, *Controladores PID*. Universidad Nacional de Quilmes, 2002.
- [7] H. L. Tsai, and J. M. Lin, "Model building and simulation of thermoelectric module using Matlab/ Simulink", *Journal of Electronic Materials*, vol. 39, no. 9, 2010. DOI: 10.1007/s11664009-0994-x
- [8] Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control Moderna* (5ta. Ed.). Madrid, España: Pearson Educación.
- [9] R. J. Betancourt Maldonado, y F. G. Flores Piña, "Diseño y construcción de un módulo didáctico de control de temperatura", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2009.
- [10] Bosh, *Manual de la Técnica del Automóvil*. Reverte, 1999.
- [11] M. A. Pérez, V. B. Baltazar, J. P. Ramírez, y F. M. Valle, "Diseño de controladores P, PI y PID para el comportamiento dinámico de un servo-sistema hidráulico, basado en desarrollo experimental". *Investigación*, vol. 2, no. 16, pp. 13-21, 2014. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/EpistemusCienciatecnologiaysalud/2014/no16/2.pdf>