

TÍTULO: Un brindis por la primera ley de la termodinámica

Centro: IES LA TORRETA

Curso y Ciclo: 4º ESO

Tutor/a: Dámaris Romero Torrejón y M^aMagdalena Sánchez Navarro

Categoría de concurso: FÍSICA

Alumnado: Katia García Orellana, Leo Villena Hernández, Estela Palomares Amorós, Pedro Mañas Algarra

1. Resumen breve del proyecto y objetivos

Nos proponemos estudiar el fenómeno de aparición de la nube blanca en el descorche de una bebida gaseosa como el champán o vino gaseoso suponiéndolo como un proceso adiabático según la primera ley de la termodinámica. Seguiremos los cambios de presión y temperatura experimentales para compararlos con el modelo teórico y confirmar que el descorche sigue un proceso adiabático. Estudiaremos 1) el descenso de temperatura que puede experimentar la mezcla de gases de la botella al expandirse adiabáticamente, 2) la relación del fenómeno con la presión del dióxido de carbono, así como 3) la influencia de la temperatura de la bebida antes del descorche. Por último, 4) relacionaremos este fenómeno con la aparición de las nubes por la onda de choque en los aviones supersónicos para determinar la velocidad con la que sale el flujo de gas en el descorche a partir de la captura de discos de Mach y poder explicar el ¡pomm! que se escucha en el descorche.

2. Material y montaje

Nuestra exposición se inicia con una breve demostración de la formación de una nube de etanol en una botella (imagen 1) para explicar la condensación del gas como consecuencia de la expansión adiabática que sufre. Materiales: Botella transparente de plástico PET, bomba de bicicleta, tapón de corcho, etanol.



Imagen 1



Imagen 2

A continuación, pasamos a exponer nuestro estudio centrado en el descorche de bebidas carbonatadas utilizando gráficos y fotografías y una demostración de las tomas de medidas con la botella y sensores. En nuestra investigación hemos simulado las condiciones del interior de una botella de champán o vino espumoso (imagen 2) y medido valores de temperatura y presión en el descorche mediante sensores de Arduino instalados en el cuello de la botella. Materiales: Botellas de cristal transparente de vino vacías, disoluciones de ácido clorhídrico y carbonato de calcio para generar la atmósfera de dióxido de carbono, tapón de corcho sintético sellado con sensor de temperatura (DS18B20) y otro sensor de presión (modelo RPC76LT) instalados en la parte que queda dentro de la botella, placa compatible de Arduino y ordenador portátil.

Utilizando una cámara a 960 fps y potente luz con fondo oscuro grabamos el descorche en numerosas medidas para seleccionar aquellas en las que se aprecie con resolución algún disco de Mach.

3. Fundamentación: Principios físicos involucrados y su relación con aplicaciones tecnológicas

Primera ley de la termodinámica. $\Delta U = Q - W$ (1)

El dióxido de carbono está en equilibrio entre la fase líquida y gaseosa y hay una atmósfera saturada de dióxido de carbono a una presión P_1 , una temperatura T_1 contenido en el volumen que no ocupa el líquido en la botella V_1 . Al descorchar el tapón el sistema no tiene tiempo de intercambiar el calor con el entorno ($Q=0$) y, en consecuencia, el sistema realiza trabajo (W) sobre la atmósfera a expensas de su energía interna (ΔU). La mezcla de gases experimenta una brusca disminución de presión a la presión atmosférica (P_2) al descorchar, aumenta su volumen y disminuye su temperatura drásticamente (disminuye su energía interna).

$$(2) \quad \Delta U = -W$$

$$(3) \quad nC_v(T_2 - T_1) = P_2(V_1 - V_2)$$

Donde:

n =moles de dióxido de carbono*; C_v =capacidad calorífica a volumen constante del CO_2 ; T_2 =Temperatura final de la expansión en la fase gaseosa; T_1 = Temperatura inicial en la fase gaseosa; P_2 = Presión atmosférica; V_1 = volumen ocupado por el CO_2 ; V_2 = volumen alcanzado en la expansión.

*el número de moles totales en la fase gas se aproxima al número de moles del dióxido de carbono considerando insignificante frente a este la cantidad de otros gases presentes como el aire y el de vapor de agua.

Para calcular la temperatura final que alcanza podemos utilizar la siguiente aproximación suponiendo que el gas es ideal, la expansión es reversible y el trabajo externo realizado por el gas al expandirse no es significativo.

$$(4) \quad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (5) \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Donde:

T_1 = Temperatura inicial en la fase gaseosa; T_2 =Temperatura final de la expansión en la fase gaseosa; P_2 = Presión atmosférica; γ = coeficiente de expansión adiabática del CO_2 ; C_v =capacidad calorífica a volumen constante del CO_2 ; C_p =capacidad calorífica a presión constante del CO_2

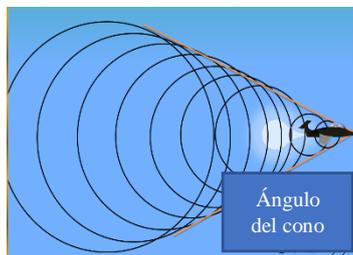
Onda de choque en el descorche y relación con los aviones supersónicos: En aviones que viajan a velocidades cercanas o mayores que la velocidad del sonido se puede observar el mismo fenómeno de aparición de nube blanca que en el descorche.

La onda de presión que produce el avión cuando viaja a velocidades cercanas o mayores que el sonido impacta con el aire y lo comprime bruscamente (P_1). Cuando el aire alcanza el ala o el fuselaje trasero disminuye de nuevo su presión de forma adiabática (P_2) formando la nube de condensación siguiendo el patrón cónico de la onda de choque. Se puede calcular la temperatura final con la expresión (4) a partir de las condiciones del vuelo extraídas de la bibliografía y predecir a varias velocidades si se formarán nubes de condensación en el fuselaje.

Cono de Mach en el avión supersónico y en el descorche: El cono de Mach es la formación que se produce debido al frente de onda que presenta dicha forma de cono cuando el avión supera la barrera del sonido. La condensación de la nube se da en la región en la que se forma el cono de Mach y es visible (el tamaño de las partículas condensadas dispersa la luz), por lo que su ángulo se puede medir y relacionar con la velocidad del flujo de gas:

$$(6) \sin \alpha = \frac{c}{v}$$

Siendo α = ángulo del cono de Mach; c = velocidad del sonido en el gas; v = velocidad del flujo de gas en la expansión.



Utilizando esa misma expresión (6) y a partir de los fotogramas obtenidos en el descorche en el que también se visualiza el cono de Mach se puede determinar la velocidad de expansión del gas:

$$v = \frac{c}{\sin \alpha}$$

El número de Mach, que determina si se ha superado la barrera del sonido ($M > 1$) se

obtiene con la expresión:

$$(7) M = \frac{v}{c}$$

En el descorche, la salida del gas supersónica se manifestaría en forma de discos de Mach. El número de discos de Mach está relacionado con el número de Mach y por tanto con la velocidad de salida de gases.

4. Funcionamiento y Resultados: observaciones y medidas.

Medida del descenso de temperatura en el descorche: Estudiamos el cambio de temperatura en el descorche con un sensor de alta frecuencia de muestreo para registrar la drástica bajada de temperatura en botellas a temperatura ambiente y una presión en el interior de la botella de unos 5 bares, que medimos mediante un sensor de fuerza Arduino que ofrece presiones a esos rangos. Observamos una bajada de temperatura en menos de un segundo desde los 15°C hasta por debajo de -50°C, lo que se acerca al valor teórico calculado con la expresión (4).

Estudio de la relación de la temperatura final con la presión en la botella: Modificando las cantidades de reactivos para cambiar la presión inicial de CO_2 y a una misma temperatura (ambiente) tomamos la temperatura mínima que alcanza el proceso en el descorche y se observa menor temperatura final cuanto mayor es la presión en la botella. Los valores teóricos calculados muestran una curva descendiente no lineal que se corresponde con nuestras observaciones.

Estudio de la relación entre la temperatura final y la temperatura inicial de la botella: Al modificar las condiciones de temperatura inicial en diferentes experimentos esperamos una relación lineal que se ajusta al modelo teórico y en el que la temperatura final en el proceso es mayor cuanto mayor es la temperatura inicial antes del descorche.

Medida de la velocidad de la salida de los gases durante la expansión: Registramos las imágenes obtenidas en el descorche mediante cámara ultralenta e iluminación que facilite el contraste donde esperamos se vea un disco de Mach.

5. Conclusiones

El proyecto nos ha servido para confirmar que el descorche de una botella de bebida carbonatada, como el champán, sigue un proceso adiabático ya que las medidas experimentales se aproximan al modelo basado en una expansión adiabática de un gas ideal, y que por consiguiente, cumple la primera ley de la termodinámica. El dióxido de carbono (gas mayoritario presente en la fase gaseosa) se expande en el choque de presión y disminuye su energía interna enfriando la región más de 70°C menos (menor cuanto más presión en el interior de la botella), lo que produce una nube de condensación de las trazas de vapor de agua momentáneamente. Podemos afirmar también que la bajada de temperatura es dependiente linealmente de la temperatura inicial, y que, si observamos en un descorche un exceso de nube de condensación podemos sospechar que con una presión óptima (4-7 bares) la temperatura de la bebida es alta y no adecuada según las recomendaciones de consumo y por el contrario, cuando no aparece la nube podemos sospechar que su temperatura es muy baja (inferior a los 5°C) e igualmente no recomendable para ese tipo de bebidas.

Si capturamos un disco de Mach podemos decir que la velocidad de salida del dióxido de carbono es ultrasónica. Esto explica el sonido en el descorche (explosión sónica) debido a la onda de choque que se produce cuando el gas supera la barrera del sonido, y que es análogo al fenómeno que sucede cuando un avión avanza a velocidades ultrasónicas; además de la posible formación de una nube de condensación en el fuselaje, le sigue un estruendo que recuerda al descorche de champán -aunque de mucha más intensidad- pues ambos fenómenos comparten mismos principios físicos.

6. Bibliografía

<https://www.nature.com/articles/s41598-017-10702-6>

<https://www.redalyc.org/journal/920/92066410007/html/>

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/6980/TFM-G316.pdf;sequence=1>