



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**

Informe Técnico Semana 06

“Propuesta de automatización para el control y diagnóstico térmico de cámaras de refrigeración en pequeñas empresas”

Pablo Huenupil Gonzalez

P.huenupil01@ufromail.cl

01/10/2026

Resumen

Las cámaras de refrigeración de pequeñas empresas requieren mantener la temperatura dentro de un intervalo seguro y responder a perturbaciones como aperturas de puerta, cambios de temperatura ambiente y nuevas cargas de producto. En este informe se propone una solución de automatización tipo retrofit que reutiliza, cuando sea posible, sensores PT100 existentes, incorpora acondicionamiento y digitalización, control local, un sensor de puerta y registro de datos. La propuesta añade un diagnóstico simple basado en la respuesta térmica para estimar el tiempo de recuperación de la cámara y detectar cambios de desempeño. Se revisaron soluciones comerciales de Danfoss, CAREL, Eliwell y Monnit para delimitar la diferencia de la idea y evitar presentar como novedosas funciones que ya existen. Se construyeron diagramas en lazo abierto y cerrado y una respuesta conceptual de primer orden ante un cambio de referencia de 8 °C a 4 °C. El análisis indica viabilidad técnica preliminar, pero la oportunidad de emprendimiento requiere validar compatibilidad, seguridad, desempeño térmico, costos y demanda comercial mediante un piloto real.

1. Introducción

Las cámaras de refrigeración son utilizadas por restaurantes, carnicerías, minimarkets, productores de alimentos y otros negocios que necesitan conservar productos a temperaturas controladas. En estos sistemas, una variación de temperatura puede originarse por aperturas de puerta, ingreso de producto a mayor temperatura, cambios en el ambiente o degradación del equipo de refrigeración. Por ello, medir la variable de salida y reaccionar frente a desviaciones constituye una aplicación directa de los principios de automatización y control estudiados en la asignatura.

Durante la Semana 05 se trabajó con modelos de primer orden, transformada de Laplace, respuestas a escalón e impulso y control en lazo cerrado. También se revisó el PT100 como sensor resistivo de temperatura y se indicó que su señal debe acondicionarse, digitalizarse y transmitirse antes de integrarse a una plataforma [1], [2]. Estos contenidos permiten vincular una necesidad real de refrigeración con sensores, actuadores, controladores, diagramas y respuestas temporales.

El objetivo de este informe es proponer una solución de automatización para cámaras de refrigeración de pequeñas empresas que pueda instalarse sobre equipamiento existente, identificar sus variables y componentes, representarla en lazo abierto y cerrado, analizar una respuesta temporal conceptual y delimitar qué elementos deberían validarse técnica y

comercialmente antes de convertirla en un emprendimiento. La propuesta no pretende demostrar una novedad absoluta a escala mundial; busca una combinación específica cuya diferenciación se evalúa mediante una revisión acotada de soluciones comerciales actuales.

2. Metodología

Se empleó un enfoque documental, comparativo y de diseño conceptual. Primero se revisaron las clases de la Semana 05 para recuperar los conceptos de sensor PT100, acondicionamiento y digitalización de señales, función de transferencia, respuesta de primer orden y estructura de control en lazo abierto y cerrado [1], [2]. A partir de estos contenidos se definió como caso una cámara de refrigeración de una pequeña empresa con un sistema de frío existente que puede recibir una orden externa de marcha o de apertura de una válvula.

En segundo lugar se realizó una revisión web de soluciones comerciales oficiales disponibles al 1 de octubre de 2026. Se consultaron productos de Danfoss, CAREL, Eliwell y Monnit, observando funciones de control de cámaras, supervisión remota, alarmas, registro y conectividad [3]-[6]. La búsqueda se utilizó para delimitar la propuesta, no para afirmar que se revisó todo el mercado. No se efectuó una búsqueda exhaustiva de patentes, distribuidores locales, integradores ni desarrollos a medida; por ello, la ausencia de una solución idéntica en las fuentes revisadas no demuestra inexistencia global.

Finalmente se diseñaron los diagramas de lazo abierto y cerrado y una respuesta temporal conceptual. Para la gráfica se adoptó un modelo cerrado de primer orden ante un cambio de referencia desde 8 °C a 4 °C, con constante de tiempo ilustrativa $\tau = 12$ min. Se utilizó $T(t) = 4 + 4e^{-(t/12)}$, de modo que a $5\tau = 60$ min la temperatura se encuentra aproximadamente en 4,03 °C. Este parámetro no proviene de mediciones reales y debe identificarse experimentalmente en una implementación.

2.1. Uso de IA

Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, para analizar los materiales aportados, proponer alternativas de tema, realizar la búsqueda de soluciones comerciales, estructurar la metodología, efectuar el análisis formal del modelo conceptual, construir tablas y figuras y apoyar la redacción y revisión del informe. El estudiante proporcionó los materiales del curso, solicitó conservar el formato de los informes anteriores, eligió la alternativa de emprendimiento y seleccionó la propuesta de cámaras de refrigeración. Debido a que la idea específica fue sugerida por la IA y luego aceptada y delimitada por el estudiante, la Conceptualización y la Metodología se reconocen como contribuciones compartidas. La declaración se realiza según el marco Ciencia Generativa [7].

Evaluación de contribuciones realizada por ChatGPT para esta versión del documento:

Pablo Huenupil (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación.
ChatGPT, GPT-5.6 Sol (IA): Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición, Visualización.

3. Resultados

3.1. Problema y solución propuesta

El problema seleccionado es la modernización de cámaras de refrigeración de pequeñas empresas que ya poseen un sistema de frío funcional, pero cuentan con control local básico o con supervisión limitada. La propuesta consiste en un kit retrofit que se instala

sin reemplazar el sistema frigorífico completo. El kit incorpora una entrada para PT100 con acondicionamiento y conversión digital, sensor magnético de puerta, medición opcional de consumo eléctrico, controlador local, salida hacia relé o contactor y una interfaz web local con comunicación remota opcional.

La característica diferenciadora propuesta es combinar el control de temperatura con un diagnóstico de desempeño térmico. Después de una apertura de puerta o un cambio de referencia, el controlador registra la curva de recuperación y estima indicadores simples, como tiempo de recuperación y constante de tiempo aproximada. Si estas variables se deterioran respecto de su historial, el sistema genera una advertencia de revisión. El valor económico potencial se asocia a reutilizar parte de la instalación existente, detectar degradaciones antes de una falla evidente, disminuir desplazamientos de supervisión y reducir el riesgo de pérdida de productos. Estas ventajas son hipótesis de valor y no una estimación financiera validada.

3.2. Revisión de soluciones existentes y diferenciación

La revisión confirmó que el control, el registro y la supervisión remota de cámaras frigoríficas ya se comercializan. Por ello, la propuesta no presenta esas funciones por separado como novedosas. La Tabla 1 resume las soluciones examinadas y la diferencia buscada para este emprendimiento.

Tabla 1. Revisión acotada de soluciones comerciales y diferencia de la propuesta.
Elaboración propia a partir de [3]-[6].

Solución revisada	Capacidades observadas	Diferencia buscada en la propuesta
Danfoss Optyma Control	Control de cámaras nuevas o existentes, desescarche, conexión a gestión y supervisión remota en nube.	Kit independiente de marca, orientado a reutilizar PT100 y estimar degradación mediante la curva de recuperación.
CAREL SmartCella	Control de compresor, ventiladores, desescarche, puerta, alarmas y red Modbus/RS485 para supervisión.	Añadir diagnóstico térmico simple y una interfaz local pensada para retrofit de bajo alcance.
Eliwell AIR / Televis	Controladores conectables, adquisición de temperatura y otras variables, alarmas y supervisión remota.	Priorizar operación local sin nube obligatoria y análisis de tendencia de recuperación térmica.
Monnit	Monitoreo inalámbrico de temperatura, registro y alertas remotas para refrigeración comercial.	Incorporar además control automático del sistema de frío y diagnóstico del comportamiento dinámico.

En las fuentes consultadas no se identificó un producto descrito exactamente como un kit neutral de fabricante que reutilice PT100 existentes, controle localmente la cámara y use de forma explícita la identificación de la respuesta de primer orden como indicador de deterioro para pequeñas empresas. Sin embargo, esta conclusión es limitada por el alcance de la búsqueda. Antes de presentar la propuesta como innovación comercial debería ampliarse la revisión a patentes, integradores, marketplaces, distribuidores regionales y soluciones desarrolladas a medida.

3.3. Sistema, variables y supuestos

El sistema propuesto controla la temperatura interior de una cámara de refrigeración. La Tabla 2 identifica sus variables y componentes principales. Se supone que el equipo frigorífico existente posee una entrada de mando compatible con un relé, contactor o válvula de control y que cualquier intervención eléctrica será realizada por personal competente.

Tabla 2. Variables y componentes del sistema propuesto. Elaboración propia.

Elemento	Definición en la propuesta
Variable controlada $y(t)$	Temperatura interior de la cámara $T(t)$, en °C.
Referencia $r(t)$	Temperatura objetivo definida por el usuario; ejemplo de análisis: 4 °C.
Variable manipulada $u(t)$	Orden de refrigeración: estado ON-OFF o nivel de mando disponible.
Sensor	PT100 existente o instalado, con acondicionamiento y conversión digital.
Actuador	Relé/contactor o salida compatible con la unidad de frío o válvula.
Perturbaciones $d(t)$	Aperturas de puerta, temperatura ambiente, ingreso de producto, pérdidas térmicas y degradación del equipo.

3.4. Configuración en lazo abierto

La Figura 1 muestra la configuración en lazo abierto. En este caso se aplica una orden fija de refrigeración o un ciclo programado sin utilizar la temperatura medida para corregir la acción. El sistema puede enfriar la cámara, pero no sabe por sí mismo si alcanzó o mantuvo la temperatura deseada. Una apertura prolongada de puerta o una carga térmica mayor puede modificar la temperatura sin producir una corrección basada en el error.

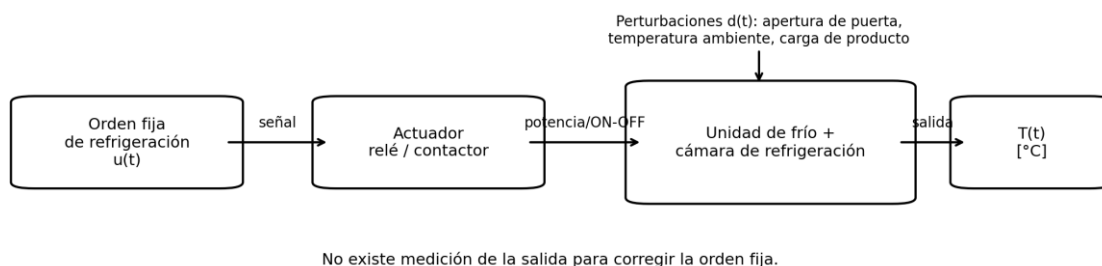


Figura 1. Diagrama de lazo abierto para la cámara de refrigeración. Elaboración propia.

3.5. Configuración en lazo cerrado

La Figura 2 representa el lazo cerrado. La referencia $r(t)$ se compara con la temperatura medida y se obtiene el error $e(t)$. El controlador local utiliza ese error para generar la señal $u(t)$, que actúa sobre el sistema de refrigeración. La PT100 entrega la medición mediante su etapa de acondicionamiento y realimentación. De esta forma, si la temperatura aumenta debido a una perturbación, el controlador puede aumentar o restablecer la acción de refrigeración dentro de las restricciones del equipo.

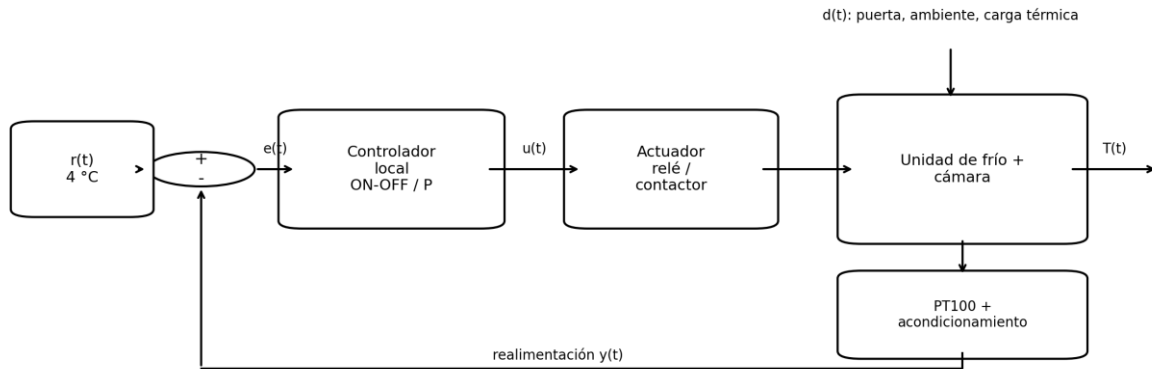


Figura 2. Diagrama de lazo cerrado del sistema propuesto. Elaboración propia a partir de la estructura de control trabajada en clase [2].

3.6. Respuesta temporal conceptual

Para visualizar el comportamiento esperado se simuló conceptualmente un cambio de referencia desde 8 °C hasta 4 °C. La Figura 3 presenta la respuesta $T(t) = 4 + 4e^{-(t/12)}$, con tiempo expresado en minutos. La condición inicial es 8 °C, el valor final es 4 °C y la constante de tiempo asumida es 12 min. Con el criterio de cinco constantes de tiempo utilizado en clase, a los 60 min la temperatura se encuentra aproximadamente en 4,03 °C, equivalente a cerca del 99,3 % del cambio total [1].

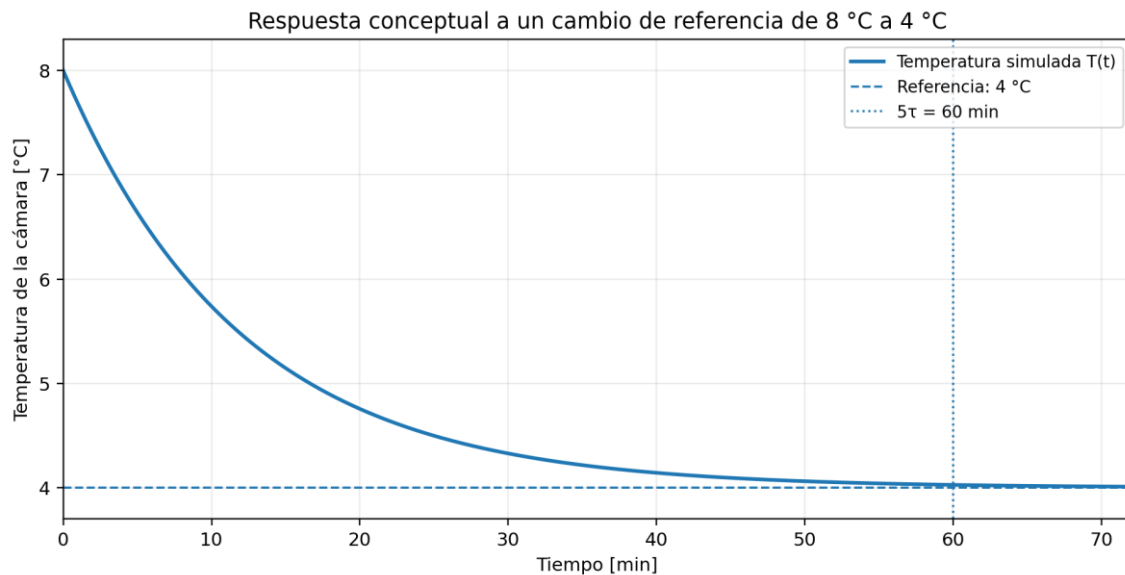


Figura 3. Respuesta conceptual de primer orden ante un escalón de referencia de 8 °C a 4 °C. Elaboración propia; $\tau = 12$ min es un supuesto de simulación y no un dato medido.

La curva no presenta sobreimpulso porque se utilizó deliberadamente un modelo de primer orden. En una cámara real pueden aparecer retardos, ciclos de compresor, histéresis, descongelamientos y distribución espacial no uniforme de temperatura. Por ello, el parámetro τ y la forma de la respuesta deben identificarse experimentalmente antes de utilizarlos para diagnóstico o decisiones de mantenimiento.

3.7. Decisiones y validaciones necesarias

Para convertir la idea en una solución operativa se requiere seleccionar el acondicionador adecuado para el tipo de PT100 y su configuración de dos, tres o cuatro hilos; definir las entradas y salidas eléctricas compatibles con la instalación existente; incorporar protecciones e interbloqueos para evitar maniobras dañinas del compresor; establecer histéresis, tiempos mínimos de marcha y parada; y decidir si la comunicación remota será Wi-Fi, Ethernet o celular. La lógica de diagnóstico debe comparar curvas obtenidas bajo condiciones equivalentes y no interpretar automáticamente toda recuperación lenta como una falla.

La validación experimental debería realizarse en una cámara piloto, registrando temperatura, estado de puerta y orden de refrigeración durante diferentes cargas térmicas. Con esos datos se estimaría la constante de tiempo real y se probaría la repetibilidad del indicador de recuperación. La validación comercial debería comprobar disposición a pagar, costo de instalación, ahorro o pérdidas evitadas, necesidad real de operación sin nube y compatibilidad con los controladores ya utilizados por pequeñas empresas.

4. Discusión

La revisión de mercado modifica la interpretación inicial de la oportunidad. No sería correcto presentar como novedoso el control de temperatura, la supervisión remota, las alarmas o la gestión de cámaras frigoríficas, porque fabricantes consolidados ya ofrecen esas funciones [3]-[6]. La oportunidad propuesta se concentra en una integración de menor alcance: reutilizar instrumentación existente cuando sea posible, controlar localmente, registrar eventos de puerta y extraer de la propia dinámica térmica un indicador sencillo de deterioro. Esta combinación puede ser útil para un segmento de pequeñas empresas, pero aún no se ha demostrado que constituya una ventaja suficiente para competir con soluciones comerciales existentes.

Desde el punto de vista técnico, los bloques principales son realizables con tecnologías conocidas. La clase muestra que una PT100 requiere acondicionamiento y digitalización para incorporarse a un sistema conectado [1], y que los modelos de primer orden permiten resumir respuestas y tiempos de estabilización [1]. Sin embargo, una cámara real es más compleja que la curva utilizada: existen retardos, ciclos, distribución espacial de temperatura, variación de carga, descongelamiento y restricciones del compresor. Por eso, la gráfica del informe sirve para comunicar la idea de control y diagnóstico, no para garantizar desempeño.

El uso de IA tuvo un efecto directo en la conceptualización, investigación de soluciones existentes, comparación comercial, construcción del modelo y redacción. El estudiante realizó la selección de la alternativa, aceptó la propuesta específica, definió el uso de los materiales del curso y conserva la Validación final. Esta distribución se declaró para evitar atribuir al autor humano tareas que surgieron de la interacción con la IA. La principal limitación adicional es que la búsqueda comercial fue acotada a fuentes oficiales accesibles en la web y no constituye un estudio de mercado ni de propiedad intelectual completo.

5. Conclusiones

Se propuso un sistema de automatización retrofit para cámaras de refrigeración de pequeñas empresas que integra medición mediante PT100, acondicionamiento y digitalización, control local, detección de apertura de puerta, registro de datos y un diagnóstico simple basado en la respuesta térmica. El sistema puede representarse

mediante lazos abierto y cerrado utilizando la misma estructura de referencia, error, controlador, actuador, planta, sensor y realimentación trabajada en la asignatura.

La revisión de soluciones existentes mostró que el control, la supervisión remota y las alarmas ya forman parte de productos comerciales. Por tanto, la diferenciación de la propuesta se limita a la combinación planteada: retrofit neutral de fabricante, reutilización de sensores existentes cuando sea posible, operación local y seguimiento del tiempo de recuperación como indicador de desempeño. No se puede afirmar una novedad comercial global con la búsqueda realizada.

La respuesta simulada permitió ilustrar cómo una cámara podría aproximarse a una nueva referencia mediante un modelo de primer orden y aplicar el criterio de cinco constantes de tiempo. Antes de emprender, sería necesario validar experimentalmente la dinámica real, la compatibilidad eléctrica, la seguridad del control y la utilidad del indicador de recuperación, además de verificar costos, demanda y competencia mediante un estudio comercial más amplio.

6. Declaración final

Uso de IA. Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, en los roles declarados en la subsección 2.1. La Validación final fue realizada por el autor.

Este informe se distribuye bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Se autoriza a coautores editoriales a corregir errores simples de forma, referencias, formato o declaraciones requeridas, preservando el contenido sustantivo y la autoría del informe.

7. Bibliografía

- [1] C. Alarcón García, "Clase Semana 05 cátedra módulo 01," Automatización, Universidad de La Frontera, curso IIS670, 21 sep. 2026. [Transcripción de clase].
- [2] C. Alarcón García, "Clase Semana 05 laboratorio módulo 03," Automatización, Universidad de La Frontera, 22 sep. 2026. [Transcripción de clase].
- [3] Danfoss, "Optyma™ Control - Cold room controllers for single-phase cooling systems." [Online]. Available: <https://www.danfoss.com/en/products/dcs/electronic-controls/products/electronic-temperature-control/optyma-control/> [Accessed: Oct. 1, 2026].
- [4] CAREL, "SmartCella/SmartCella 3PH: Electronic controllers for cold rooms. User manual." [Online]. Available: <https://www.carel.com/documents/10191/0/%2B0300084EN/f1f8c481-f6fe-47bf-af72-b5895b1df9c9> [Accessed: Oct. 1, 2026].
- [5] Eliwell by Schneider Electric, "Cold rooms." [Online]. Available: <https://www.eliwell.com/en/Products/Refrigeration/Cold-rooms.html> [Accessed: Oct. 1, 2026].
- [6] Monnit, "Commercial Refrigeration and Freezer Temperature Monitoring Systems." [Online]. Available: <https://www.monnit.com/applications/commercial-refrigeration/> [Accessed: Oct. 1, 2026].
- [7] C. Alarcon, "Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition," Generative Science Preprints, 2026(07), 19055673, 2026, <https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>