

Una aproximación a la vida y obra de James Prescott Joule. Del motor eléctrico a la conservación de la energía de la sabia mano de un cervecero de Manchester.

Justo R. Pérez

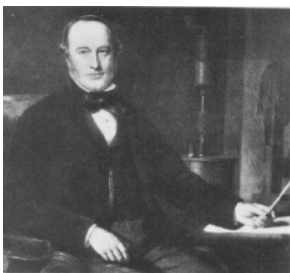
Departamento de Física Fundamental y Experimenta Electrónica y Sistemas. Facultad de Física. Universidad de La Laguna. 38205 La Laguna. Tenerife.

Artículo divulgativo publicado en el periódico El Día con motivo de la celebración del Año Mundial de la Física.

Resumen

James Prescott Joule (1818-1869) es uno de los ejemplos más contundentes de cómo el progreso científico precisa de perseverancia, capacidad de observación e independencia respecto de los modelos establecidos. En este artículo se hace un breve resumen de su vida y un análisis de los aspectos más relevantes de su obra, en particular aquellos relacionados con el principio de interconvertibilidad de calor y trabajo posteriormente conocido como principio de conservación de la energía.

1. James Prescott Joule.



James Prescott Joule, nació el 24 de Diciembre de 1818 en Salford, una ciudad del Noroeste de Inglaterra, hoy perte-

neciente al área metropolitana de Manchester.

Hijo de un maestro cervecero de la localidad, enfermizo en su niñez, con un problema en la columna vertebral, de carácter tímido e huidizo, fue educado en su propia casa hasta la edad de 15 años, en que comenzó a trabajar en la cervecería de su padre.

Sin embargo, junto con su hermano, continuó su educación bajo la tutela particular de John Dalton, quien le instruyó en matemáticas, y diversos aspectos de la filosofía natural (lo que hoy entendemos como física y química), y quien en propias palabras de Joule:

“...me inculcó el deseo de aumentar mi conocimiento a partir de la investigación propia...”.

La enfermedad de su padre hizo que tuviera que hacerse cargo, junto con su hermano, de la cervecería familiar, lo que le impidió ingresar en la Universidad, pero mantuvo su deseo de continuar sus estudios lo que hizo llevando a cabo sus propios experimentos en un rincón de su casa, al terminar el trabajo diario en la cervecería.

Desde pequeño, Joule se sintió fascinado por los recientes descubrimientos relativos a la electricidad, principalmente aquellos llevados a cabo por Michael Faraday, lo que le llevó, en 1837 a la edad de 19 años, a la construcción de un motor eléctrico alimentado por una batería construida con discos de zinc y cobre. Sus primeros trabajos, publicados en 1838, se refieren precisamente a la mejora del diseño y construcción de los motores eléctricos.

Durante algún tiempo Joule estuvo entusiasmado por la idea de que estos motores eran capaces de producir trabajo de manera ininterrumpida, y alumbró la hipótesis de que éstos pudieran ser sustitutos de la máquina de vapor. Sin embargo, pronto cayó en la cuenta de que esto no era posible y que, igual que la máquina de vapor necesita un suministro continuo de carbón para funcionar, las incipientes máquinas eléctricas desgastaban de forma continua el zinc de la batería, que tenía que ser reemplazado al cierto tiempo.

Sin embargo esto no fue motivo para hacer desistir al joven Joule de sus investigaciones y se propuso comparar la cantidad de trabajo que una misma cantidad de carbón y de zinc era capaz de producir.

2. El efecto Joule.

El hecho de que al pasar una corriente eléctrica por un conductor éste se calienta, era conocido desde hacía algunos años, sin embargo Joule se propuso cuantificar esta cantidad de calor lo cual llevó a cabo sumergiendo el conductor en un recipiente con agua y midiendo el aumento de temperatura de ésta, llegando a la conclusión de que el calor disipado es proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente, a la resistencia del conductor, y al tiempo, relación conocida hoy como “ley de Joule”.

Este experimento sin embargo no fue tarea fácil, ya que Joule necesitó diseñar su propio sistema y métodos de medida lo cual hizo con gran acierto y con exquisito rigor y meticulosidad. Así pues, decide evaluar la corriente eléctrica que pasa por un conductor, aprovechando la capacidad, descubierta unos años antes, de ésta para descomponer el agua. La intensidad de corriente se corresponde pues con la masa de agua que es capaz de

descomponer en un determinado periodo de tiempo (posteriormente el propio Joule sustituiría este método por el de la cantidad de metal que es capaz de depositarse en un electrodo).

Los resultados de este trabajo fueron recogidos en un trabajo titulado “*Sobre la producción de calor mediante electricidad Voltaica*” que fue presentado al meeting de la Asociación Británica en 1840. El trabajo fue rechazado en su forma original, y sólo se le permitió leer un pequeño resumen, siendo más tarde publicado sólo en una forma reducida de veinte líneas.

Si embargo Joule continuó con sus investigaciones sobre las máquinas eléctricas, llegando a la conclusión en 1841 de que una libra de zinc sólo era capaz de producir la quinta parte del trabajo que una libra de carbón en la máquina de vapor, augurando un futuro poco prometedor para los motores eléctricos ya que el zinc era significativamente más caro y difícil de obtener que el carbón.

Joule centró su atención en averiguar cual es la fuente del calor disipado en el conductor. En primer lugar fue capaz de observar que este calor podía provenir del calor generado en la oxidación del zinc en la batería. Sin embargo, Joule pronto reparó que la batería se calienta menos cuando la corriente está circulando que cuando el circuito está abierto. Mediante cuidadosos experimentos llegó a la conclusión de que la suma del calor disipado en el conductor más el calor producido en la batería era igual al calor producido por la oxidación del zinc. Joule interpretó este hecho como si una parte del calor generado en la batería fuera transportado a través del conductor y disipado en éste.

3. Trabajo y calor

Era conocido también por Joule a partir de los trabajos de Faraday, que una corriente eléctrica también puede ser generada haciendo girar una bobina de un conductor entre los polos de un imán. Joule encontró que cuando la corriente es generada de esta forma, ésta es capaz de disipar la misma cantidad de calor que cuando es generada usando una batería. Siguiendo el mismo argumento que con la batería, si el calor disipado en el conductor es transportado de algún lugar, la bobina y el imán deberían enfriarse. Pero Joule observó que no sólo estos no se enfriaban, sino que además la bobina sufría un calentamiento igual en magnitud a cuando una misma cantidad de corriente suministrada por una batería pasaba por ella.

Joule realizó todas estas medidas a través de cuidadosos experimentos en los que todo el dispositivo fue sumergido en un recipiente rodeado de agua y aislado térmicamente del exterior, midiendo con extremo cuidado el aumento de temperatura.

Un detalle en el que Joule reparó, fue el hecho de que el trabajo necesario para hacer girar la bobina es mayor cuando el circuito está cerrado que cuando está abierto, y dedujo que debe ser precisamente este trabajo adicional el responsable del calor generado en el circuito.

Joule se afaná escrupulosamente a encontrar esta relación entre el trabajo y el calor, evaluando el primero en términos del trabajo generado a través de la caída de un peso y el segundo a través del aumento de temperatura, encontrando valores entre 587 y 1026 pies-libra por BTU de los cuales Joule seleccionó como mejor promedio el valor de 838 pies-libra.

Si el movimiento (trabajo) es capaz de producir electricidad, la electricidad es capaz de producir calor, la electricidad es capaz de producir movimiento, el movimiento es capaz de producir calor y el calor es capaz de producir movimiento, Joule acabó convencido de que el principio de proporcionalidad establecido en sus experimentos debería tener un papel universal, y por tanto se propuso cuantificar directamente la relación existente entre el trabajo y el calor disipado por fricción.

Su primer intento estuvo centrado en evaluar el aumento de temperatura del agua cuando ésta es forzada por un pistón a atravesar una serie de pequeños agujeros, obteniendo un valor de 770 pies-libra. Este experimento y los anteriores relativos a magnetoelectricidad fueron publicados en un artículo titulado “*Sobre los efectos caloríficos de la magneto-electricidad y sobre el equivalente mecánico del calor*”, leído en la reunión de la Asociación Británica de 1843.

A pesar de que su trabajo no despertó particular atención, Joule continuó sus experimentos, esta vez centrando su atención en el calor liberado cuando un gas es comprimido. Si bien este hecho era conocido desde hacía tiempo, hasta la fecha nadie había intentado cuantificar la relación entre el calor liberado por el gas y el trabajo realizado para comprimir éste. El resultado en este caso fue de 798 pies-libra por BTU. Para cuantificar esta relación es necesario sin embargo, hacer patente que el calor liberado está asociado al trabajo realizado sobre el gas y no a cambios producidos internamente en éste. Esto puede ser contrastado observando la expansión de un gas en el vacío; en este caso no se realiza trabajo sobre el mismo y por tanto no debería observarse ningún efecto térmico. Este experimento ya había sido realizado por

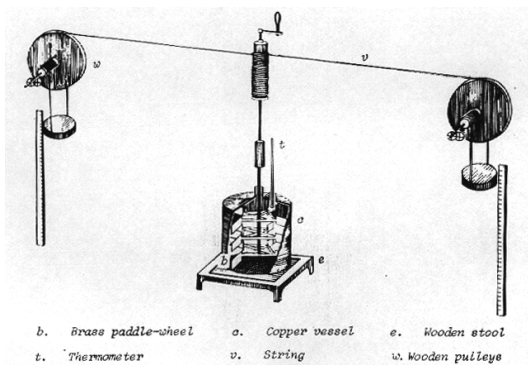
Gay Lussac, sin embargo este hecho era desconocido para Joule que realizó el suyo propio, llegando a la misma conclusión que había llegado aquel unos años antes: en la expansión al vacío no se observa variación alguna de temperatura.

Estos experimentos fueron recogidos en el artículo “*Sobre los cambios de temperatura producidos mediante la rarefacción y condensación de aire*” publicado en la *Philosophical Magazine* en 1845, pasando desapercibido, al igual que los anteriores.

En este momento Joule había desarrollado por si mismo significativas innovaciones en el desarrollo experimental, proponiendo sus propios métodos de medición de la intensidad de corriente, y desarrollando métodos especialmente refinados para la época para la medición de la temperatura, pudiendo apreciar con sus termómetros hasta variaciones del orden de unas pocas centésimas de grado.

4. Conversión directa de calor y trabajo

Animado por sus anteriores resultados Joule se propuso entonces abordar la directa relación entre el trabajo realizado mediante la caída de un peso y el calor generado en un fluido a través de la fricción de un mecanismo accionado por éste.



Con un complicado sistema de paletas, accionado por el movimiento del peso a

través de un sistema de poleas, Joule realizó innumerables experimentos midiendo la relación entre el aumento de temperatura del fluido y la caída del peso. Después de probar con distintos fluidos, agua, mercurio e incluso aceite de ballena, estableció el valor de 782 pies-libra por BTU.

Para Joule estos resultados tenían un valor que va más allá de la mera determinación numérica de un factor de proporcionalidad y de la puesta en evidencia de efectos ya conocidos muchos de ellos de forma cualitativa. Joule razona interpretando que la fuerza viva (*energía cinética*) de la naturaleza que podemos observar a través del viento, las olas, o el agua que fluye por los torrentes y que aparentemente desaparece al cesar el movimiento del elemento correspondiente, no desaparece, sino que se convierte en un elemento equivalente. Este elemento equivalente es el calor, y a partir del mismo puede reaparecer más tarde en lugar y forma distintas a la que se había manifestado anteriormente.

La fuerza viva es un don con el que Dios ha dotado a la naturaleza y por tanto ésta no puede ser creada ni destruida, y una prueba de ello, es que los vientos siguen soplando, los torrentes fluyendo, o el mar batiendo contra las rocas con la misma fuerza que hace miles de años, y que si la fuerza viva asociada al movimiento se destruyera, el universo habría llegado a un estado de muerte hace ya muchos años, lo cual podemos ver diariamente que no es el caso.

Estos argumentos y las conclusiones de sus experimentos fueron dados a conocer por Joule en una reunión en una iglesia de Manchester, y posteriormente publicados en un periódico local (*Manchester Courier* 5 de Mayo de 1847).

Animado por estos razonamientos Joule preparó un artículo titulado “*Sobre el equivalente mecánico del calor según es determinado a partir del calor disipado en la fricción de los fluidos*”, que fue presentado a la reunión de la asociación Británica de Oxford de 1847. Al trabajo se le prestó escasa atención y sólo se le permitió la lectura de un pequeño resumen de unas veinte líneas. Esta contribución hubiera pasado asimismo desapercibida como las restantes, a no ser por la intervención de un joven de 23 años llamado William Thompson (más tarde Lord Kelvin) que se encontraba entre la audiencia.

Thompson hace ver a Joule que sus afirmaciones contradicen los enunciados establecidos años atrás por el francés Sadi Carnot, y reconocidos como incuestionables por la comunidad científica de la época, en el sentido de que todo el calor generado en la caldera de una máquina de vapor, pasa íntegramente al condensador de la misma sin que hubiese pérdida del mismo. Entre ambos se entabla una animada controversia, en la que intervienen otros participantes en la reunión con lo que el trabajo de Joule, si bien no consigue convencer de forma inmediata a su audiencia, sí al menos logra despertar su atención.

Joule continuó perfeccionando sus experimentos hasta llegar a un valor más preciso del equivalente, que difiere menos de un 0.3% del valor aceptado actualmente, y buscando otras observaciones que corroborasen los experimentos realizados. Entre estas observaciones, a nivel de anécdota, suele contarse su intento de medir la diferencia de temperaturas del agua fluyendo entre la parte superior y la base de una cascada, observaciones realizadas sin éxito durante su luna de miel en los Alpes, tras su matrimonio con Amelie Grimes la hija de un

controlador de aduanas de Liverpool, con quien tuvo dos hijos: un varón Benjamin Arthur, en 1849 y una hija Alice Amelia, en 1852. La esposa de Joule murió en 1854 y Joule permaneció viudo el resto de su vida.

Los trabajos de Joule, le llevan de forma inmediata a la conclusión de que el calor no es una sustancia o fluido imponderable como se había argumentado hasta la fecha sino que el calor debe estar motivado por el movimiento interno de las partículas últimas constituyentes de los cuerpos un razonamiento, conocido posteriormente como *teoría mecánica del calor*. Tomando como base un trabajo de John Herapath publicado un año antes, Joule calcula la velocidad media de las moléculas de hidrógeno a partir de la densidad del mismo y la presión a que se encuentra sometida una masa de éste a temperatura ambiente, obteniendo el resultado de 6225 pies por segundo, un trabajo que bajo el título de “*Algunas notas sobre el calor y la constitución de los fluidos elásticos*”, fue leído en la reunión de la Sociedad Literaria y Filosófica de Manchester en 1848 y posteriormente publicado las memorias de esta sociedad en 1851.

Varios de los trabajos posteriores de Joule fueron realizados en colaboración con William Thompson. En particular, merece especial atención los publicados en 1852 “*Sobre los efectos térmicos experimentados por el aire fluyendo a través de pequeños agujeros*” y 1853 y 1854 con el título de “*Sobre los efectos térmicos de los fluidos en movimiento*” *Parte I y II*. En estos trabajos Joule y Thompson cuestionan los resultados obtenidos previamente por el propio Joule en relación con la ausencia de variación de temperatura en un gas cuando éste se expande hacia un recipiente vacío. Esto es válido para un gas que cumple estrictamente la ley de

Boyle, pero ya en 1850 era conocido que muchos gases sufren ligeras variaciones en los que la ley de Boyle no se cumple de manera estricta. Si esto es así, cuando el aire es empujado a través de un tabique poroso produciéndose una disminución de presión, debe experimentar una variación de temperatura. Joule y Thompson encontraron que para el aire esta variación es de aproximadamente 1/3 de grado Fahrenheit por cada atmósfera de diferencia de presión y este efecto es mayor para otras sustancias como por ejemplo el dióxido de carbono.



Licuefactor de gases que usa el efecto Joule-Kelvin con intercambiador en contra corriente.

Si bien los resultados contenidos en estos trabajos tuvieron una influencia significativa en el establecimiento de la escala absoluta de temperatura y en la determinación del cociente entre el trabajo producido por una máquina de Carnot y el calor suministrado a la misma (función de Carnot), estos resultados están más próximos a la obra de William Thompson que a la de Joule, por lo que no entraremos aquí en más detalle. Sin embargo, desde el punto de

vista práctico la observación de este enfriamiento, tuvo un aprovechamiento de extraordinaria relevancia ya que forma la base de la gran mayoría de los dispositivos de refrigeración los cuales tuvieron un amplio desarrollo a partir del uso generalizado de la energía eléctrica a partir de finales del siglo XIX, que ha continuado hasta la actualidad.

Joule observó asimismo en 1846 que una barra de hierro cambia de longitud cuando es magnetizada, descubriendo el fenómeno posteriormente conocido como magnetostricción, asimismo fue el primero en utilizar un arco eléctrico como un instrumento para realizar una soldadura por lo que podemos considerarlo el inventor de la soldadura eléctrica, por lo que sus trabajos no sólo tuvieron gran influencia en el cambio del pensamiento científico y en el establecimiento del principio de conservación de la energía, sino que tuvieron una influencia más que notable en aspectos de interés práctico en muchos aspectos de la vida cotidiana actual.

A pesar de que en 1850 fue elegido miembro de la Royal Society y fue objeto de diversas distinciones sus últimos años después de haber invertido toda su modesta fortuna en sus investigaciones fueron de penuria económica y sólo en 1878 pocos años antes de su muerte se le adjudicó una pensión de 200 libras anuales en reconocimiento de su trabajo.

Víctima de una enfermedad degenerativa del cerebro, James Prescott Joule falleció en su casa de Manchester el 11 de Octubre de 1889. Contaba 71 años.

En reconocimiento a su trabajo la unidad de energía lleva su nombre "Joule", que hemos castellanizado como un Julio.