

**Temperatura en función del tiempo de medicamentos al salir de un sistema de refrigeración mediante análisis de balance de energía**

Diego Alonso Porras Díaz;  
a01762238@tec.mx

Paula Giselle Guerrero Hernández;  
a01620748@tec.mx

Rodolfo Ignacio Rodríguez Martínez;  
a01174785@tec.mx

Eliseo Antonio Valdés Castillo;  
a01412733@tec.mx

*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey*

*Solución de problemas de procesos (Gpo 404)*

Prof. Omar Israel González Peña

Domingo 22 de octubre de 2023

## **1. Abstract**

Este estudio aborda el desafío de almacenar medicamentos en refrigeradores médicos a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , donde la temperatura se ve alterada al abrir la puerta y exponer los medicamentos a temperatura ambiente. El propósito es analizar el comportamiento térmico de los refrigeradores al mantenerlos abiertos, asegurando que la temperatura interna no exceda los  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  para mantener la integridad de los medicamentos. La metodología implica un monitoreo continuo de la temperatura, proporcionando resultados que impactan la

gestión de medicamentos en entornos de almacenamiento en frío.

**Keywords:** Refrigeradores médicos, temperatura, almacenamiento de medicamentos, integridad, comportamiento térmico.

## **2. Introducción**

En la cadena de suministro, el concepto de la "cadena de frío" ha sido un pilar fundamental, especialmente en las industrias alimentaria y farmacéutica, donde la integridad de los productos perecederos es de vital importancia. "Es bien sabido que la temperatura del gabinete varía según la puerta, aperturas, la duración de las aperturas de las puertas y el tiempo de descongelación. Estos factores contribuyen directamente a las heladas (formación y fusión), y por tanto influyen en el consumo de energía"[4,3,5].

Se han establecido protocolos extensos y meticulosos para garantizar que los productos lleguen en condiciones seguras tanto a los distribuidores como a los consumidores finales. Sin embargo, existe un punto crítico en esta cadena que a menudo pasa desapercibido, pero que puede tener un impacto significativo en la calidad y seguridad de los productos: el proceso de transferencia de estos productos a sistemas de refrigeración una vez en manos de laboratorios o almacenes.

Este momento aparentemente insignificante puede dar lugar a pequeñas perturbaciones en la temperatura interna de los productos, lo que a su vez desencadena desequilibrios tanto en el sistema de refrigeración como en el contenido mismo. Estas fluctuaciones térmicas, aparentemente menores, pueden conducir a

la pérdida de productos o, lo que es aún más preocupante, a modificaciones en la estructura química de los productos, lo que podría representar un riesgo para la salud.

El propósito de este documento es abordar este problema subestimado y brindar una posible solución para asegurar que el proceso de transferencia de productos a sistemas de refrigeración se realice de manera óptima y segura, manteniendo así la integridad y calidad de los productos en un eslabón crítico de la cadena de frío. La investigación que se presenta busca comprender y analizar el comportamiento térmico de los refrigeradores médicos durante esta fase y proponer recomendaciones para mitigar los riesgos asociados con las fluctuaciones de temperatura en productos farmacéuticos.

Para lograr llegar a dicha solución es necesario hacer un análisis de balance de energía, es decir, conocer la transferencia de calor que ocurre al instante en el que las puertas de un sistema de refrigeración se abren.

### **3. Materiales y Metodología**

Tanto el diseño como la ejecución de un estudio son elementos esenciales para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En esta sección, se presenta en detalle el enfoque metodológico empleado en la investigación. La claridad en la descripción de los materiales utilizados y los procedimientos seguidos es importante no solo para el entendimiento de los hallazgos, sino también para facilitar que este estudio se replique en futuras investigaciones. A continuación, se detallan los aspectos clave de la

metodología implementada, abordando el diseño experimental, los instrumentos utilizados y los procedimientos llevados a cabo.

El sistema a analizar en este caso específico son medicamentos que salen de un sistema refrigerante y son expuestos a la temperatura ambiente de la sala. Como puede asumirse, este es un evento que sucede en estado transitorio, o sea que las propiedades del objeto están variando con respecto al tiempo. Cabe mencionar que este análisis no tiene por qué encasillarse a simplemente medicamentos, podría ser cualquier otro objeto que salga de un congelador y esté en contacto con una temperatura diferente a la suya. Este análisis al ser realmente complejo, se estarán tomando en cuenta las siguientes consideraciones [5]:

- La transferencia de calor y masa ocurre mediante un proceso cuasiestático.
- Las propiedades del aire en contacto con este producto se mantienen constantes.
- El medicamento es mayormente agua, propiedades aproximadas a este fluido a la temperatura que se encuentre.
- Calores específicos constantes ya que el cambio de temperatura no debe ser mucho.
- La transferencia de calor debido a la radiación se considera despreciable debido a las bajas temperaturas que tienen los medicamentos.
- La transferencia de calor de calor debido a la conducción en los empaques de vidrio del

medicamento se considera despreciable.

- La temperatura más alta del medicamento será la exterior, así que manteniendo esa controlada el medicamento no se echará a perder

El análisis de esta situación se hace principalmente al cambio de temperatura máxima que le podría ocurrir a medicamentos al salir de un sistema de refrigeración, tomando como medida que estos pueden variar hasta 5 °C. Los flujos de calor asociados al medicamento son mostrados en la Fig. 1 [5]. El balance de energía de estos medicamentos sería el siguiente:

$$\frac{dU_{med}}{dt} = \widehat{Q}_{conv med}$$

$$m_{med} \cdot c_{med} \cdot \frac{dT_{med}}{dt} = h \cdot A_{med} \cdot (T_{med} - T_{\infty})$$

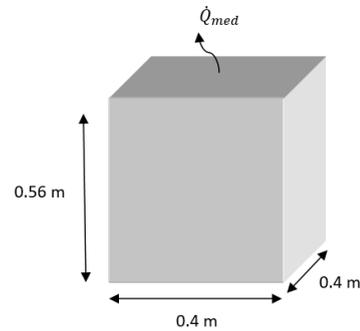
Los valores de masa, calor específico, área y temperaturas van a depender del experimento y las condiciones que se tengan, así que varía en general. Sin embargo, esta expresión puede integrarse para obtener una función para el tiempo tomando en cuenta las demás variables constantes, que sería:

$$t(T_{med}) = \frac{\ln(T_{med} - T_{\infty}) - \ln(T_{med0} - T_{\infty})}{\frac{h \cdot A_{med}}{m_{med} \cdot c_{med}}}$$

De valor de coeficiente de transferencia de calor por convección natural se tiene un rango que va de 2-25  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  [1], pero para este caso lo asumimos como 20. Las propiedades que se usarán para este modelo serán mostradas en la Tabla 1. Se estará considerando propiedades del agua a -25 °C ya que es la temperatura requerida del medicamento [2]

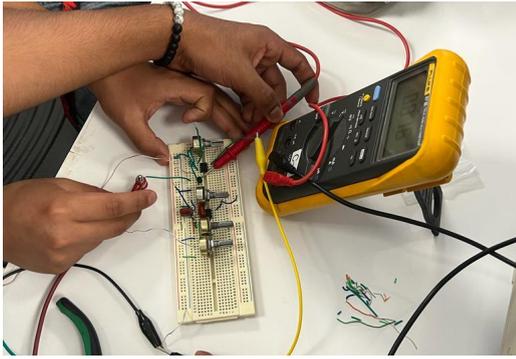
Variable	Valor	Unidades
$C_{p med}$	0.492	kcal/kg°C
$T_{\infty}$	298.15	°K
$T_{refrigerador}$	248.15	°K
$T_{med}$	248.15	°K
$m_{med}$	34	kg
$A_{med}$	0.224	$m^2$

Esta es la forma teórica en la que se podría hallar el tiempo en el que estos medicamentos disminuyen su temperatura en 5 °C.



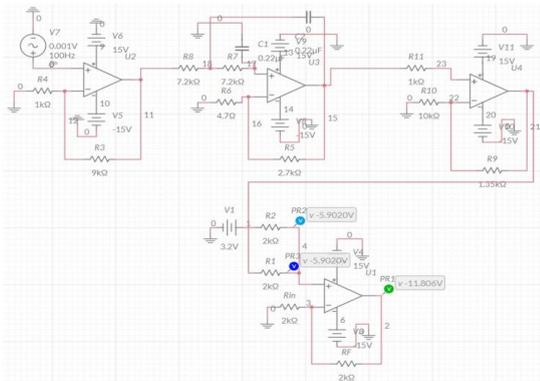
**Fig. 1** Modelo de empaquetado de vacuna Pfizer's mRNA y representación de su flujo de salida de calor en forma de convección

De forma experimental este estudio se enfoca en implementar un protocolo que evite estas diferencias de temperatura que estropeen el medicamento. Para ello es necesario realizar pruebas, en este caso se estarán haciendo las mediciones de temperatura con un sensor diseñado con teoría de amplificadores operacionales como el mostrado en la Fig. 2.



**Fig. 2** Sensor de temperatura diseñado usando Op-amps.

Asimismo, este sensor se tuvo que haber simulado en un inicio y se muestra en la Fig. 3



**Fig. 3** Simulación de sensor de temperatura diseñado usando Op-amps

El sensor empleado en el circuito es el LM35 de la marca Bridgoid, el cual nos arroja un voltaje de salida de 0.01 V/°C.

#### 4. Resultados

Este estudio resulta ser más teórico debido a los recursos limitados que se tenían para realizar los experimentos, por ello a continuación se mostrará el tiempo necesario para disminuir la temperatura de los medicamentos en 5 °C.

Temperatura (°C)	Tiempo (s)
-24	2.69
-23	5.44
-22	8.25
-21	11.11
-20	14.05

**Tabla 2:** Resultados teóricos del tiempo para disminuir la temperatura de los medicamentos.

#### 5. Discusión

##### Protocolo para el correcto uso y almacenamiento de medicinas.-

Abrir el refrigerador de medicamentos a -25°C requiere cuidado y atención para minimizar el impacto en la temperatura interna, un factor a considerar es el tiempo en que se mantendrá abierto el refrigerador ya que nuestras aproximaciones nos dicen que si el refrigerador se mantiene abierto más de 14 segundos (de forma continua) podría afectar la integridad de los medicamentos. Por lo que es recomendado seguir estos pasos:

##### 1. Preparación antes de abrir:

Antes de abrir el refrigerador, asegúrate de que el medicamento que necesitas retirar esté listo para ser tomado. Esto ayudará a minimizar el tiempo de exposición del interior del refrigerador a la temperatura ambiente.

## 2. Minimizar el tiempo de apertura:

Cuando llegue el momento de abrir el refrigerador, sigue estos pasos para minimizar el tiempo de apertura:

Abre la puerta del refrigerador de manera suave pero rápida. Evita abrir la puerta de forma brusca, lo que podría causar turbulencia en el aire y un cambio rápido de temperatura.

Ten claro lo que necesitas tomar antes de abrir la puerta. Abre la puerta solo el tiempo necesario para alcanzar el medicamento deseado y evita abrir múltiples compartimentos a la vez.

Evita mantener la puerta abierta mientras buscas el medicamento. Mantén la puerta cerrada tanto como sea posible mientras buscas y retiras el medicamento.

## 3. Monitoreo de la temperatura interna:

Si el refrigerador está equipado con una alarma de temperatura, asegúrate de que esté activada y sea audible. Esto te alertará si la temperatura interna comienza a subir más allá de un rango seguro.

## 4. Cierre adecuado:

Una vez que hayas tomado el medicamento, cierra la puerta del refrigerador cuidadosamente para asegurarte de que quede completamente sellada. Asegura que la puerta esté bien cerrada antes de retirarte.

## 5. Registro de la apertura:

Registra la fecha, hora y motivo de la apertura del refrigerador en un registro de seguimiento. Esto es importante para llevar un registro de todas las veces que el refrigerador se ha abierto y para

monitorear cualquier exposición a temperaturas no deseadas.

## 6. Acción en caso de alarma o desviación de temperatura:

Si, después de abrir el refrigerador, la alarma se activa o la temperatura interna comienza a desviarse más allá de los límites seguros, sigue el procedimiento de acción en caso de alarma, que puede incluir notificar al personal autorizado y tomar medidas correctivas inmediatas para restaurar la temperatura adecuada.

## 6. Conclusión

Según las investigaciones realizadas, queda claro que mantener la temperatura adecuada de un sistema de refrigeración es crucial para preservar la calidad y seguridad de su contenido. La temperatura del refrigerador debe controlarse periódicamente y cualquier desviación del rango recomendado debe abordarse de inmediato. Las técnicas de almacenamiento adecuadas, como organizar el contenido del refrigerador y asegurarse de que la puerta esté bien cerrada, también pueden ayudar a mantener la temperatura. Además, es importante mantener un registro de la temperatura del refrigerador y de cualquier momento en que se abra la puerta para controlar cualquier exposición a temperaturas indeseables. En caso de alarma o desviación de temperatura, es importante seguir los procedimientos adecuados para restablecer la temperatura al rango recomendado. Siguiendo estas pautas, es posible mantener la calidad y seguridad del contenido de un refrigerador.

Este estudio es una contribución importante para la gestión de medicamentos en entornos de almacenamiento en frío, y puede ser utilizado como base para futuras investigaciones en este campo.

model of a vertical freezer with door openings and defrost effects. *Applied Energy*, 121, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.069>

## 7. Referencias

[1] Cengel, Y. A. “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 3ra. Edición. (2016).

[2] Fahrni, M.L., Ismail, I.AN., Refi, D.M. *et al.* Management of COVID-19 vaccines cold chain logistics: a scoping review. *J of Pharm Policy and Pract* 15, 16 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40545-022-00411-5>

[3] Gin, B., Farid, M., & Bansal, P. (2010). Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2698-2706. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.005>

[4] Liu, D., Chang, W., & Lin, J. (2004). Performance comparison with effect of door opening on variable and fixed frequency refrigerators/freezers. *Applied Thermal Engineering*, 24(14-15), 2281-2292. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.01.009>

[5] Mastrullo, R., Mauro, A., Menna, L., Di Palma, A. M., & Vanoli, G. P. (2014). Transient