

# CIENCIA

2005, 100 años de la Teoría Especial de la Relatividad

$$E = mc^2$$

- # La masa y la energía son equivalentes, están relacionadas por la velocidad de la luz.
- # La energía es una forma del movimiento, el movimiento es una propiedad de la materia.
- # En el proceso de trabajo energético, la materia se transforma en distintas formas de energía.
- # Las materias primas son los energéticos, su transformación produce energía eléctrica.
- # La energía se conserva, no existe movimiento sin materia.

En septiembre de 1905, Einstein reportó una de las más importantes consecuencias de su Teoría Especial de la Relatividad. “El principio de la relatividad junto con las ecuaciones de Maxwell demandan que la masa es una medida directa de la energía contenida en los cuerpos”, escribió.

En uno de los tres manuscritos que se conservan, está la famosa ecuación que describe la relación entre la energía (E), la masa (m) y la velocidad de la luz (c), derivada de la teoría especial de la relatividad. La ecuación fue publicada en el artículo de 1905 con una notación distinta. En 1907, Einstein generalizó el concepto de equivalencia de masa y energía.

## Consecuencias de la teoría de la Relatividad Especial

La teoría de Einstein es distinta de la de Newton pero, la primera, contiene a la segunda. Cuando esto ocurre, la teoría de Einstein se reduce al límite Newtoniano. La diferencia más importante es respecto al tiempo y el espacio. Para Newton se trata de conceptos absolutos, para Einstein son conceptos relativos que dependen de la velocidad de los objetos y el límite es la velocidad de la luz.

Para Newton, un segundo de tiempo es el mismo en cualquier parte del universo; un segundo en la Tierra es el mismo que en la Luna, un reloj en la Tierra es el mismo que en Marte, por ejemplo, o en cualquier parte. Para Einstein, el tiempo se comporta diferente. Mientras más rápido se mueve un cuerpo más lento transcurre el tiempo. Un reloj en la Tierra no es, necesariamente, el mismo en todas partes del universo. La gravedad también detiene a los relojes y el paso del tiempo es más lento. Es decir, el tiempo absoluto NO existe.

Respecto a la distancia, para Newton un metro tiene la misma longitud en cualquier parte del universo. Para Einstein, un metro se hace más corto mientras más rápido se mueve un objeto. Esto es, la distancia absoluta NO existe.

Si el espacio y el tiempo se distorsionan, entonces todo lo que puede medir con metros y relojes también se distorsiona, incluyendo todas las formas de Masa y Energía.

El segundo postulado de la Teoría Especial de la Relatividad indica que nada se puede mover más rápido que la velocidad de la luz, éste es el límite. Conforme la velocidad de una partícula se aproxima a la velocidad de la luz, su masa se incrementa. Si se agrega energía a una partícula en movimiento relativista su masa se incrementa sin un

## 2005 energía 5 (66) 34, FTE de México

aumento significativo en la velocidad. Esto quiere decir, de acuerdo a Einstein, que la masa de un cuerpo es una medida de su contenido de energía.

Pero es imposible acelerar una partícula a la velocidad de la luz. Einstein predijo que, a la velocidad de la luz, la masa de una partícula podría volverse infinita. Esto es, se requeriría una cantidad infinita de energía para acelerar una partícula a la velocidad de la luz, lo cual no es posible.

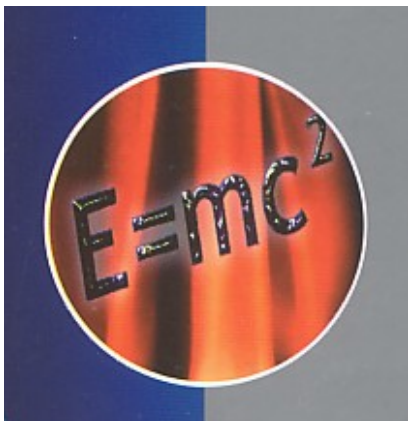
Pero, ¿cómo es que un fotón, un rayo de luz, puede viajar a la velocidad de la luz? La respuesta es porque los fotones tienen una *masa en reposo* igual a cero lo que significa que toda la energía de un fotón es cinética.

En el reposo también existe cierta cantidad de energía correspondiente a la masa (en reposo). De manera que, la energía cinética de los cuerpos es la diferencia entre la energía contenida en el cuerpo menos la energía del reposo y, la energía relativista es función de la energía en reposo más la cantidad de movimiento del cuerpo. Los fotones poseen energía y momento, es decir, cantidad de movimiento.

La diferencia de la teoría de Einstein con las leyes del movimiento de Newton está determinada por la velocidad. La masa de un cuerpo es relativa pues es función de la velocidad. Cuando la velocidad de los cuerpos se aproxima a la velocidad de la luz, la masa (relativista) y la energía (cinética) se vuelven cantidades muy grandes, tienden a infinito, mientras que la masa (en reposo) es pequeña, tiende a cero.

## Equivalencia de masa y energía

Estas ideas llevaron a Einstein a proponer una ecuación, la más famosa de todas en la ciencia:



Esto quiere decir que la energía (E) es igual a la masa (m) multiplicada por la velocidad de la luz (c) al cuadrado. La ecuación significa que la energía y la masa son cantidades equivalentes: la masa se transforma en energía, y viceversa, son cantidades directamente proporcionales.

La ecuación está relacionada por la velocidad de la luz (c), la cual representa un número muy grande, casi 300 mil kilómetros por segundo. Eso hace que al multiplicar la masa (m) por la velocidad de la luz (c) elevada al cuadrado, se obtenga como energía una cantidad (E) muy grande.

Por eso es que, una cantidad muy pequeña de masa puede ser convertida en una cantidad enorme de energía. Por ejemplo, 1 gramo de algo se transforma, al multiplicarse por  $c^2$ , en un 9 multiplicado por  $10^{20}$ , es decir un 9 seguido de 20 ceros, como energía expresada en ergs/segundo ó  $9 \times 10^{13}$  joules/segundo, ambas unidades de energía.

## Conversión de materia en energía y viceversa

En 1933, en París, Irene y Frédéric Joliot-Curie fotografiaron la conversión de materia en energía. Ambos observaron que un *quanto* de luz, que transporta energía, cambiaba transformándose en dos partículas que curvaban su trayectoria alejándose una de otra. Este efecto ocurre en la naturaleza en ciertas condiciones.

Cuando dos *quantos*, p.e., dos radiaciones *gamma* de suficiente energía chocan dan lugar a un par de partículas cargadas, es decir, dos electrones uno con carga negativa (electrón) y otro con carga positiva (positrón). De la misma manera, la interacción de dos pares de partículas electrón-positrón produce un rayo gamma. El electrón es la más fundamental de las llamadas partículas elementales y, el positrón, es su antipartícula. Esta forma de antimateria existe en la naturaleza pero en pequeñas cantidades. Se dice que existe una antisimetría entre materia y antimateria.

El universo actual es un universo dominado por materia, antes estuvo dominado por radiación y hubo un tiempo en que hubo igualdad de materia y radiación. La materia que existe en el universo en mayor proporción se conoce como *materia oscura*, cuya naturaleza se desconoce, y solamente una mínima parte, apenas el 0.5% del total, es materia visible en forma de galaxias o estrellas.

Sin embargo, la creación de positrones existe en la naturaleza mediante medios artificiales;

uno de sus usos es en la medicina nuclear, por ejemplo, la tomografía por emisión de positrones para tratar algunos problemas del cerebro. El fenómeno de creación de pares positrón-electrón se puede apreciar a gran escala en los chorros (jets) energéticos producidos por grandes estructuras y en las explosiones de supernova.

En Cambridge, Inglaterra, fue observado el proceso inverso, la conversión de masa en energía. J. Cockcroft y E.T.S. Walton observaron que un átomo podía fisionarse y la suma de las masas de los fragmentos era menor que la masa total del átomo inicial, la diferencia de masa se había convertido en energía. El descubrimiento de la *fisión* del uranio mostró con toda claridad cómo la materia se transforma en energía.

Originalmente los núcleos de los átomos pesados, como el uranio, están unidos a través de la llamada fuerza *nuclear fuerte*. Cuando uno de estos átomos se rompe, vía una reacción nuclear, se producen los fragmentos de fisión, mismos que transportan energía cinética. Al ocurrir la reacción nuclear se libera una gran cantidad de energía correspondiente a la diferencia (o defecto) de masa. Esto se debe a que, originalmente, las partículas nucleares están unidas por una energía de amarre que se libera cuando se rompe al átomo.

El descubrimiento de la fisión del uranio, en los 1930s, condujo al desarrollo de la bomba atómica y su posterior explosión. Cuando 1 átomo de Uranio-235, solo un átomo, se fracciona (fisiona) pierde casi un 0.1 por ciento de su masa. Esa pequeñísima cantidad de masa, sin embargo, es suficiente para producir la enorme cantidad de energía de una bomba atómica.

La fisión es, también, el principio para la utilización del Uranio-235, Uranio-238 y Plutonio-239 como combustible en los reactores nucleares de potencia para producir energía eléctrica. Es decir, este principio se utilizó inicialmente con propósitos político-militares pero también tiene aplicaciones pacíficas importantes. Tal es el caso de la generación de energía en centrales nucleoelectricas.

## Proceso de trabajo energético

Los procesos de trabajo están determinados por las materias primas. En el sector energético, las materias primas son los llamados energéticos primarios. Estas materias son la fuente primaria de la energía e incluyen a los energéticos conocidos como convencionales, es decir, al petróleo (en sus

2005 energía 5 (66) 35, FTE de México formas de combustóleo y diesel), el gas natural y el carbón; y a los energéticos alternos, entre los que están el uranio y el plutonio.

En el caso de la fusión termonuclear, el energético primario es el hidrógeno (pesado) en forma de *deuterio* contenido en el agua del mar. Además, se tiene a otros materiales energéticos como el agua, el vapor terrestre, el viento, el hidrógeno y la radiación solar. Se dice que estas materias tienen densidad energética, el uranio es de alta densidad pero el gas es de baja, esto es, producen mucha o poca energía por unidad de masa o volumen.

El proceso de trabajo energético se caracteriza por la sucesiva transformación de la materia en energía y de ésta en diversas formas de energía. La industria petrolera es esencialmente extractiva y de transformación, la industria eléctrica es de transformación. Las que se transforman son las materias primas, primarias y auxiliares. Varios de los nuevos productos son, a su vez, nuevas materias primas para diversos procesos industriales.

En el caso de la industria petrolera, además de los hidrocarburos se obtienen múltiples productos petrolíferos y petroquímicos obtenidos en sucesivas transformaciones de las materias primas. En el caso de la industria eléctrica, la electricidad producida se convierte asimismo en materia prima auxiliar de numerosos procesos de trabajo industriales, tecnológicos y de servicios. Cuando se utiliza para alumbrar, la energía eléctrica se transforma en luz o energía radiante.

La principal fase del proceso de trabajo eléctrico es la generación de energía eléctrica, conocida también como energía secundaria porque se obtiene a partir de energéticos primarios. En una central eléctrica de potencia, existen *sistemas de suministro de vapor*, convencionales o nucleares. En el primer caso, se conocen como calderas, en el segundo, como reactores nucleares. Pero ambos dispositivos y/o sistemas tienen el mismo propósito: producir vapor de cierta calidad en presión, temperatura y humedad, a partir de procesos químicos o nucleares. El aspecto clave es la extracción del calor y su eficiencia.

En breve descripción, la energía (térmica) de los hidrocarburos o el carbón, o la energía (nuclear) producida a partir del uranio, se transforman en la energía (calorífica) del vapor. Este vapor se utiliza para mover las turbinas de potencia, de manera que la energía calorífica se transforma en energía (mecánica). Las turbinas

## 2005 energía 5 (66) 36, FTE de México

accionan a un generador de potencia y, la energía mecánica se transforma en energía (eléctrica). La energía eléctrica se produce como consecuencia del movimiento de los electrones en un intenso campo electromagnético. Los electrones son onda-partícula que se mueven a velocidades relativistas.

La fase de generación es similar en el caso de centrales térmicas (a base de hidrocarburos, geotermia, carbón) y en el caso de centrales nucleares (a base de uranio y/o plutonio). En el caso de centrales hidroeléctricas y eololéctricas la situación es ligeramente diferente porque la materia primaria es el agua y el viento que se aprovechan a través de procesos mecánicos. Sin embargo, tales materias se utilizan para la generación de sucesivas formas de energía que conducen a la producción de energía eléctrica.

El proceso de trabajo No es nadamás la generación de energía. Esta es la principal pero se trata de un conjunto de fases *integradas*. La energía eléctrica producida requiere ser transformada en condiciones apropiadas de continuidad, frecuencia y voltaje para ser aprovechada en sus múltiples usos. Después de producida la energía eléctrica, se siguen las demás fases del proceso de trabajo que incluyen la transmisión, control, distribución y comercialización. El conjunto del proceso de trabajo incluye a la planeación, organización y métodos, realización de investigación científica y desarrollo tecnológico, gestión de la calidad y administración en las actividades de operación, mantenimiento, transporte y servicios.

## La energía y los trabajadores

El descubrimiento de Einstein, propuesto en 1905 y desarrollado en 1907, sobre la equivalencia de la masa y la energía derivado como una de las consecuencias de la Teoría Especial de la Relatividad tiene alto interés para los trabajadores de la energía.

El principio de la transformación de materia en energía y viceversa no se reduce al ámbito nuclear, sea militar o pacífico, es más amplio. El concepto forma parte del principio de conservación de la materia y del principio de conservación de la energía. Estas no se crean ni se destruyen solo se transforman.

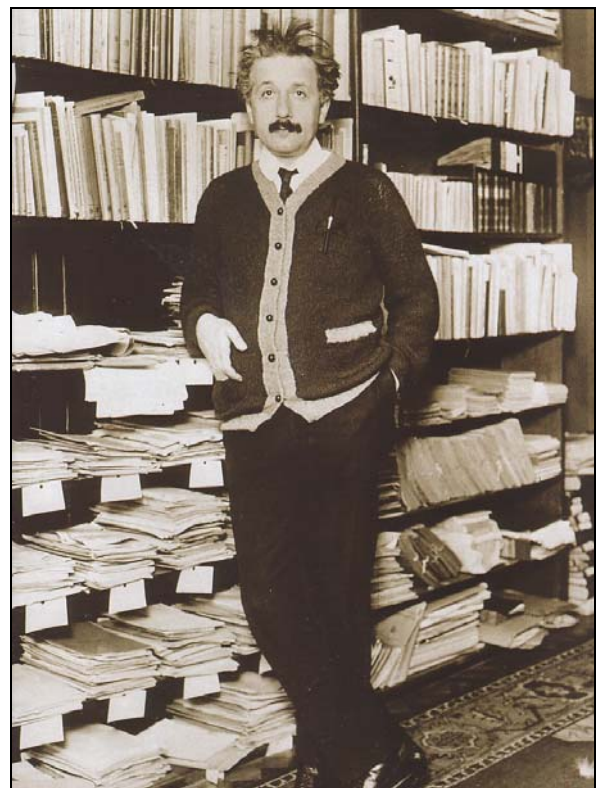
Hay también connotaciones filosóficas importantes, como las desarrolladas por Lenin, respecto a la energía como una forma del

movimiento, el movimiento como una propiedad de la materia, y el postulado de que NO existe movimiento SIN materia.

La observancia práctica de la equivalencia de materia y energía, y su transformación, está en el proceso de trabajo energético del cual somos partícipes. Es por ello, que el principio de equivalencia de materia y energía, propuesto por Einstein, es del mayor interés de los electricistas, petroleros y nucleares que marchamos bajo las banderas del Frente de Trabajadores de la Energía (FTE) de México.

## Referencias

- Bahen D. 2003, *Special Theory of Relativity*, UK.  
Einstein A. 1905, On the Electrodynamics of Moving Bodies, *Annalen der Physik* 17, 140.  
Einstein A. 1905, Does the Inertia of a Body Depend upon its Energy Content? *Annalen der Physik* 18, 172.  
Lenin V.I. 1908, *Materialismo y Empiriocriticismo*, Obras Completas, V.14, Eds. Allende.  
Marx C. 1980, *El Capital*, V.1., T.1., Siglo XXI eds.



Albert Einstein en Berlín, 1930