



La presión y sus efectos en el agua

Juan Espinoza G.
juan.espinoza@umce.cl
Departamento de Física
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación

El siguiente programa de actividades, elaborado sobre la base de esta producción audiovisual, tiene como propósito presentar algunos contenidos del tema calor, inserto en la asignatura de Física, en Educación Media. También, los contenidos tratados en el video están relacionados con algunos tópicos de Ciencias de la Tierra, por lo que es posible emplear esta producción audiovisual en una asignatura como esa, al tratar, por ejemplo, el agua y sus propiedades físicas, las capas de la atmósfera y su composición, la presión atmosférica y sus efectos, los cambios de fase del agua, entre otros experimentos que se realizan. En este video se emplea la expresión "cambio de fase" en lugar de "cambio de estado". Así, tomando en cuenta los cambios de fase del agua, el video trata específicamente de "la presión y sus efectos en los cambios de fase del agua".

Este programa de actividades, o guía didáctica para el profesor, se elabora sobre la base del modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, el que puede ser analizado en el libro editado por la UNESCO (Gil et al, 2005)¹ o en el artículo de (Gil, 1993)². Según diversos autores especialistas en el tema, este modelo está bien cimentado en ciertos elementos necesarios que debe presentar la fundamentación de toda propuesta didáctica acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias³. Esos factores que se deben considerar son: Naturaleza de la ciencia; Psicología del aprendizaje de las ciencias; Motivación y actitudes hacia la ciencia; Lo que los estudiantes saben hacer y piensan (concepciones alternativas, o preconceptos, en general). En el libro arriba citado, el profesor encontrará ejemplos de programas de actividades para diversos temas científicos.

La presente producción audiovisual, que se puede ver para ser analizada en clases, se encuentra en *Youtube*, en la dirección URL <https://www.youtube.com/watch?v=m1nRmIvKkVs>. En el video se muestran, experimentalmente, algunos efectos de la presión en los cambios de fase del agua, y responde al planteamiento de la siguiente situación problemática:

1 Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P., Vilches, A. (2005) ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. OREALC/UNESCO. Libro on line.

2 Gil Pérez, D. (1993) Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 1993, 11 (2), 197-212.

3 Campanario, J. y Moya, A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 1999, 17 (2), 179-192.

¿Cómo afecta la presión a los cambios de fase del agua?

Para responder este interrogante, los estudiantes, trabajando en grupos de 3 o 4 integrantes, deben en primer lugar, responder los interrogantes planteados en la actividad 1, de manera individual y después grupal, antes de ver el video.

Actividad 1. Antes de ver el video, respondan los siguientes interrogantes. Escriban cada una de las opiniones, reflexiones y conocimientos de los integrantes del grupo.

- a) ¿Cuáles son las capas de la atmósfera de la Tierra?
- b) ¿En cuál de las capas de la atmósfera ocurren los fenómenos meteorológicos y cómo se denomina?
- c) ¿Cuáles son las principales magnitudes físicas para medir el estado del tiempo atmosférico?
- d) ¿En qué consiste y cómo se explica el experimento de Torricelli?
- e) ¿Cuáles efectos de la presión atmosférica conocen? ¿Cómo se explican?
- f) ¿Cuál es la temperatura de ebullición del agua y de qué depende?
- g) ¿Qué es un cambio de fase de una sustancia?
- h) ¿Varía la temperatura cuando ocurre un cambio de fase?
- i) ¿A qué temperatura funde el hielo? ¿De qué depende?
- j) ¿A qué temperatura hierve el agua en una olla a presión?
- k) ¿En qué consiste el experimento del rehielo?

Comentarios A1.- Estas preguntas iniciales tienen el propósito de revisar lo que los estudiantes saben respecto a estos temas, sus concepciones alternativas y probables creencias de ellos. La investigación⁴ en didáctica de las ciencias muestra que los estudiantes⁵ y público general poseen preconcepciones acerca de estos temas⁶.

Algunas concepciones alternativas comunes que presentan los estudiantes, acerca de los temas abordados en el video, y a los que el profesor debe estar atento para construir conocimientos a partir de ellos, son:

- La ebullición es un proceso que está controlado únicamente por la fuente de calor.
- La presión no tiene influencia sobre la temperatura de ebullición del agua.
- La presión y el peso son la misma magnitud física y utilizan las mismas unidades.

4 Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. 2ª edición (1992) Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Ed. Morata.

5 -Obaya, A., Vargas, Y., Delgadillo, G. (2008) Estudio exploratorio sobre la comprensión de los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor en estudiantes universitarios. Educación química, abril 2008.

-Costu, B., Ayas, A., Niaz, M., Únal, S., Calik, M. (2007) Facilitating conceptual change in students' understanding of boiling concept. Journal Sci Educ Technol (2007) 16:524-536.

-Aron, R., Francek, M., Nelson, B., y Bisard, W. (1994) Atmospheric misconceptions. The Science Teacher, January 1994.

6 Children's ideas in science, on line con listas de preconcepciones de todas las ciencias en: <http://homepage.mac.com/vtalsma/sylabi/2943/handouts/misconcept.html>

- La presión y la fuerza son sinónimos.
- Masa y volumen que describen una "cantidad de materia", corresponde a la misma propiedad.
- El aire y el oxígeno son el mismo gas.
- Cuando la temperatura de una sustancia en ebullición permanece constante, no puede ser cierto.
- Las burbujas del agua en ebullición contienen "aire", "oxígeno", o "nada", en lugar de vapor de agua.
- Todos los líquidos hierven a 100 °C y se condensan a 0 °C.
- La temperatura de ebullición es la máxima temperatura que una sustancia puede alcanzar.
- La evaporación está limitada al agua o soluciones acuosas, y no ocurriría en otras soluciones o líquidos.
- El concepto de presión de vapor es confundido con la presión atmosférica.

Actividad 2. Observen y analicen el video "La presión y sus efectos en el agua" anotando las principales ideas presentadas, los experimentos que se describen y su explicación física.

Comentarios A2.- Una vez que los estudiantes hayan planteado por escrito sus ideas acerca de los interrogantes anteriores, se puede exhibir y analizar la producción audiovisual, recordándoles que pongan especial atención a sus principales ideas, que tomen notas y dibujen esquemas de algunos de los experimentos mostrados. Si es necesario, el video puede ser exhibido nuevamente o la exhibición se puede hacer por partes. Como se manifestó en la introducción, la exhibición de este video presenta la oportunidad de tratar contenidos de Ciencias de la Tierra, en particular algunas propiedades físicas del agua, el origen del agua en la Tierra y su existencia en el sistema solar. Como se manifestó en la introducción, la exhibición de este video presenta la oportunidad de tratar contenidos de Ciencias de la Tierra, en particular algunas propiedades físicas del agua, el origen del agua en la Tierra y su existencia en el sistema solar y en el universo. Para analizar esto último, ver diversos artículos en estas referencias.⁷

⁷ Varios autores (1990) El agua. Revista Mundo Científico, julio/agosto 1990. Artículos especialmente recomendados para una asignatura de Ciencias de la Tierra, tales como: El ciclo del agua y el clima; La estructura del agua; El agua en el cosmos; La contaminación de los ríos; etc.

Robert, F. y Deloule, E. (1999) ¿De dónde viene el agua del sistema solar? Revista Mundo Científico, julio/agosto 1999.

Nadis, S. (2002) Water, water everywhere: The molecules of life in space. Revista Sky & Telescope, January 2002.

Actividad 3. ¿Cuáles son las principales capas que estructuran la atmósfera de la Tierra? Compararlas con el diámetro o radio de la Tierra y su estructura interna.

Comentarios A3.- La atmósfera es un fluido que mantiene en funcionamiento la máquina térmica terrestre. La mayor parte de la energía proveniente del Sol acciona los fenómenos atmosféricos. Los vientos redistribuyen la energía atmosférica disipando en el proceso una parte de ella mayor que la disipada por las corrientes oceánicas, las mareas, la deriva continental y la convección en el manto terrestre combinadas. La atmósfera se divide verticalmente en cuatro capas sobre la base de su temperatura, como se muestra en la tabla siguiente.

	Altitud (km)
Troposfera	0 – 10
Estratosfera (ozono)	10 – 45
Mesosfera	45 – 80
Termosfera	80 --- 150

La atmósfera completa tiene un grosor de unos 150 km, si se la compara con el radio de la Tierra de unos 6371 km, entonces la atmósfera es una capa muy delgada. Al proponer hacer maquetas de la Tierra y su atmósfera se debe tener en cuenta este hecho. La figura siguiente esquematiza la estructura interna de la Tierra.

Actividad 4. ¿En cuál de las capas de la atmósfera ocurren los fenómenos meteorológicos?

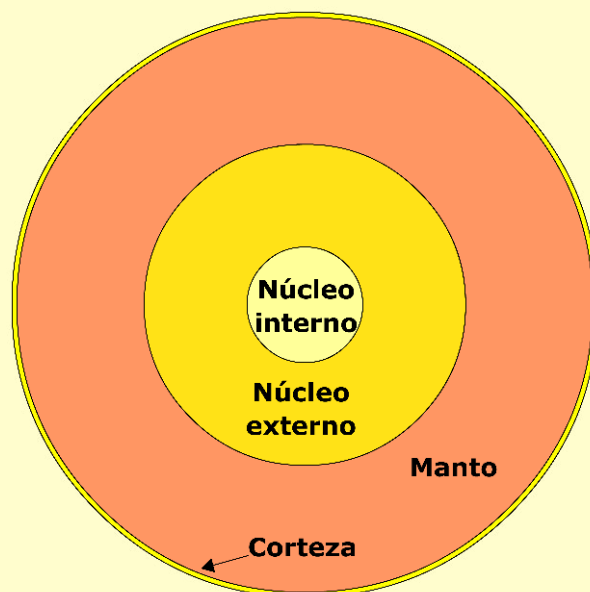
Comentarios A4.- En el video se menciona que todos los fenómenos atmosféricos ocurren en la capa de la atmósfera denominada Troposfera de unos 10 km de espesor. Una buena referencia para estudiar los fenómenos meteorológicos y otros asociados a la atmósfera⁸ es una guía de campo de la atmósfera, ilustrada con muchas fotografías.

Actividad 5. ¿Cuáles son las principales magnitudes físicas para medir el estado del tiempo atmosférico? Comparar los conceptos de tiempo atmosférico y clima, ¿son iguales?

Comentarios A5.- Los conceptos de tiempo atmosférico y clima no son idénticos. El tiempo atmosférico (weather en inglés) y clima (climate) se pueden definir como sigue:

- **Tiempo atmosférico:** denota el estado de la atmósfera en un lugar determinado durante un corto período de tiempo; está constantemente cambiando (hora a hora, diariamente, estacionalmente).

⁸ Schaefer, V. y Day, J. (1983) Guía de campo de la atmósfera. Editorial Omega.



- **Clima:** puede ser descrito como un agregado o composición de tiempo atmosférico. El clima de un lugar o región es una generalización de las condiciones atmosféricas durante un largo período de tiempo. Una descripción climática es posible sólo después de registros que se hayan hecho durante muchos años.

Pero la naturaleza de ambos se expresa en términos de los mismos elementos, magnitudes o propiedades físicas que son medidos regularmente. Los más importantes son: (1) temperatura del aire; (2) humedad; (3) tipo y cantidad de nubosidad; (4) tipo y cantidad de precipitación; (5) presión del aire; (6) velocidad y dirección del viento.

Actividad 6. ¿En qué consiste el experimento de Torricelli? ¿Quién fue Torricelli y en qué época realizó este experimento? ¿Cuál es su explicación?

Comentarios A6.- Para un fluido como por ejemplo el agua, en equilibrio, la diferencia de presión entre dos puntos de él, A y B, está dado por $p - p_0 = d g y$, en donde d es la densidad del líquido, g la aceleración de gravedad, y y es el desnivel o altura entre los dos puntos y $p - p_0$ es la diferencia de presión, como se ilustra en la figura 6.1.

El barómetro es un instrumento que mide la presión atmosférica. Existen dos tipos. El de mercurio (Figura 6.3. a) como el de Torricelli, en que la altura del mercurio equilibra la presión atmosférica. A mayor presión, mayor altura de mercurio. El barómetro aneroide (Figura 6.3. b) se compone de una caja metálica de paredes delgadas, en la cual se ha hecho el vacío. Las presiones elevadas aprietan sus paredes y las bajas lo hacen en menor escala. Estos movimientos se transmiten a la aguja que recorre el cuadrante.

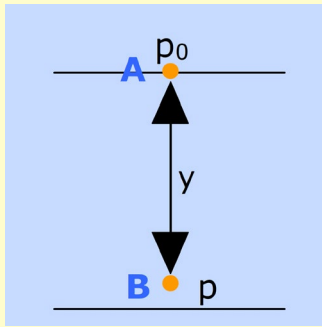
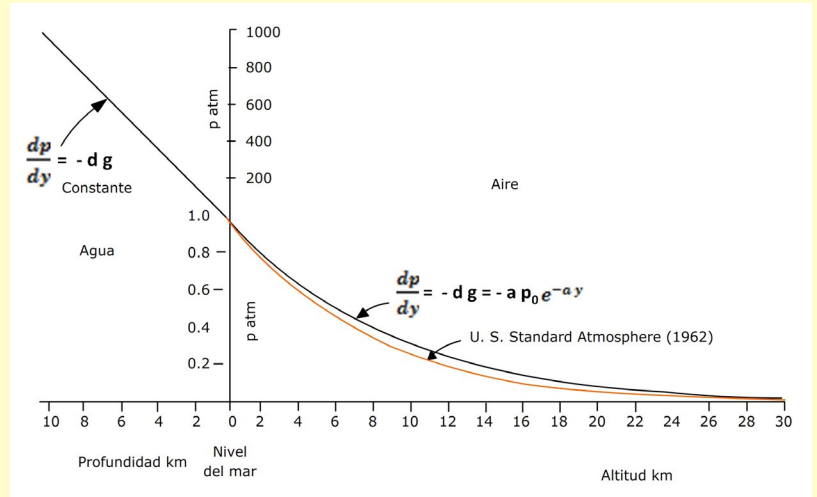


Figura 6.1.



La variación de la presión en la atmósfera, como se ilustra en la figura 6.2. es una exponencial (ver texto Física de Halliday – Resnick) que se expresa como: $p = p_0 e^{-a y}$

El experimento de Torricelli permite medir la presión atmosférica local por medio de la presión que ejerce una columna de mercurio de altura conocida y que se equilibra por la acción de la presión atmosférica. Tal como se muestra en el video, el tubo se llena completamente con mercurio, y luego, al invertirlo sobre un depósito de mercurio, la columna desciende hasta que la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie exterior libre del mercurio se equilibra con la que ejerce la columna de mercurio del interior del tubo, al mismo nivel. De la hidrostática se puede calcular la presión a la profundidad h que ejerce un líquido de densidad d . Es igual al producto $d g h$, siendo g la aceleración de gravedad en el lugar de medición.

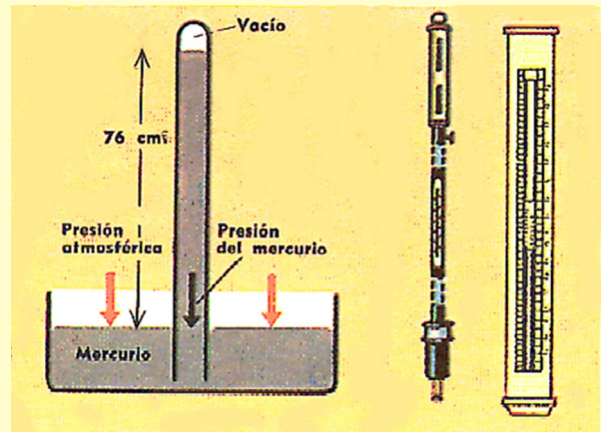


Figura 6.2.

En condiciones normales, la presión atmosférica a nivel del mar se obtiene por medio del siguiente cálculo:

$$p = 1,359 \times 10^4 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9,80 \text{ (m/s}^2\text{)} \times 760 \times 10^{-3} \text{ (m)}$$

Se puede verificar que $p = 1,013 \times 10^5$ pascuales.

Actividad 7. ¿Qué sucede si se realiza el experimento de Torricelli a distintas altitudes? El valor numérico que se obtiene, ¿es el mismo para la presión atmosférica?

Comentarios A7.- Según se desprende de la actividad 6, la presión atmosférica depende de la altitud, así la presión va disminuyendo con la altitud. El gráfico 6.2. de la actividad 6 ilustra esta disminución.



Evangelista Torricelli (1608– 1647), físico y matemático italiano, fue discípulo de Galileo Galilei.



Retrato de Evangelista Torricelli en la tapa de *Lezioni d'Evangelista Torricelli*. Sello postal emitido en su honor.

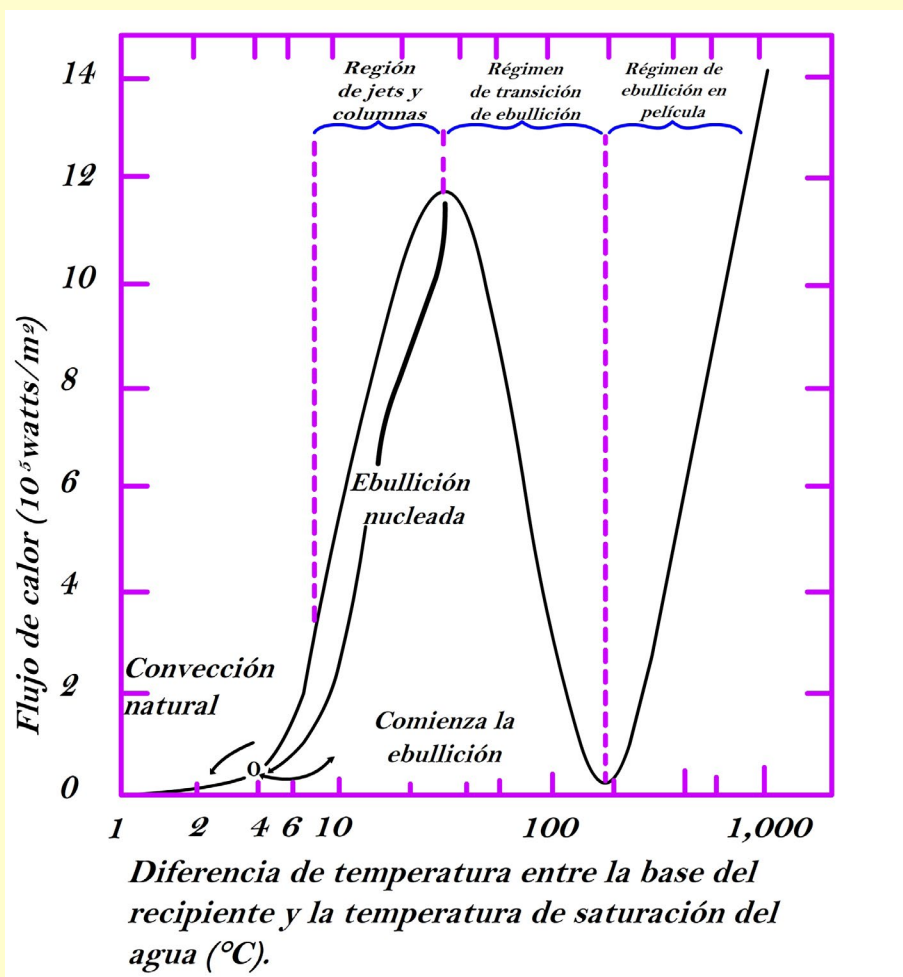
Actividad 8. ¿Cuáles otros efectos de la presión atmosférica se muestran en el video? ¿Cuáles otros efectos conocen?

Comentarios A8.- Un sorprendente efecto de la presión atmosférica se muestra en el video, consistente en la deformación de un envase metálico. La explicación de este experimento se da en el mismo video. Este experimento se puede realizar utilizando una botella plástica a la que se vierte agua caliente.

Otros efectos de la presión atmosférica son: (i) Un vaso lleno con agua se tapa con una hoja de papel y luego se invierte. El agua no se cae debido al efecto de la presión atmosférica. (ii) Con una pajuela para bebida se muestra otro efecto de la presión atmosférica. Se introduce un extremo de la pajuela a un vaso con agua, si se tapa con un dedo el otro extremo y se saca la pajuela del vaso, queda una columna de agua en su interior. Si se retira el dedo de la pajuela, entonces el agua se cae.

Actividad 9. ¿Qué efectos ocurren al hacer hervir agua? ¿Cuál es su temperatura de ebullición? ¿De qué factor depende?

Comentarios A9.- Se hace hervir agua en un matraz, y se observa y describe el proceso de convección térmica que tiene lugar en el interior del matraz, hasta originarse el cambio de fase de la ebullición, es decir, la transición de la fase líquida a la fase vapor. Se destaca la importante propiedad de los cambios de fase, cual es que la temperatura permanece constante. Más específicamente se puede analizar lo que sucede cuando el agua hierve en (Walker, 1982)⁹ en la que se presenta el gráfico siguiente, que relaciona el flujo de calor transferido al agua y la diferencia de temperatura entre la base del recipiente y el agua. La temperatura de la base del recipiente, en contacto con la fuente de calor, es más elevada que la temperatura del agua y origina la convección en el agua y su eventual evaporación.



Las tres etapas de la ebullición

El gráfico muestra que la curva se eleva hasta un peak, cae rápidamente y luego se eleva nuevamente. Para temperaturas más bajas el flujo de calor aumenta con la temperatura, pero justo más allá del peak el flujo baja rápidamente.

⁹ Walker, Jearl (1982) The amateur scientist: What happens when water boils is a lot more complicated than you might think. Revista Scientific American, december 1982 (hay traducción en Investigación y Ciencia, febrero 1983).

Actividad 10. Explicar el experimento, mostrado en el video, al hacer hervir agua sin fuego? ¿Por qué el agua hierve al aplicar hielo en el matraz?

Comentarios A10.- Una vez observada la ebullición del agua puesta sobre la llama de un mechero, a continuación se realiza un experimento que muestra la ebullición del agua con hielo en vez de fuego. El montaje y la explicación se dan en el mismo video.

Actividad 11. ¿Cómo se determina la temperatura a la que hierve el agua en una olla a presión? ¿De qué factores depende?

Comentarios A11.- La condición opuesta a la de hacer hervir agua a baja presión, se desarrolla a continuación, haciendo hervir agua en el interior de una olla a presión, donde, como su nombre lo indica, la presión es superior a la ambiente. Se ilustran las mediciones necesarias para determinar la presión en el interior de la olla, y de aquí poder conocer la temperatura de ebullición del agua.

Presión en una olla a presión (Un procedimiento para este experimento se puede ver en esta referencia)¹⁰. La presión se define como la fuerza normal aplicada sobre una

superficie. En la situación de la olla a presión, el vapor escapa por un orificio de diámetro d y mueve una válvula de masa m . Entonces, la presión del vapor contra la válvula se calcula dividiendo el peso de la válvula por el área del orificio de salida del vapor. En símbolos:

$$p \text{ (válvula)} = m \text{ (válvula)} g / \pi (d/2)^2$$

La presión interior de la olla se determina sumando al resultado anterior la presión atmosférica.

Realizar los cálculos de presión en la olla con los siguientes datos:

Masa de la válvula: $m = 63,67$ gramos

Diámetro del orificio: $d = 3,17$ milímetros

La temperatura de ebullición de un líquido depende de la presión exterior del aire en contacto con él. Los siguientes datos del agua, extraídos de tablas¹¹, y aproximados al entero más próximo, ayudan a responder el interrogante.

Presión de vapor (hPa)	1532	1583	1636	1690
Temperatura de ebullición (°C)	112	113	114	115

¹⁰ Brahim, L. y Espinoza, J. (2002) Manual de experimentos de calor. Impresos UMCE.

¹¹ CRC (1983-1984) Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press, Inc. 64th edition.

Actividad 12. ¿Por qué tiene que vaciarse agua fría sobre la olla a presión para destaparla, o cubrirla con un paño húmedo?

Comentarios A12.- En el video se plantea la pregunta de por qué antes de destapar una olla a presión se debe vaciar agua fría sobre ella o cubrirla con un paño húmedo. La explicación radica en la condensación del vapor del interior de la olla, al enfriarse. Así se logra hacer disminuir la sobrepresión del interior. Se muestra la experiencia común del método que consiste en aplicar agua fría o un paño húmedo sobre la olla antes de abrirla.

Actividad 13. ¿Cuál es la temperatura de fusión del hielo?

Comentarios A13.- La fusión del hielo, consistente en la transformación de la fase sólida a la fase líquida del agua, tiene lugar a temperatura constante, al igual que el proceso de ebullición. Surge el interrogante acerca de en qué medida la presión afecta a la temperatura de fusión.

Actividad 14. Explicar el experimento del rehielo, determinando cómo se calcula la sobrepresión en el cubo de hielo. ¿Cómo afecta esta sobrepresión al proceso de fusión del hielo?

Comentarios A14.- El experimento del "rehielo" permite concluir que la temperatura de fusión disminuye al aplicar una sobrepresión al hielo. En el experimento del video, la sobrepresión es igual a 13 veces la presión atmosférica. Si bien no se determina la temperatura a la que funde el hielo expuesto a la sobrepresión, se infiere que es menor a 0 °C.

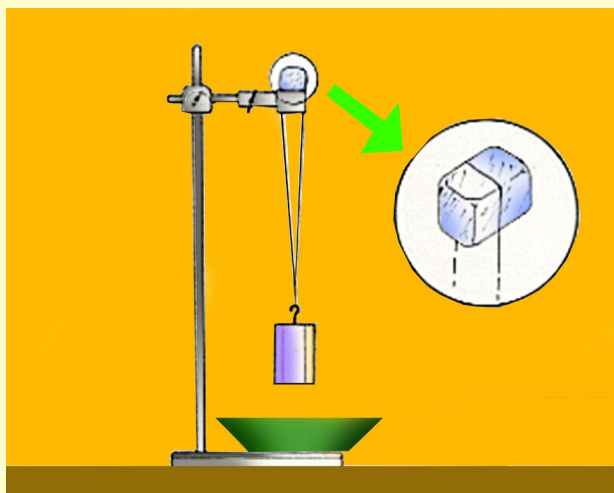
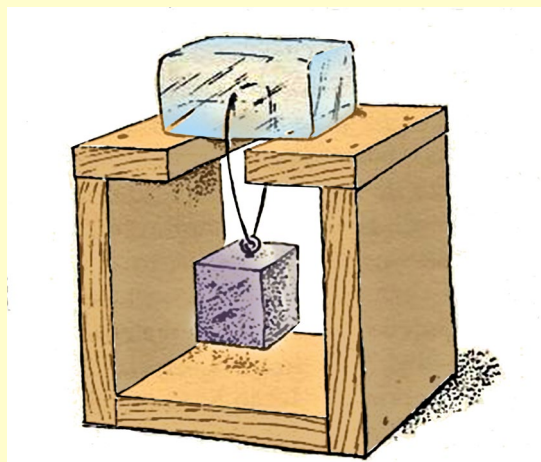
Sobrepresión en el rehielo. En el experimento que muestra el video, un alambre cruza por encima de un cubo de hielo, como ilustra la figura. Un cuerpo cuelga del alambre. Para determinar la sobrepresión que se ejerce sobre el cubo de hielo, se divide el peso que ejerce el alambre por el área de contacto del alambre con el cubo de hielo. Esta área se puede aproximar a la de un rectángulo, por lo que se necesita medir la longitud del alambre en contacto con la cara superior del cubo y su diámetro.

Con los siguientes datos, se puede determinar la sobrepresión sobre el cubo de hielo, y verificar que corresponde a 13 veces la presión atmosférica.

Masa del cuerpo que cuelga del alambre = 2 kg

Diámetro del alambre = 0,5 mm

Longitud del alambre en contacto con el cubo de hielo = 2 cm

Montaje del rehíelo para **Actividad 14**.Montaje del rehíelo para **Actividad 15**.

Actividad 15. ¿Qué sucedería si se arma el experimento del rehíelo en el congelador de un refrigerador? ¿Acontecería lo mismo que en el exterior?

Comentarios A15.- Este experimento se puede ejecutar en el interior del congelador de un refrigerador y se obtendría el mismo efecto, en estas condiciones el cubo de hielo no se funde y el alambre lo atraviesa sin cortarlo. Este experimento está propuesto y analizado en el libro de (Davis et al, 1971)¹², página 153, en el que se estudian diversas propiedades del agua. En la siguiente figura se ilustra un montaje para colocarlo en el congelador de un refrigerador.

Actividad 16. ¿Qué fenómenos naturales se asocian al fenómeno del rehíelo?

Comentarios A16.- Los glaciares ejercen una enorme presión sobre el suelo por lo que, gradualmente, se van deslizando pendiente abajo, erosionando, transportando materiales y transformando el relieve. Los glaciares cubren casi un 10 % de la superficie terrestre y se acumulan en los lugares donde la precipitación de nieve supera las pérdidas por fusión.

¹² Davis, K. y Day, J. (1971) Agua: espejo de la ciencia. Colección Ciencia Joven, Editorial Eudeba.