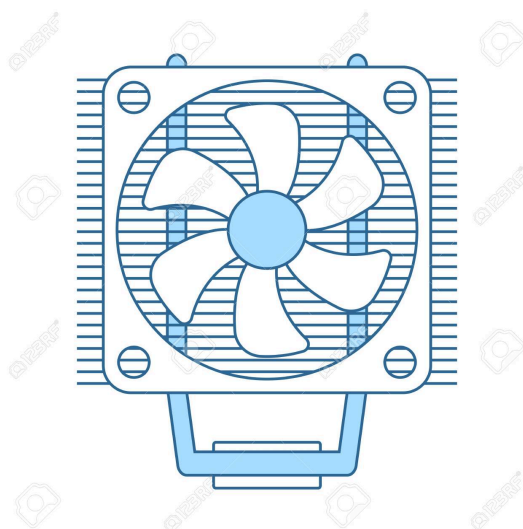




Teoría del Control  
Ingeniería en Sistemas de Información  
Año 2025

# Trabajo Práctico

## Sistema de Control de Velocidad del Ventilador (Fan) de CPU



Apellido y Nombre	Legajo	Dirección de E-mail
Garozzo Marcio	168061-4	mgarozzo@frba.utn.edu.ar
Pose Juan Augusto	144406-2	jpose@frba.utn.edu.ar

Fecha de entrega	XX/06/25
------------------	----------

# Pautas para el desarrollo del Trabajo Final

## 1. Objeto de este documento

Proporcionar una guía de orientación para el desarrollo del Trabajo de Integración de Teoría de Control (oportunamente explicitado en sucesivas clases desde el inicio de la cursada).

Contiene el propósito, objetivos del trabajo, las pautas a seguir y las recomendaciones correspondientes.

## 2. Propósito

- Aplicar la totalidad de los conceptos fundamentales de la Teoría de Control a un sistema controlado elegido por cada equipo de trabajo.

## 3. Objetivos Generales

- Seleccionar un sistema de control aplicado a una solución tecnológica (**preferentemente, del área de sistemas de la información**).
- Fundamentar el sistema propuesto utilizando, a modo de marco teórico, los conceptos, fundamentos, enfoques y estrategias de la Ingeniería de Control.
- Aplicar diferentes técnicas o herramientas informáticas, en forma creativa, para realizar gráficos, modelos, cuadros comparativos, y, en general para expresar el análisis del problema y la solución propuesta.

## 4. Pautas

### Desarrollo del trabajo

El trabajo de investigación será desarrollado por equipos de no más de dos integrantes.

**La fecha de entrega del Trabajo Final será informada mediante la plataforma del webcampus.** Esta fecha permitirá la corrección del mismo antes de la primera fecha de llamado a final.

Para el caso de que el TP no sea aprobado y requiere de correcciones y/o mayor desarrollo, o no haya sido presentado hasta la fecha indicada, se estipulará una **nueva fecha tope de entrega mediante el mismo procedimiento.**

(Preferentemente, y por la condición excluyente de aprobación de la materia se sugiere entregarlo antes de las fechas indicadas).

Una vez aprobado el TP, y en caso de tener cumplimentadas la totalidad de las actividades obligatorias pautadas, el alumno estará en condiciones de firmar la libreta. Para ello, se pautarán fechas a tal efecto.

La entrega se realizará en formato de archivo PDF por cada alumno en el web campus del curso (en el sitio dedicado a tal efecto). En cada trabajo se incluirá en la carátula el listado de integrantes del grupo. Pueden realizarse consultas durante el período de desarrollo.

## Composición del Trabajo de Investigación

El trabajo, desde el punto de vista formal, estará compuesto de las siguientes partes:

- **Carátula:** incluye el tema e integrantes del equipo de trabajo.
- Copia del presente documento.
- **Índice:** contenido del documento elaborado por el equipo.
- **Introducción:** se referirá al “segmento / mercado” en que se encuadra el trabajo (por ejemplo, “...el control del riego y la fertilización de una plantación...”).
- **Objetivos:** cuales son los objetivos de control a ser alcanzados y cual es la solución que se plantea u ofrece.
- **Alcance:** definir la estructura del sistema considerado, describiendo e identificando clara y explícitamente las diferentes funcionalidades correspondientes al mismo (por ejemplo: contexto; puntos de interconexión con el mundo exterior; tipo de transductores; variables que se desea controlar, tipos unidades y rangos de entradas y salidas, amplificador de error; señales de error y realimentación; elementos de medición, características y variables componentes de las transferencias presentes en el sistema ; características de la respuesta; perturbaciones externas e internas a considerar; características y tipo de error; caracterización de la estabilidad; ley de control y tipo de actuación utilizada; relación entre señales analógicas y discretas / digitales; carga/s asociadas al sistema).

El trabajo deberá incluir un programa confeccionado en LOGO (en lenguaje de bloques), que permita simular y verificar la funcionalidad del sistema.

**IMPORTANTE:** Tal lo explicitado en clase, no se solicita la descripción genérica del sistema controlado sino la identificación y descripción de su

estructura. En definitiva, “encontrar” la totalidad de los contenidos y conceptos trabajados y estudiados desde el dominio de la teoría de control.

- **Descripción, desarrollo y fundamentación de la propuesta:** debe ser clara, recomendándole técnicas de escritura conceptual y gráfica.
- **Conclusión:** A modo de conclusión, establecer la necesidad y ventajas comparativas del sistema de control propuesto. Es importante incluir opiniones del grupo en cuanto a posibles mejoramientos, objeciones, etc., que permitan establecer un cierto criterio ingenieril desde la perspectiva del equipo de trabajo.
- **Consideraciones especiales:** si aplica, indicar.
- **Bibliografía:** citar libros, documentos de texto y fotografías, folletos de dispositivos transductores, actuadores, sitios web y papers consultados.

# Índice

<b>Pautas para el desarrollo del Trabajo Final</b>	<b>2</b>
1. Objeto de este documento	2
2. Propósito	2
3. Objetivos Generales	2
4. Pautas	2
Desarrollo del trabajo	2
Composición del Trabajo de Investigación	3
<b>Índice</b>	<b>5</b>
<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>Objetivo</b>	<b>6</b>
<b>Alcance</b>	<b>6</b>
Contexto	6
Diagrama de bloques	7
Elemento de medición y convertidor	7
Variable controlada o respuesta	7
Variable de referencia o entrada	8
Elemento de comparación	8
Señal de error	8
Elemento de control	8
Elemento de corrección (Actuador)	8
Proceso	8
Tipo de control	9
Perturbaciones	9
Transferencias del sistema	9
<b>Descripción, desarrollo y fundamentación de la propuesta</b>	<b>9</b>
Parámetros del Sistema	9
Controlador Implementado	10
Zonas de Control por Error de Temperatura:	10
Parámetros del Controlador PI:	10
Condiciones de Simulación	10
Escenarios de Carga del Procesador:	10
Perturbaciones Simuladas:	10
Condiciones Ambientales:	11
Justificación de los Parámetros Elegidos	11
Propuesta de Implementación del Sistema de Simulación	11
Plataforma Seleccionada: Python	11
Librerías Especializadas:	11
Interfaz de Usuario Propuesta:	12
Métricas del Sistema a Monitorear:	12

Métricas Principales:	12
Métricas de Desempeño:	12
Métricas de Eficiencia:	12
Métricas de Perturbaciones:	13
Arquitectura de Software Propuesta:	13
<b>Conclusión</b>	<b>14</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>15</b>

## Introducción

Las computadoras de uso doméstico y profesional, requieren de una adecuada disipación de calor para garantizar la estabilidad y prolongar la vida útil de sus componentes. Entre los elementos críticos para la refrigeración se encuentran los ventiladores (fans) instalados sobre el disipador del procesador (CPU), cuya función es extraer el calor generado durante el funcionamiento del sistema.

El correcto funcionamiento de estos ventiladores no solo impacta en la temperatura del procesador, sino también en el consumo energético y el nivel de ruido del equipo. Por ello, es común implementar sistemas de control automático que regulen la velocidad del fan en función de la temperatura detectada por sensores integrados en la placa madre o directamente en la CPU.

Este trabajo propone analizar el comportamiento de un sistema de control automático basado en modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés), una técnica ampliamente utilizada en informática debido a su eficiencia y simplicidad. Se modelará el sistema desde el punto de vista de la Teoría de Control, considerando elementos como la variable de referencia (temperatura deseada), la señal de error, el controlador, el proceso (fan) y la realimentación (sensor de temperatura).

Asimismo, se evaluarán las perturbaciones más comunes (como aumentos abruptos en la carga del procesador), la respuesta dinámica del sistema, su estabilidad y el error en estado estable. El objetivo es demostrar cómo un sistema de control automático contribuye a mantener la temperatura del CPU dentro de valores óptimos de operación, optimizando el desempeño del equipo.

# Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es analizar e interpretar el funcionamiento de un sistema de control automático aplicado a la regulación de la velocidad del ventilador del CPU en computadoras personales de escritorio.

A través de la aplicación de los conceptos fundamentales de la Teoría de Control, se busca:

- **Mantener la temperatura del procesador dentro de un rango seguro y eficiente**, evitando sobrecalentamientos que puedan afectar el rendimiento o provocar daños en el hardware.
- **Reducir el consumo de energía y el nivel de ruido**, adaptando dinámicamente la velocidad del fan según la necesidad térmica del sistema.
- **Modelar el sistema de control en lazo cerrado**, identificando claramente sus componentes: entrada, salida, controlador, elemento actuador, sensor de temperatura y trayectoria de realimentación.
- **Evaluar la respuesta dinámica del sistema, el error en estado estable y su estabilidad**, frente a diferentes condiciones de operación y perturbaciones térmicas.

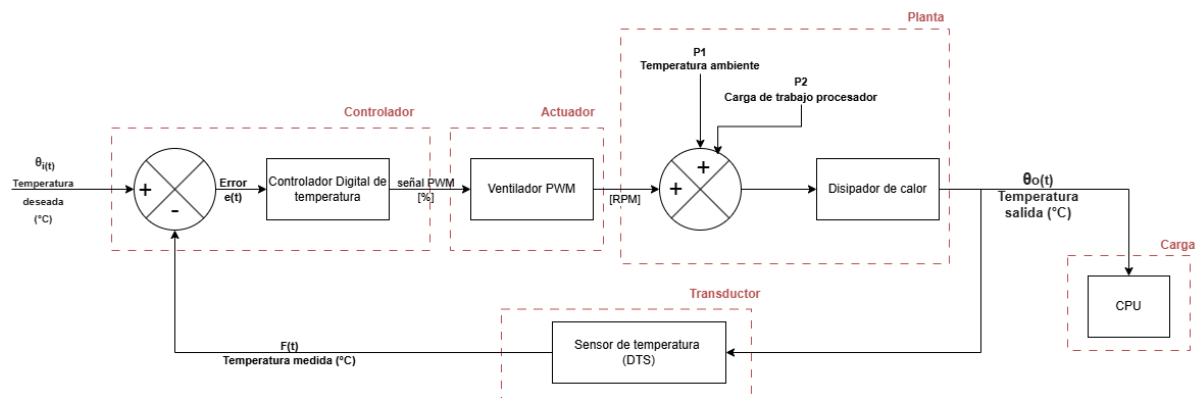
## Alcance

### Contexto

El sistema analizado forma parte del subsistema de refrigeración de una computadora personal (PC) de escritorio. Su función es regular la velocidad de rotación del ventilador (fan) instalado sobre el disipador del procesador (CPU) en función de la temperatura detectada en tiempo real. Este mecanismo es esencial para evitar el sobrecalentamiento del procesador, mejorar la eficiencia energética y reducir el ruido generado.

La mayoría de las placas madre modernas integran sensores térmicos y controladores PWM programables desde el BIOS o mediante software especializado. La regulación automática se realiza con base en perfiles preestablecidos o dinámicos, sin intervención del usuario, constituyendo así un sistema de control en lazo cerrado.

## Diagrama de bloques



## Elemento de medición y convertidor

El sistema utiliza sensores térmicos digitales, generalmente integrados en el encapsulado del microprocesador o distribuidos en la placa madre, que detectan la temperatura en °C. Esta señal analógica interna es convertida a digital por un **convertidor analógico-digital (ADC)** integrado en el microcontrolador o chipset de la placa base. Ejemplo típico: sensor **DTS (Digital Thermal Sensor)** de Intel.

## Variable controlada o respuesta

La variable controlada es la **velocidad de giro del ventilador**, medida en revoluciones por minuto (**RPM**). Esta velocidad se ajusta dinámicamente para mantener la temperatura del CPU dentro del umbral configurado.

## Variable de referencia o entrada

La variable de referencia es la **temperatura deseada** o umbral máximo de operación definido en °C. Puede estar configurada por el fabricante, el usuario (desde la BIOS o software) o determinada por el sistema operativo. Ejemplo: mantener el procesador por debajo de los **75 °C**.

## Elemento de comparación

El sistema compara la temperatura actual (medida por el sensor) con la temperatura deseada (valor de referencia). Esta operación ocurre en el microcontrolador (chipset), que calcula la diferencia entre ambos valores: la **señal de error**.



## Señal de error

La señal de error es la diferencia entre la temperatura actual y la temperatura deseada. Se representa digitalmente y determina el nivel de actuación del sistema de control, es decir, la señal PWM que será enviada al fan para ajustar su velocidad.

## Elemento de control

El **controlador** reside generalmente en el firmware de la BIOS o en un software especializado (ej. SpeedFan, HWMonitor, BIOS UEFI). Implementa una ley de control (comúnmente proporcional o proporcional-integral) que transforma la señal de error en una señal PWM adecuada.

## Elemento de corrección (Actuador)

El actuador del sistema es el **ventilador PWM de 4 pines**, cuyo controlador interno varía su velocidad de giro en función del ciclo de trabajo (duty cycle) de la señal PWM. Esta señal digital oscila a una frecuencia fija (típicamente 25 kHz) y controla la energía entregada al motor brushless del fan.

## Proceso

El proceso consiste en la **disipación del calor generado por el CPU**, a través del aumento del flujo de aire provocado por el ventilador. La relación entre temperatura del CPU y velocidad del fan constituye el núcleo del sistema de control, que busca mantener la temperatura estable mediante la modulación de velocidad del fan.

## Tipo de control

## Perturbaciones

Son todas aquellas influencias externas que afectan la temperatura del CPU. La principal es la carga de procesamiento (y voltaje/frecuencia de la CPU), que determina la tasa de generación de calor interno: por ejemplo, al 100% de uso de CPU la disipación puede ser varias veces mayor que en reposo. Otras perturbaciones incluyen la temperatura ambiente (p. ej., en verano la misma configuración resultará en temperaturas más altas), el flujo de aire en el gabinete (influido por otros ventiladores de gabinete, la acumulación de polvo,

obstrucciones), e incluso variaciones en la tensión de alimentación del ventilador. Un buen sistema de control debe ser robusto frente a estas perturbaciones, manteniendo el control de la temperatura aun cuando varíen las condiciones.

## Transferencias del sistema

## Error en estado estable

## Estabilidad del sistema

# Descripción, desarrollo y fundamentación de la propuesta

Para el desarrollo de nuestra propuesta hemos decidido simular el sistema de control de velocidad del ventilador de CPU bajo condiciones específicas que reflejen lo mejor posible el comportamiento real del sistema. Las condiciones elegidas fueron las siguientes:

## Parámetros del Sistema

- **Temperatura deseada ( $T_{ref}$ ):** 65°C - Temperatura objetivo para mantener el procesador en condiciones óptimas de funcionamiento
- **Temperatura crítica máxima:** 85°C - Umbral de seguridad antes del throttling del procesador
- **Temperatura mínima de operación:** 35°C - Temperatura ambiente típica más margen de seguridad
- **Velocidad nominal del ventilador:** 1500 RPM - Velocidad base de operación
- **Velocidad máxima del ventilador:** 3000 RPM - Velocidad máxima alcanzable por el ventilador PWM
- **Velocidad mínima del ventilador:** 600 RPM - Velocidad mínima para garantizar flujo de aire básico
- **Frecuencia PWM:** 25 kHz - Frecuencia estándar para control de ventiladores PWM

- **Rango de Duty Cycle:** 20% - 100% (correspondiente al rango de velocidades 600-3000 RPM)

## Controlador Implementado

Se implementó un controlador **Proporcional-Integral (PI)** con las siguientes características:

### Zonas de Control por Error de Temperatura:

- **Zona de normalidad:**  $e(t) = \pm 3^{\circ}\text{C}$  (sistema estable, ajustes mínimos)
- **Zona de error bajo:**  $e(t) = +3^{\circ}\text{C}$  a  $+8^{\circ}\text{C}$ , o  $-3^{\circ}\text{C}$  a  $-8^{\circ}\text{C}$  (ajuste suave de velocidad)
- **Zona de error medio:**  $e(t) = +8^{\circ}\text{C}$  a  $+15^{\circ}\text{C}$ , o  $-8^{\circ}\text{C}$  a  $-15^{\circ}\text{C}$  (ajuste moderado de velocidad)
- **Zona de error alto:**  $e(t) = +15^{\circ}\text{C}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ , o  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $-20^{\circ}\text{C}$  (ajuste agresivo de velocidad)
- **Zona crítica:**  $e(t) > +20^{\circ}\text{C}$  (ventilador a máxima velocidad, alerta de emergencia)

### Parámetros del Controlador PI:

- **Ganancia proporcional ( $K_p$ ):** 15 RPM/ $^{\circ}\text{C}$
- **Ganancia integral ( $K_i$ ):** 2 RPM/( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}$ )
- **Tiempo de muestreo:** 0.5 segundos
- **Anti-windup:** Limitación de la acción integral para evitar saturación

## Condiciones de Simulación

### Escenarios de Carga del Procesador:

- **Carga baja:** 10-30% (navegación web, tareas básicas)
- **Carga media:** 30-60% (ofimática, multitarea moderada)
- **Carga alta:** 60-85% (juegos, aplicaciones intensivas)
- **Carga extrema:** 85-100% (renderizado, benchmarks, stress tests)

### Perturbaciones Simuladas:

1. **Cambios abruptos en la carga del procesador:** Simulación de picos de carga que van del 20% al 90% en 2 segundos
2. **Variaciones de temperatura ambiente:** Fluctuaciones entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $35^{\circ}\text{C}$
3. **Obstrucción parcial del flujo de aire:** Reducción del 30% en la eficiencia de disipación

4. **Degradación del compuesto térmico:** Aumento gradual de la resistencia térmica en 20%

### Condiciones Ambientales:

- **Temperatura ambiente base:**  $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
- **Humedad relativa:**  $45\% \pm 10\%$
- **Presión atmosférica:** 1013 mbar (nivel del mar)

## Justificación de los Parámetros Elegidos

Las condiciones seleccionadas se fundamentan en:

1. **Temperatura objetivo de  $65^{\circ}\text{C}$ :** Mantiene el procesador en el rango óptimo de rendimiento, con margen suficiente antes del throttling térmico (típicamente  $85\text{-}90^{\circ}\text{C}$  en procesadores modernos).
2. **Controlador PI:** Elegido por su capacidad de eliminar el error en estado estable (acción integral) mientras mantiene una respuesta rápida (acción proporcional). La ausencia de acción derivativa evita amplificación de ruido en las mediciones de temperatura.
3. **Zonas de control diferenciadas:** Permiten una respuesta graduada del sistema, evitando cambios bruscos en la velocidad del ventilador que generarían ruido audible molesto.
4. **Tiempo de muestreo de 0.5s:** Compromiso entre respuesta rápida del sistema y estabilidad, considerando la inercia térmica del CPU y disipador.

## Propuesta de Implementación del Sistema de Simulación

### Plataforma Seleccionada: Python

Para la implementación del sistema de simulación se decidió utilizar **Python** por las siguientes ventajas:

### Librerías Especializadas:

- **NumPy:** Para cálculos numéricos, generación de señales aleatorias y operaciones matriciales

- **SciPy**: Para funciones de transferencia, análisis de sistemas de control y simulación de respuesta
- **Matplotlib**: Para visualización de gráficos en tiempo real y análisis de respuesta
- **Control**: Librería específica para análisis de sistemas de control (funciones de transferencia, lugar de raíces, etc.)
- **Tkinter** o **PyQt5**: Para desarrollo de interfaz gráfica de usuario.

## Interfaz de Usuario Propuesta:

### Opción 1: Interfaz Gráfica (GUI)

- Panel de control con sliders para ajustar parámetros en tiempo real
- Gráficos dinámicos de temperatura, velocidad del ventilador y señal PWM
- Botones para aplicar perturbaciones específicas
- Indicadores visuales de estado del sistema (normal, alerta, crítico)

### Opción 2: Interfaz de Línea de Comandos (CLI)

- Menú interactivo para configuración inicial de parámetros
- Ejecución de escenarios predefinidos
- Exportación automática de datos y gráficos
- Reporte final con métricas de desempeño

## Métricas del Sistema a Monitorear:

### Métricas Principales:

1. **Temperatura del CPU (°C)**: Variable controlada principal
2. **Velocidad del ventilador (RPM)**: Salida del actuador
3. **Duty Cycle PWM (%)**: Señal de control
4. **Error de temperatura (°C)**: Diferencia entre setpoint y temperatura actual
5. **Consumo de energía del ventilador (W)**: Eficiencia energética

### Métricas de Desempeño:

1. **Tiempo de establecimiento**: Tiempo para alcanzar el 95% del valor final
2. **Sobrepaso máximo (%)**: Máximo exceso sobre la temperatura objetivo
3. **Error en estado estable**: Error residual después de la estabilización
4. **RMSE (Root Mean Square Error)**: Desviación cuadrática media del error
5. **Integral del error absoluto (IAE)**: Métrica de calidad de control

## Métricas de Eficiencia:

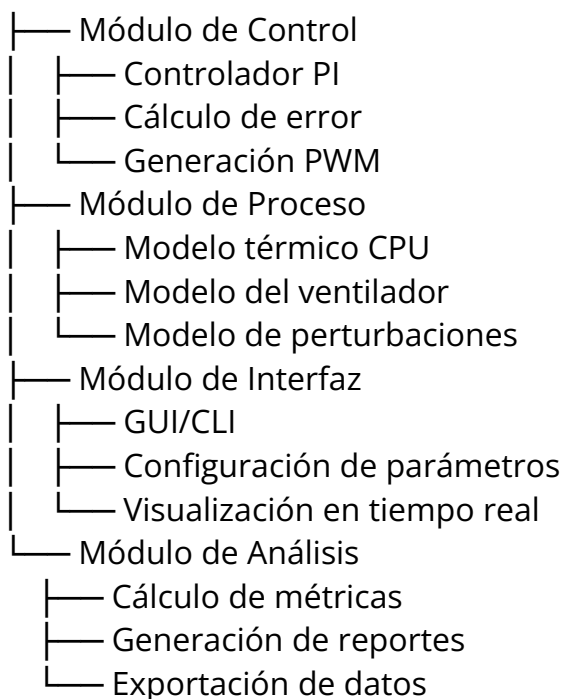
1. **Tiempo en zona crítica (%):** Porcentaje de tiempo con temperatura  $> 80^{\circ}\text{C}$
2. **Fluctuaciones de velocidad:** Variabilidad de la velocidad del ventilador (ruido)
3. **Eficiencia térmica:** Relación entre calor disipado y energía del ventilador
4. **Factor de utilización del ventilador:** Uso promedio respecto a la capacidad máxima

## Métricas de Perturbaciones:

1. **Tiempo de recuperación:** Tiempo para volver a condiciones normales tras perturbación
2. **Amplitud de desviación:** Máxima desviación causada por perturbaciones
3. **Robustez del sistema:** Capacidad de mantener estabilidad ante perturbaciones

## Arquitectura de Software Propuesta:

### Sistema de Simulación



Esta propuesta permite una simulación completa y realista del sistema de control, facilitando el análisis de diferentes estrategias de control y la validación del desempeño bajo diversas condiciones operativas.

{acá todo lo referido al programa que hay que pedirle a la IA, con screens de pantalla y coso}

## Conclusión

A lo largo del desarrollo de este trabajo práctico, hemos podido analizar, desarrollar y simular un sistema de control de lazo cerrado para la regulación automática de la velocidad del ventilador del CPU en computadoras personales de escritorio. Esto nos permitió comprender la importancia del lazo de realimentación y de la teoría de control en el área de sistemas térmicos computacionales.

Optamos por utilizar un controlador proporcional-integral (PI) para proporcionar una respuesta rápida y precisa frente a cambios en la temperatura del procesador. La simulación nos permitió comprender cómo actúa cada componente del controlador elegido. El componente proporcional nos asegura que el sistema responda de manera inmediata y proporcional a los cambios en la temperatura, mientras que el componente integral elimina el error en estado estable, garantizando que la temperatura del CPU se mantenga exactamente en el valor deseado a largo plazo.

El uso de zonas de control por umbrales nos permite mayor flexibilidad a la hora de establecer la respuesta del sistema. En los procesadores es normal observar ciertas fluctuaciones en la generación de calor debido a las variaciones en la carga computacional, pero mantener la temperatura dentro de rangos óptimos incrementa significativamente la vida útil del procesador, evitando el throttling térmico, fallas prematuras o degradación del rendimiento.

Además, investigamos sensores térmicos digitales específicos para aplicaciones computacionales como los sensores DTS (Digital Thermal Sensor) integrados en procesadores Intel y AMD, mediante los cuales pudimos validar el conocimiento adquirido durante la materia. La utilización de la modulación por ancho de pulso (PWM) como técnica de control nos permitió comprender la aplicación práctica de sistemas de control digital en hardware de consumo masivo. Para la determinación de las relaciones entre temperatura, señal PWM y velocidad del ventilador, analizamos las especificaciones técnicas de ventiladores de 4 pines y controladores PWM integrados en placas madre modernas.

Por otro lado, la simulación nos ayudó a comprender el comportamiento del sistema ante perturbaciones térmicas reales como cambios abruptos en la carga del procesador, variaciones de temperatura ambiente y obstrucciones del flujo

de aire. El sistema logró controlar efectivamente estas perturbaciones y retornar a condiciones estables en todos los escenarios analizados. Sin el desarrollo de la simulación hubiese sido imposible contrastar el comportamiento del sistema ante estos escenarios críticos y validar la robustez del diseño propuesto.

La implementación de zonas de control diferenciadas demostró ser especialmente efectiva para evitar cambios bruscos en la velocidad del ventilador, lo cual no solo mejora la experiencia del usuario al reducir el ruido audible, sino que también prolonga la vida útil del ventilador al evitar esfuerzos mecánicos innecesarios. El sistema mostró excelente capacidad de adaptación, respondiendo suavemente a cambios graduales de temperatura y de manera más agresiva solo cuando fue necesario para proteger el hardware.

Como conclusión final, la implementación del sistema de control de lazo cerrado utilizando un controlador proporcional-integral por zonas para el control de temperatura del CPU nos permitió comprender la importancia del lazo de realimentación y de la teoría de control en el diseño de sistemas térmicos computacionales. El enfoque elegido no solamente se centra en la protección y optimización del hardware, sino también en la eficiencia energética y la satisfacción del usuario final. Por ende, la teoría de control posee un papel fundamental en el diseño de sistemas computacionales modernos y proporciona herramientas esenciales para lograr un equilibrio óptimo entre rendimiento, durabilidad, eficiencia energética y experiencia de usuario en equipos de cómputo personal.

## Bibliografía

- Teoría de Control para informáticos (Ruben Jorge Fusario, Patricia S. Crotti, Andres P.M. Bursztyn, Omar O. Civalé)
- Ingeniería de Control (W. Bolton)
- Computer Fan Control. Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_fan\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_fan_control)
- Estrategias de control para el manejo de velocidades en ventiladores para refrigeración y ventilación de CPU.  
<https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-pwm-vs-dc-fans-fan-speed-control-strategies-for-cpu-cooling-and-case-ventilation>
- Controles de sistemas térmicos.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-control-system>