

## A2 Almacenamos calor – Del depósito de agua a la fundición de sal

Los aparatos y materiales alcanzan para realizar los experimentos en ocho grupos de alumnos a la vez. Si se realizan todos los experimentos parciales según el orden propuesto se crea una base para tener una unidad lectiva sobre el tema del calor, el almacenamiento del calor, la temperatura, el cambio de fase (estado físico o de agregación), el calor de fundición y el calor latente. En estas instrucciones encontrará indicaciones y sugerencias a modo de explicación y profundización.

### 1 Pregunta central

En muchos procesos técnicos y, en particular, en relación con las fuentes de energía renovables o regenerativas se produce calor que con frecuencia se libera al medio ambiente sin ser aprovechada. Una pregunta importante para el futuro es, por eso, cómo se puede almacenar y aprovechar ese calor.

Con los experimentos aquí propuestos se muestra que el calor se puede almacenar durante períodos más largos y de qué manera. La forma más fácil es con agua, más eficaz es hacerlo con sales fundidas, que al cristalizar pueden liberar energía en grandes cantidades. Para ello se investiga un cojín térmico comercialmente disponible, que está relleno de una sal de sodio de ácido acético. Los alumnos y alumnas aprenden con estos experimentos que el calor, que no se puede aprovechar al ser producido, no se tiene por qué perder al equilibrarse la temperatura con la temperatura ambiente, sino que se puede aprovechar también más tarde. Aprenden a entender según qué principios funcionan los depósitos de calor y temperatura (p. ej., los calentadores de agua, los depósitos de calor estacionales) o los depósitos de calor latente (químicos), que trabajan con sales fundidas. Desde un punto de vista metodológico aprenden a ejecutar mediciones individuales y comparativas y a interpretarlas.

### 2 Integrar el experimento en el contexto educativo

#### 2.1 Base científica

Mientras que los alumnos y alumnas conocen de sus vidas cotidianas la forma en que se pasa de un estado sólido a uno líquido y luego a uno gaseoso, especialmente, en base al ejemplo del agua, no siempre son conscientes de que con cada cambio de estado se produce energía. Los experimentos sirven para basarse en estos conocimientos previos y entender en mayor profundidad que el calor de fundición y evaporación también se puede aprovechar para almacenar energía. Una forma de profundizar en el tema consiste en observar el nivel de partículas en las que se interpreta el calor como movimiento o donde el orden juega un papel para el contenido energético de una sustancia.

#### 2.2 Relevancia en el plan de estudios

Los estados de agregación y las transformaciones son temas a tratar en los grupos de edad a partir de los 13 años. La observación diferenciada de los equilibrios energéticos empieza ya en una fase temprana, pero sólo posteriormente se ahonda en la materia.

Aún cuando el tema pertenezca tanto a las asignaturas de Física como de Química, plantea un contenido que básicamente rebasa el marco de las disciplinas a título individual. En concreto, estos experimentos pueden ser utilizados en ambas asignaturas, pero también en el marco de proyectos que aborden los aspectos técnicos del almacenamiento de calor.

Básicamente se trata del posible aprovechamiento del calor a través del almacenamiento, usando materiales adecuados. Desde un punto de vista técnico, el concepto de los estados de agregación con sus transformaciones y la producción de energía correspondiente son el tema prioritario a examinar.

**Temas y terminología:** Los estados de agregación (sólido, líquido, gaseoso), el equilibrio energético, el efecto entrópico, la energía reticular, el aislamiento, la cristalización, el calor de cristalización, cristalizar, el almacenamiento del calor latente, el acetato de sodio, el rango, el cambio de fase, las sales fundidas, el calor de fundición, el modelo de partículas del calor, la temperatura, el perfil de la temperatura, la hipotermia o el enfriamiento excesivo, el calor de evaporación, el calor, el aislamiento térmico, la capacidad térmica, el almacenamiento térmico

### 2.3 Conocimientos a adquirir

Los alumnos y alumnas ...

- aprenden a entender el paso de un estado de agregación líquido a uno sólido como causa de la liberación de calor.
- reconocen en ello la posibilidad de almacenar el calor producido para poder aprovecharlo más tarde.
- aprenden a entender que todos los cambios entre los estados de agregación están relacionados con equilibrios energéticos.

### 2.4 El experimento en el contexto explicativo

Se proponen aquí dos veces dos experimentos:

- Los dos primeros abordan la posibilidad de almacenar el calor mediante el agua.
- Los dos experimentos siguientes utilizan un cojín térmico comercialmente disponible o su contenido (una sal de sodio de ácido acético) para demostrar la producción de energía al cambiar de estado de agregación (en este caso, la cristalización).

#### 2.4.1 Experimento parcial 1: El agua para almacenar el calor – No sólo el té se enfría

Gracias a su gran capacidad de absorber calor, el agua puede almacenar muy bien el calor. Sin embargo, el agua sin aislamiento cede calor continuamente al entorno hasta que se haya equilibrado la temperatura. Los alumnos y alumnas deben observar el perfil de la temperatura partiendo de agua a aprox. 60 °C mediante mediciones, apuntar los valores medidos en una tabla y a partir de ellos elaborar gráficas (la temperatura en relación con el tiempo). Basándose en la gráfica se dan cuenta de que la temperatura del agua baja.

#### 2.4.2 Experimento parcial 2: El agua como acumulador eficaz de calor – El agua puede permanecer caliente durante más tiempo si ...

Para poder utilizar el calor almacenado en agua durante más tiempo, hay que aislar el recipiente en cuestión de la mejor manera posible. Los alumnos y alumnas deben repetir para ello el experimento parcial 1 y probar diferentes materiales disponibles de forma cotidiana. El perfil de la temperatura da pautas sobre si el aislamiento térmico es bueno o malo y las posibilidades prácticas de almacenar el calor. Si el material escogido sirve para aislar bien, la temperatura disminuirá más lentamente que sin aislamiento.

### 2.4.3 Experimento parcial 3: Calor para dedos fríos – ¿Sirve el cojín térmico para almacenar el calor?

El primer experimento sobre el calor de fundición o cristalización se basa en el fenómeno de que un cojín térmico con contenido líquido se calienta al cristalizar y cede temperatura durante un período prolongado a una temperatura constante. El hecho de que para que se funda un material sólido hay que añadir energía (en forma de calor) es algo que conocen los alumnos y alumnas (la cera de las velas). En cambio, lo que resulta sorprendente es el proceso a la inversa, es decir, que al cristalizar o al volverse sólido se libere calor. Este efecto se puede observar muy bien en el cojín térmico, dado que el líquido utilizado es una masa líquida muy enfriada, que sólo se cristaliza al doblar la plaquita metálica. (Al doblar se forman los gérmenes de cristalización necesarios, algo similar a cuando uno raya con una varilla de vidrio, véase el experimento parcial 4).

El experimento puede ser repetido cuantas veces se quiera, poniendo el cojín térmico en agua muy caliente durante aprox. 10 minutos o hasta que se fundan por completo los cristales (aprox. 90 °C). (Es conveniente que el profesor o la profesora lo prepare con un hervidor de agua antes de realizar el experimento o después del mismo).

### 2.4.4 Experimento parcial 4: La forma de almacenar el calor del cojín térmico – Una sal a veces sólida y a veces líquida

Para investigar más detenidamente los procesos se puede abrir un cojín térmico. Una parte del contenido se puede colocar en un tubo de ensayo, hacer que se funda y después de que se enfríe al frotarlo con una varilla de vidrio hacer que cristalice. Al hacerlo miden cómo cambia la temperatura.

Se observa que al solidificarse siempre se alcanza la misma temperatura (según el tipo de cojín térmico, aprox. 50 °C hasta 58 °C), lo que corresponde al punto de fundición de la materia sólida. (En realidad, los valores medidos en el experimento son por lo general inferiores debido a la pérdida de calor).

Este experimento sólo se puede repetir en ciertas condiciones, dado que al calentar siempre se pierde algo de agua. Por ello cambia la composición de materia fundida y sólida hasta que al final ya no se forma un líquido transparente.

Atención: Lo mejor es que el propio profesor o la profesora abra un cojín térmico cristalizado y reparta la sal entre los alumnos y alumnas. El resto de la sal se puede conservar en un recipiente bien cerrado y puede ser utilizada con otras clases. (Si hace falta se puede añadir de vez en cuando un par de gotas de agua para compensar la pérdida por evaporación). Como se suministran nueve cojines térmicos siempre hay suficientes para ocho grupos de alumnos.

### 2.4.5 Información básica sobre el cojín térmico

La materia sólida utilizada es por lo general trihidrato de acetato de sodio con un punto de fundición de 58 °C. (En los comercios debido al peligro de quemaduras se ha modificado el relleno de los cojines térmicos, de forma que el punto de fundición suele rondar los 50 °C). Mientras que la mayoría de las demás sales tienden a formar de forma espontánea gérmenes y a cristalizarse (y, posteriormente, no pueden enfriarse bien en estado fundido), esta sal permanece líquida durante más tiempo también a temperaturas inferiores. En caso de que en nuestro experimento no se llegue exactamente a los 58 °C se deberá a las condiciones de medición o a la composición del cojín térmico.

Una curva típica de los valores de medición con el cojín térmico sería la siguiente:

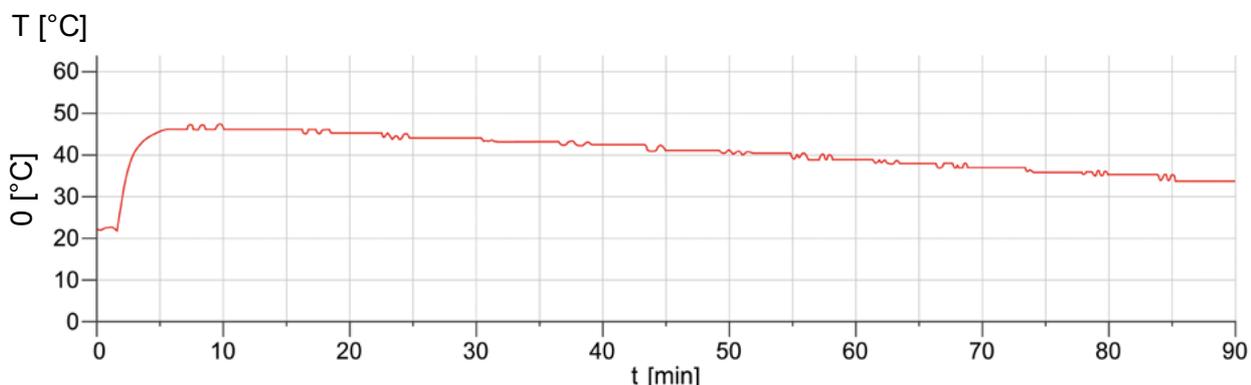


Fig. 1: La curva de temperatura de un cojín térmico.

Desde un punto de vista de la Física o Química, la explicación del equilibrio energético, o de la liberación de calor en este caso, es un poco más complicada. Se trata del efecto entrópico, dado que el orden de las partículas en la materia sólida es considerablemente mayor que en estado fundido. No obstante, este enfoque solo tiene una importancia relativa para la clase dirigida a alumnos y alumnas de 13 a 16 años.

También resulta interesante aclarar la cuestión de por qué se desencadena la cristalización al doblar una plaquita de metal o al rayar con una varilla de vidrio. La cristalización es fácil de entender en pequeñas partículas externas en forma de gérmenes de cristalización, en las que crecen los primeros átomos de la sustancia que cristaliza. (Este efecto se utiliza con frecuencia en la fundición de metales). Pero también funciona sin partículas externas. ¿Qué sucede entonces al doblar la plaquita de metal? Una “explicación” ampliamente difundida consiste en que los nanocristales de la sal depositados en el metal son los que causan la cristalización al doblarlo. Esto se contradice con el hecho de que la cristalización también se desencadena al frotar la plaquita con una varilla de vidrio no utilizada y sin nanocristales (véase el experimento parcial 4). Si se transfieren los conocimientos relativos a la cristalización de metales obtenidos en la teoría de los materiales a la disolución de la cristalización de sales fundidas se llega a una explicación diferente: Las ondas de choque producidas al doblar o rayar el cojín térmico hacen que algunos iones se aproximen tanto que forman conglomerados, llamados “centros energéticos”, que a su vez actúan como núcleos de cristalización.

### Advertencias importantes:

Iniciar la cristalización:

En el experimento parcial 3 (El cojín térmico) hay que procurar que la plaquita de metal no se doble tan fuertemente como para que se quiebre. Para iniciar la cristalización en un cojín térmico intacto basta con doblar la plaquita suavemente, de forma que se oiga un chasquido o que se sienta el doblez.

El cojín térmico ya está cristalizado:

Es posible que debido a la presión, a algún golpe o a vibraciones durante el transporte el contenido del cojín térmico ya no esté en estado líquido antes de ser utilizado por primera vez. En ese caso el profesor o la profesora debería regenerarlo en un hervidor de agua como se describe en el punto 4.5. Después de hacerlo tendrían que funcionar sin ningún problema.

## 2.5 Variantes de ejecución

- Todos los experimentos pueden ser realizados de forma individual o en pequeños grupos. La medición de la evolución de la temperatura debería realizarse en grupos de al menos dos alumnos, a fin de que uno se pueda ocupar de leer y el otro de anotar los valores de medición.
- Para obtener una medición que pueda reproducirse bien en el experimento parcial 3, es conveniente trabajar sobre una base aisladora (p. ej., un cartón), colocar el cojín térmico alrededor del sensor del aparato de medición y en caso necesario fijar todo con una banda elástica (o atarlo con un hilo).
- Si su escuela dispone de suficientes tubos de ensayo con tapón después de terminar el experimento parcial 4 se puede tapar el tubo de ensayo con el acetato de sodio cristalizado. Si se conserva de esta forma el acetato de sodio se puede volver a utilizar repetidamente.
- Los experimentos parciales 1 y 3 deberían ser realizados siguiendo las instrucciones. El experimento parcial 2 también podrían desarrollarlo y realizarlo los propios alumnos y alumnas. Al proceder de esta forma se brinda una buena posibilidad de aplicar métodos de trabajo científicos. A fin de conseguir en el experimento parcial 2 un buen aislamiento del tubo de ensayo con el agua caliente, hay que probar diferentes materiales aisladores. Si se coloca un paño de lana alrededor del tubo de ensayo sólo se consigue que la temperatura en un lapso de 20 minutos baje 3 °C menos que si no se le pusiera aislamiento alguno (véase la tabla).

	temperatura inicial	después de 3 min.	después de 6 min.	después de 9 min.	después de 12 min.	después de 15 min.	después de 18 min.
agua en el tubo de ensayo	46,5 °C	41,4 °C	37,6 °C	35,1 °C	32,5 °C	30,3 °C	28,5 °C
con paño de lana	47,4 °C	43,5 °C	40,5 °C	37,9 °C	35,5 °C	33,5 °C	31,6 °C

- Para ahondar en el concepto de absorción de calor en la fundición, se pueden apuntar los cambios de temperatura al calentar una mezcla de agua y hielo: mientras queda un resto de hielo, la temperatura de la mezcla se mantiene en 0 °C. Como experimento demostrativo también sirven igualmente la ebullición y la evaporación del agua. Aquí la temperatura del líquido permanece hasta el final en 100 °C (o según la altura y la presión atmosférica por debajo de 100 °C).
- Con alumnos y alumnas mayores o en clases superiores se puede examinar también la explicación del calor a nivel de las partículas.
- En todo caso hay que abordar el tema de las posibles aplicaciones técnicas y prácticas del almacenamiento de calor a largo plazo. De esta forma, ya hoy en día se utiliza para la calefacción de edificios de oficinas modernos una forma de almacenamiento del calor según las estaciones del año: En verano el sol calienta el agua que se almacena en receptores subterráneos de gravilla bien aislados. En invierno esta agua cede el calor a los sistemas de la calefacción.  
El calor se puede almacenar también con otras sales diferentes del acetato de sodio en otras gamas de temperatura. En la actualidad se utilizan mezclas de sal de alta fusión de hasta aprox. 800 °C. Entonces la energía se utiliza con frecuencia para alimentar un proceso técnico como, p. ej., para el calentamiento previo de una sustancia antes de

una reacción química. También en las centrales solares térmicas como la de Andasol en el Sur de España se almacena el calor con sales fundibles. Con una mezcla de nitrato de sodio y potasio que se funde a aprox. 400 °C la central funciona también por la noche y sin sol durante otras 7 horas con plena potencia.

### 3 Informaciones adicionales sobre el experimento

Para preparar y/o profundizar este experimento encontrará información complementaria en el Portal de Medios de la Siemens Stiftung:

<https://medienportal.siemens-stiftung.org>

### 4 Observaciones sobre la realización del experimento

#### 4.1 Lugar en el que se realiza el experimento

No se requiere un lugar especial para realizar los experimentos.

#### 4.2 Tiempo necesario

	preparación y realización
Experimento parcial 1	20 – 30 min., para la preparación 5 min.
Experimento parcial 2	según el grupo de aprendizaje y la variación 20 min. hasta una hora lectiva
Experimento parcial 3	10 min. incl. la preparación
Experimento parcial 4	15 min. incl. la preparación

#### 4.3 Advertencias de seguridad

Los experimentos sólo pueden ser realizados bajo la vigilancia del profesor o de la profesora. Hay que advertir a los alumnos y alumnas que los materiales suministrados sólo se deben utilizar siguiendo las instrucciones correspondientes.

En estos experimentos tenga en cuenta los siguientes peligros posibles y llame la atención de los alumnos y alumnas a este respecto:

- Procure que los materiales y aparatos no se dañen a causa del agua.
- Hay peligro de quemaduras y de incendio al trabajar con fuego. Antes de utilizar por primera vez los encendedores el profesor o la profesora tiene que controlar que funcionen bien, especialmente la regulación de la altura de la llama.
- Al utilizar agua caliente (experimentos parciales 1 y 2) hay peligro de quemaduras.
- Es demasiado peligroso utilizar agua hirviendo para la regeneración del cojín térmico (experimento parcial 3) en una clase normal y en la mesa de los alumnos. Por esta razón, el profesor mismo debe ocuparse de la regeneración del cojín térmico antes o después del experimento parcial 3 (lo mejor es regenerar todos los cojines térmicos al mismo tiempo).
- Tampoco se debe cortar el cojín térmico sin que esté presente el profesor, lo mejor es que el profesor o la profesora se encargue de hacerlo. Sin embargo, el trihidrato de acetato de sodio así como el acetato de sodio sin agua no se considera peligroso.
- ¡Para manipular la sal fundida los alumnos y alumnas deben ponerse las gafas protectoras! Si no fuera suficiente con las 16 gafas protectoras suministradas en la caja se pueden completar con alguna que tenga su colegio.

## 4.4 Aparatos y materiales

### A adquirir o preparar previamente:

En caso de que el profesor o la profesora quiera mostrar cómo se regenera el cojín térmico se requiere agua hirviendo. Para ello lo mejor es utilizar un hervidor de agua eléctrico con un elemento calentador cubierto. Se colocan en el hervidor los cojines térmicos, se hace hervir el agua y se dejan durante 10 minutos en agua caliente.

Además, por grupo se requiere un reloj de pulsera con segundero o un cronómetro así como un encendedor (de ser posible un encendedor de llama) o fósforos.

Para los experimentos 2 y 3 debe disponerse de materiales aisladores como, p. ej., un guante de goma, una bufanda, cartón, una placa de estiropor o algo similar.

Si ya se ha realizado una vez el experimento debería usarse la sal del cojín térmico cortado.

### Incluido en el suministro:

Los aparatos y materiales entregados son suficientes para que **ocho** grupos de alumnos realicen el experimento en paralelo.

Los materiales y aparatos importantes para la seguridad deben ser controlados antes de entregárselos a los alumnos y alumnos para comprobar que funcionen correctamente.

Para **un** grupo de alumnos se requieren los siguientes materiales de la caja:

material	cantidad
termómetro digital*	1x
palito de cristal	1x
banda elástica	2x
cuchara de café	1x
clip para plantas (para fijar el tubo de ensayo)	1x
tubo de ensayo de vidrio, 13 cm	2x
gancho para tubo de ensayo de madera	1x
gafas protectoras	1x**
jeringuilla (inyección cónica), 5 ml (como pipeta)	1x
velita de té	1x
cojín térmico (con sales fundibles)	1x

\*Antes de utilizarlo la primera vez, quitarle la capa protectora de plástico. Para prender el termómetro oprimir el botón “on/off”. Después de realizado el experimento volver a apagar el termómetro presionando nuevamente el botón “on/off”. Al presionar el botón “°C/°F” se puede cambiar la escala de temperatura de grados centígrados a Fahrenheit.

\*\*En total se suministran 16 gafas protectoras para todos los alumnos y alumnas en todos los grupos. Si participaran más alumnos y alumnas en los experimentos, si hace falta hay que conseguir gafas protectoras de la escuela.

Atención: Si se realiza el experimento parcial 4 por primera vez hay que cortar el cojín térmico. Se va a “gastar” un cojín térmico. Por ello se suministra un cojín térmico adicional (el noveno) en la caja. El contenido del cojín térmico debe conservarse (véase el punto 2.4.4), de forma que al realizar el experimento con otros grupos de alumnos no se tenga que volver a “gastar” otro más.

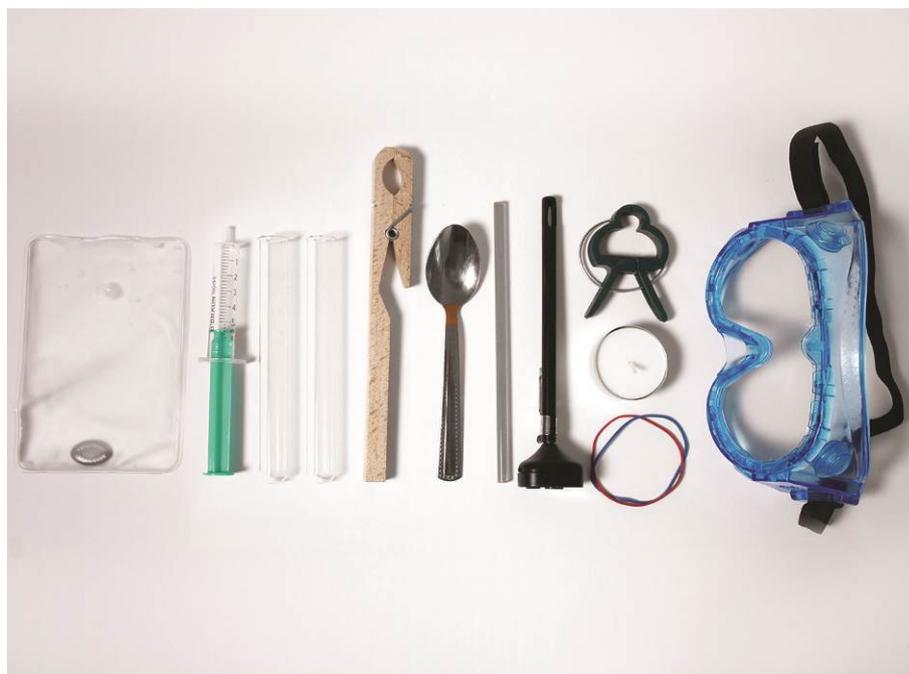


Fig. 2: Aparatos y materiales incluidos en el suministro para un grupo de alumnos.

#### 4.5 Poner orden, eliminar residuos, reciclar

Todos los aparatos y casi todos los materiales suministrados en la caja se pueden reutilizar. Por ello debería asegurarse de que al concluir cada experimento vuelvan a colocar todo en la caja correspondiente. Así estará seguro de que Ud. y sus colegas encuentren todo rápidamente cuando lo quieran volver a utilizar.

Los aparatos que se hayan ensuciado al realizar los experimentos, como, p. ej., vasos, recipientes, cucharas, tubos de ensayo, deberían ser limpiados antes de colocarlos en las cajas. Lo más fácil es que los alumnos y alumnas se ocupen de hacerlo al finalizar el experimento. Además, asegúrese de que los aparatos estén listos para ser utilizados en la próxima ocasión. Por ejemplo, hay que poner a cargar las pilas usadas. (También es recomendable cuando no se han usado las pilas desde hace tiempo).

Los materiales no reciclables como, p. ej., las barritas de medición del valor pH o el papel de filtro, deben ser tirados a la basura correspondiente.

Los residuos resultantes de este experimento se pueden tirar a la basura normal o por el desagüe.

**Advertencia sobre la regeneración del cojín térmico:** La regeneración requiere cierto tiempo: Después de colocar el cojín en agua hirviendo hay que esperar 10 – 15 minutos hasta que se funda toda la sal. Después hay que dejar que el cojín se vuelva a enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, lo que según la temperatura que haga puede durar unos 30 minutos o más. ¡Pero no se debe tratar de acelerar el proceso con agua fría, porque entonces con frecuencia sucede que se enfría demasiado y el cojín vuelve a cristalizarse inmediatamente!