FICHA DE PROYECTO – 2024
www.uv.es/experimenta

TÍTULO: PATATA CALIENTE	
Centro: Colegio Nuestra Señora del Socorro	**Curso y Ciclo:** 4 ESO
Tutor/a: José María Ajenjo Vento / Antonio Molins Riera	**Categoria de concurso:** FÍSICA
Alumnado: Pablo Castelló Pastor, José Anwei Montaner Navarrete, Lucas Izquierdo López, Andrés Izquierdo Pastor	

1. Resumen breve del proyecto y objetivos

El objeto del proyecto es estudiar la ley del enfriamiento propuesta por Isaac Newton antes de que se conocieran con detalle los mecanismos de transmisión del calor (conducción, convección y radiación). Dicha ley establece una relación matemática muy sencilla: El calor que se transfiere por unidad de tiempo, desde un objeto al ambiente, es proporcional a la diferencia de temperatura entre el objeto y el ambiente. La constante de proporcionalidad será clave en el estudio. Queremos comparar el comportamiento teórico y experimental en situaciones reales de enfriamiento de objetos cotidianos como patatas de forma similar, pero de distinto tamaño, cilindros de metal, vasos de agua.

Además, al investigar, hemos visto que esta ley es la base de la estimación de la hora de una muerte reciente, conocida como "algor mortis". Por ello también queremos comprobar, utilizando esta ley de enfriamiento, si podemos estimar el tiempo que hace que un objeto más caliente que el ambiente, en nuestro caso una patata, ha comenzado a enfriarse desde una determinada temperatura inicial, como si fuera un reloj, imitando el estudio forense. Nos preguntamos si es un método preciso para obtener esta información.

2. Material y montaje

- Patatas de distinto tamaño, pero de forma parecida.
- Vasos de distintos materiales: Metálico, Vidrio (vaso de precipitados). Soporte de corcho, plancha metálica.
- Papel de aluminio.
- Hornillo de inducción y cazuela de inducción para calentar agua / Horno microondas para calentar agua.
- Recipiente para albergar agua caliente que nos permite calentar objetos como vasos y patatas. Los objetos los calentamos dejándolos en una cantidad grande de agua caliente durante un tiempo para que, por equilibrio térmico, adquieran la temperatura del agua. También calentándolos sumergidos en agua en el microondas.
- PASCO QUAD TEMPERATURE SENSOR que permite recoger hasta cuatro medidas de temperatura simultaneas, con conector Bluetooth para iPad. (Así podemos medir temperatura ambiente e instantánea del sistema, incluso en varias partes del sistema).
- PASPORT Fast Response Temperature Probe (para la medida de temperatura durante el enfriamiento).
- IPad con app SPARKvue (gratuita) para recogida de datos.
- Programa en Python que representa gráficamente los datos obtenidos junto a un modelo teórico ajustado por mínimos cuadrados que nos permite estimar la constante de proporcionalidad del modelo matemático.

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

La ley de enfriamiento de Newton nos indica que la pérdida de calor por unidad de tiempo de un cuerpo que tiene mayor temperatura que el ambiente en el que está, es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el ambiente.

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot S \cdot (T(t) - T_{amb})$$

Donde $\frac{dQ}{dt}$ es la velocidad a la que fluye el calor desde el cuerpo al ambiente, h es el coeficiente de transferencia de calor del cuerpo al ambiente, promediado a lo largo de toda su superficie externa, que <u>suponemos que no depende de la temperatura</u>. S sería la superficie del objeto expuesta al ambiente. T(t) es la temperatura superficial del objeto (que depende del tiempo), y T_{amb} la temperatura media del ambiente que suponemos constante debido a que éste es mucho mayor que el objeto. Esta ley se puede simplificar en nuestro caso debido a que $Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T$ donde m y c_e son constantes (masa y calor específico del material). Por ello, sabiendo que $m = \rho \cdot V$, podemos convertir la anterior expresión a:

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{h \cdot S}{\rho \cdot V \cdot c_e} \cdot (T(t) - T_{amb}) \quad \left(resolviendo\ para\ T(t)\ y\ haciendo\ r = \frac{h \cdot S}{\rho \cdot V \cdot c_e}\right) \rightarrow T(t) = T_{amb} + (T(0) - T_{amb}) \cdot e^{-rt}$$

En este caso r es un coeficiente de proporcionalidad con unidades de (s^{-1}), que vemos que depende del material que está hecho el objeto, superficie y forma exterior y de cómo es el ambiente que rodea al objeto, Básicamente está relacionado con la conductividad térmica hacia el ambiente. <u>En la ley de Newton se supone que este coeficiente no depende de la temperatura del objeto</u>. Nuestra intención identificar si en el rango de temperaturas y para los objetos estudiados, esa suposición es cierta. Si observamos que para un rango de temperaturas r, para un determinado objeto, se mantiene constante, podemos utilizar la ley de Newton para calcular el tiempo que tarda el sistema en alcanzar una determinada temperatura durante el proceso de enfriamiento y, por tanto, podemos medir el tiempo transcurrido desde que se inició el proceso de enfriamiento.

Por otra parte, hemos observado en la bibliografía que en realidad la ley de Newton del enfriamiento es una aproximación ya que los fenómenos de conducción, convección y radiación, verdaderos artífices de la transmisión del calor, tienen expresiones matemáticas distintas. En la bibliografía se habla de que esta ley es válida para "pequeñas diferencias de temperatura" sin definir muy bien qué significa esto.

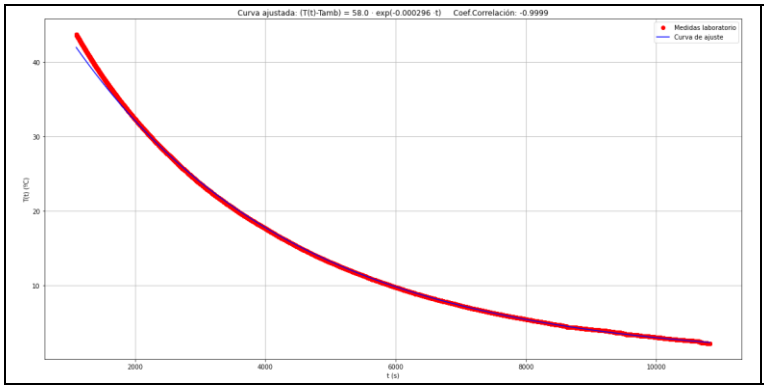
4. Funcionamiento y Resultados: observaciones y medidas.

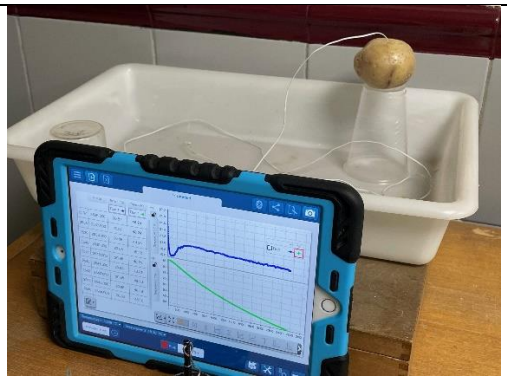
Hay muchos factores que pueden influir en el estudio mencionado. En nuestro caso utilizaremos temperaturas por debajo de 100ºC debido a las características de los sensores utilizados. En concreto estudiamos:

1. Si la ley de Newton se adecúa al enfriamiento medido partiendo de distintas temperaturas iniciales.
2. Cómo varía el enfriamiento con el tamaño del objeto. (Patatas de distinto tamaño, pero forma parecida)
3. Probaremos con diversos materiales, además de la patata, para comparar velocidad de enfriamiento.
4. Mediante distintos montajes forzaremos que la mayor parte del calor salga del objeto mediante uno de los tres métodos (radiación, convección, conducción) para poder ver si esto influye en que las medidas experimentales estén más o menos de acuerdo con la ley de Newton. CONVECCIÓN: envolvemos la patata en papel de aluminio para disminuir la radiación ya que el aluminio pulido tiene una emisividad muy pequeña. CONDUCCIÓN: Dejamos que la patata se enfríe rodeada de metal y sobre una plancha de metal. RADIACIÓN: Colocamos elementos para dificultar la convección natural. CONVECCIÓN FORZADA: Con un ventilador fijo.

En todos los casos medimos temperatura ambiente y la del interior del objeto que estemos analizando. A partir de ahí hemos ajustado el logaritmo neperiano de la diferencia de temperatura entre el objeto y el ambiente en un análisis de regresión lineal. Esto nos permite calcular el valor de r que es PARTICULAR PARA CADA OBJETO.

$$\ln\left(T(t) - T_{amb}\right) = \ln\left(T(0) - T_{amb}\right) - r \cdot t \quad \rightarrow \quad t = \frac{\ln(T(t) - T_{amb}) - \ln\left(T(0) - T_{amb}\right)}{r}$$





Con este valor podemos hacer cálculos, suponiendo que no depende de la temperatura, para saber el tiempo que hace que un objeto inició su proceso de enfriamiento desde una temperatura dada, si conocemos la temperatura ambiente. En el caso de la patata vimos que es una MUY BUENA APROXIMACIÓN, pero a partir de cierta temperatura comienza a desviarse la teoría y el experimento.

5. Conclusiones

- La ley se cumple muy bien para las patatas por debajo de 40º C de diferencia con el ambiente. Se cumple en menor medida para un vaso de agua o cilindros de metal. Creemos que es porque las patatas tienen una emisividad muy alta y el metal no, y es la convección más importante. Para el vaso creemos que es porque el agua al evaporarse más a temperaturas más altas, se lleva una gran cantidad de calor que acelera la pérdida.
- Podemos calcular muy bien el tiempo transcurrido para temperaturas por debajo de 40ºC de diferencia con el ambiente. A partir de esta diferencia de temperatura se han de hacer correcciones. Creemos que es el aumento no lineal de la transmisión de calor por convección natural con la diferencia de temperatura y que la radiación aumente con T^4 los que explican estas discrepancias con la ley puesto que hacen que a partir de esta temperatura se observa que r ya no es constante y depende de la temperatura.
- Se observa una clara disminución de la velocidad de enfriamiento al crecer el tamaño de la patata que se ajusta aproximadamente al cambio Superficie/Volumen.
- En dos cilindros de metales distintos, de igual forma y tamaño y de masa conocida, la relación de calor específico se observa de forma aproximada en el cociente de las dos constantes r medidas experimentalmente.
- El cuerpo humano es un 75% agua. La patata un 80%. En pequeñas diferencias de temperatura con el ambiente parece razonable utilizar la ley de Newton en el “Algor Mortis”, aunque con correcciones según vestimenta, etc.

6. Bibliografía

- Libro 3º ESO y 4º ESO ed. Aulaplaneta.
- Wikipedia versión inglesa: https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_law_of_cooling
- Universidad del País vasco: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/enfriamiento/enfriamiento.htm
- Universidad del País vasco: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/calor/enfriamiento_4/enfriamiento_4.html
- Ciencia Forense: https://elmanualdelforense.blogspot.com/2020/09/tanatosemiologiaenfriamiento-cadaverico.html