

AC 14 11

¿Cuáles son los objetivos del presente tema y qué conexión tienen con los precedentes? Como en todos los temas del curso, el esquema resumen que aparece en su primera página sintetiza las principales ideas desarrolladas en el mismo, así como su mutua interrelación. En el caso que nos ocupa aparecen cuatro grandes apartados o preguntas. Producto escalar de dos vectores, trabajo, potencia y energía cinética.

Su principal objetivo es la medición del efecto producido por las fuerzas que actúan sobre los cuerpos y que es medido por una nueva magnitud física, el trabajo. Dicho trabajo tiene un interés tecnológico grande ya que constituye la manifestación más directa del aprovechamiento práctico de las fuerzas activas o del efecto indeseado de las fuerzas pasivas o resistivas. Sin embargo, en muchas ocasiones aún tiene mayor interés el conocimiento de la potencia desarrollada por un sistema o rapidez de ejecución del trabajo por el mismo, ya que el tiempo de realización de una tarea es importante en el momento de juzgar su utilidad.

Finalmente, introducimos la energía cinética de un móvil cuya variación demostramos que es igual al trabajo efectuado por las fuerzas actuantes sobre el mismo. Concepto este de suma importancia como tendremos ocasión de constatar en los sucesivos temas. Desde el punto de vista matemático introducimos la noción de producto escalar de dos vectores con objeto de poder precisar en general la definición de trabajo.

Se trata de una operación vectorial muy simple que produce como resultado no un nuevo vector, sino un número real o magnitud escalar, de ahí el calificativo dado de producto escalar. Este número es igual al producto de los módulos de los dos vectores por el valor del coseno del ángulo que forman. También se utiliza la noción de integral definida, entendida como límite de una suma, en nuestro caso de trabajos elementales de una fuerza, cuando el número de sumando se hace muy grande y el valor de cada uno de ellos muy pequeño.

Este concepto matemático resulta de introducción necesaria para poder expresar sin ambigüedad el trabajo de una fuerza variable a lo largo de un camino finito. Hay muchos casos en los cuales el trabajo es realizado por una fuerza actuando sobre un determinado cuerpo cuyo valor cambia durante el desplazamiento de éste. Por ejemplo, para estirar un resorte ha de aplicarse una fuerza cada vez mayor conforme aumenta el alargamiento.

También cuando se expande un gas empujando un pistón hacia afuera la fuerza ejercida sobre el pistón por el gas disminuye. Para calcular el trabajo realizado en tales casos es preciso utilizar el cálculo integral. Con relación al cálculo integral, que al parecer es introducido por primera vez en este tema de igual modo que lo fuera el cálculo diferencial en el tema del movimiento, ¿no le parece que supone un esfuerzo de abstracción considerable su asimilación por parte de los alumnos en esta etapa del curso? Nociones de cálculo integral han figurado siempre en todos los planes del bachillerato superior.

Su dificultad es relativa ya que su introducción puede hacerse tal como procede en el texto de una forma muy intuitiva y gráficamente. A este respecto, conviene señalar que existen dos tipos fundamentales de integrales, las definidas y las indefinidas. Las primeras representan, como decía, simplemente el límite de una suma gráficamente interpretable por medio del área encerrada por una curva, la correspondiente a la función subintegral, el eje de abscisas y las dos ordenadas extremas del intervalo de integración considerado.

Las segundas, es decir, las integrales indefinidas, son simplemente el resultado de aplicar a una función la operación inversa de la derivación. Calculan la llamada función primitiva, aquella cuya derivada es precisamente la función subintegral que figura bajo el signo de integración. Quizá pueda provocar alguna pequeña confusión inicial el hecho de que operaciones tan dispares utilizan el mismo signo, la *s* alargada característica de las integrales.

Si bien, las definidas muestran los límites de integración o extremos del intervalo considerado explícitamente en la parte inferior y superior del mencionado signo. Esta similitud de simbolización se debe a que las integrales definidas se calculan por medio precisamente de las indefinidas. Gracias a la llamada regla de Barrow, quedamos en el texto.

Aparte de la conexión geométrica existente entre ambos tipos de integrales. El trabajo efectuado por una fuerza al actuar sobre un cuerpo es igual al producto de dicha fuerza por el camino recorrido por el cuerpo. Entonces, ¿por qué es necesario definir este trabajo a través del producto escalar de los vectores fuerza y desplazamiento? En la pregunta 5.2 del texto mostramos como una misma fuerza aplicada sobre un cuerpo dado realiza distinto trabajo según actúe en una dirección u otra con respecto al desplazamiento.

Y en particular se destaca que el trabajo es nulo cuando fuerza y desplazamiento son perpendiculares entre sí. Por ejemplo, esto sucede para la fuerza gravitatoria que mantiene a un satélite en órbita circular en torno a la Tierra ya que en este caso la fuerza se haya dirigida según el radio de la circunferencia mientras que el desplazamiento elemental experimentado en un instante dado tiene la dirección de la tangente a la trayectoria. El trabajo puede ser positivo o negativo.

Si la partícula en que obra una fuerza tiene una componente del movimiento opuesta a la dirección de dicha fuerza el trabajo hecho por esta fuerza es negativo. Este caso corresponde a un ángulo obtuso entre los vectores fuerza y desplazamiento. Por ejemplo, cuando una persona desciende un objeto al suelo el trabajo hecho sobre el objeto por la fuerza ascendente de su mano al sostener el objeto es negativo.

En este caso el ángulo cita es de 180 grados al tener la fuerza sentido ascendente y el desplazamiento ser descendente. El trabajo como lo hemos definido resulta ser un concepto muy útil en física. Nuestra definición de la palabra trabajo no corresponde al uso familiar del término.

Esto puede causar confusiones. Una persona que sostiene un objeto pesado en reposo en el

aire puede decir que está haciendo un trabajo pesado y puede ser así en el sentido fisiológico. Pero desde el punto de vista de la física decimos que no está realizando ningún trabajo.

Decimos esto porque la fuerza aplicada no causa desplazamiento alguno. La palabra trabajo se usa solamente en el estricto sentido de la ecuación 5.14 del texto. En muchos campos científicos se utilizan palabras de nuestro lenguaje cotidiano y se usan para designar un concepto muy específico y recíprocamente.

Por ejemplo, las palabras masa, energía, potencia, etc. En el texto se dice que, en general, el trabajo será positivo cuando la fuerza favorezca el desplazamiento del cuerpo, en cuyo caso dicha fuerza se denomina activa, mientras que recibe el nombre de pasiva aquella fuerza opuesta al desplazamiento y que, por tanto, realice un trabajo negativo. Pero, por favor, ¿podría aclararnos usted un poco estos conceptos? Efectivamente.

La fuerza, que como la de la gravedad, tiende a hacer descender una piedra cuando ésta cae es activa. Mientras que si la elevamos con nuestra mano la misma fuerza pasa a ser pasiva o resistiva al oponerse a la elevación de la piedra. En este último caso, si levantamos la mencionada piedra es porque desarrollamos una fuerza activa capaz de vencer a la pasiva gravitatoria.

En este ejemplo, una misma fuerza puede desempeñar papeles distintos según las circunstancias de su actuación. Otras fuerzas, por el contrario, son intrínsecamente resistivas por oponerse siempre al desplazamiento de los cuerpos. Tales fuerzas, veremos en la siguiente unidad didáctica, que pertenecen a la categoría de fuerzas disipativas, su trabajo es siempre negativo.

Tal es el caso, por ejemplo, de las fuerzas de rozamiento introducidas en este tema y de las fuerzas de amortiguamiento viscoso ejercidas por un fluido sobre los cuerpos que se desplazan en su seno y que serán objeto de tratamiento en el tema 14. ¿Qué relación tiene el concepto de potencia, tal como se introduce en el texto, con la potencia atribuida a los motores de los distintos vehículos y aparatos de uso normal, tales como automóviles, buques, acondicionadores de aire, bombas elevadoras de líquidos, etcétera? En primer lugar, digamos que hasta ahora no hemos considerado el tiempo empleado para hacer el trabajo. La misma cantidad de trabajo se hace al levantar un cuerpo desde una altura dada, ya sea empleando un segundo o un año para hacerlo.

Ahora bien, la rapidez con la que se realiza el trabajo nos es a menudo más interesante que el propio trabajo total efectuado. Definimos potencia como la rapidez con la que se realiza el trabajo. La potencia media proporcionada por un agente es el trabajo total hecho por el agente dividido entre el intervalo de tiempo total empleado.

Tal agente o sujeto ejecutor de trabajo puede ser el hombre, un caballo de tiro o un dispositivo mecánico adecuado denominado máquina que puede ser accionado manualmente o por medio de un motor. En el sistema internacional, la unidad de potencia es un Julio por segundo, que se

denomina vatio. El nombre de esta unidad de potencia es en honor de James Watt, cuya máquina de vapor fue precursora de las máquinas más poderosas de la actualidad.

Esta unidad es muy pequeña para fines prácticos, de modo que se ha adoptado una unidad más grande llamada el caballo de vapor o horse power en inglés. De hecho, el mismo Watt sugirió como unidad de potencia la potencia proporcionada por un caballo usado como motor. Se escogió la equivalencia de un CV o HP aproximadamente igual a 746 vatios, o sea, aproximadamente tres cuartos de kilovatio.

Un caballo no resistiría, sin embargo, demasiado tiempo efectuando un trabajo con esa rapidez. Los motores de vapor, actualmente en casi desuso, las turbinas de las centrales termoeléctricas y de los aviones a reacción, los motores de explosión, el motor eléctrico de un ventilador o de una máquina de afeitar, e incluso el reactor nuclear de un buque propulsado por energía atómica, son dispositivos realizadores de trabajo cuya potencia se mide en vatios o en CV. Así, por ejemplo, su automóvil funcionando a régimen puede generar una potencia de 90 CV, si bien fiscalmente sólo se conceptúan 10, es decir, la décima parte aproximadamente.

La estación nuclear de Zorita genera 150 MW, es decir, 150 millones de vatios de potencia eléctrica, o lo que es lo mismo, 150 millones de julios cada segundo. Mientras que una lámpara de alumbrado consume, por ejemplo, 100 vatios, es decir, necesita absorber esta potencia para transformarla en energía luminosa y térmica. La cuarta pregunta de este tema hace referencia a la energía cinética y a su relación con el trabajo previamente introducido.

¿Qué trascendencia tiene este concepto en la ciencia y cuál es el significado físico del llamado teorema del trabajo y de la energía cinética? Como decimos en el texto, la energía cinética es una magnitud escalar de gran significación física. Su relación con otras formas de energía, las llamadas energías potenciales, que introduciremos en el tema 7, constituye uno de los aspectos más relevantes de la física, ciencia que ha sido incluso denominada energética, dada la posible reducción de sus leyes fundamentales a relaciones energéticas. Denominaremos energía cinética de un cuerpo en movimiento a la mitad del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de su velocidad, siendo el trabajo efectuado por la fuerza resultante que obra sobre un cuerpo igual al cambio experimentado por su energía cinética.

Si la energía cinética de una partícula disminuye, el trabajo hecho sobre ella por la fuerza resultante es negativo. El desplazamiento y la componente de la fuerza resultante, según la línea del movimiento, tienen entonces direcciones opuestas. El trabajo hecho sobre la partícula por la fuerza es, con signo negativo, el trabajo hecho por la partícula sobre el agente productor de la fuerza.

Esta es una consecuencia de la tercera ley del movimiento de Newton. Por consiguiente, la relación entre energía cinética y trabajo puede interpretarse diciendo que la energía cinética de una partícula disminuye en una cantidad exactamente igual al trabajo que hace la partícula. Un cuerpo tiene cierta energía almacenada en él debido a su movimiento.

Conforme efectúa trabajo, reduce su velocidad y pierde algo de esa energía. Por consiguiente, la energía cinética de un cuerpo en movimiento es igual al trabajo que puede efectuar antes de quedar en reposo. Este resultado es válido tanto para las fuerzas aplicadas constantes como para las fuerzas variables.

Las unidades de energía cinética y de trabajo son las mismas. La energía cinética como el trabajo es una cantidad escalar. La energía cinética de un grupo de partículas es simplemente la suma escalar de las energías cinéticas de las partículas individuales en el grupo.

El teorema trabajo-energía es muy útil para resolver problemas en los cuales el trabajo hecho por la fuerza resultante se calcula fácilmente y en los que tengamos interés en encontrar la velocidad de la partícula en ciertas posiciones. Nótese que este teorema se deriva directamente de la segunda ley de Newton. De mayor importancia quizá es el hecho de que el teorema del trabajo y de la energía es el punto de partida de una generalización de extraordinario alcance en la física.

Se ha recalcado que el teorema del trabajo y de la energía es válido cuando consideramos el trabajo hecho por la fuerza resultante que obra sobre la partícula. Sin embargo, es útil en muchos problemas calcular separadamente el trabajo efectuado por ciertos tipos de fuerzas y dar nombres especiales al trabajo hecho por cada tipo. Esto conduce a los conceptos de los diferentes tipos de energía y al principio de la conservación de la energía que estudiaremos en la siguiente unidad didáctica.

Las relaciones energéticas presentan la ventaja, frente a las ecuaciones deducidas de la segunda ley de Newton, de tratarse de expresiones escalares. Por el contrario, la segunda ley involucra fuerzas y aceleraciones, equivaliendo, por ello, a un conjunto de tres ecuaciones, es decir, tantas como componentes escalares posean dichos vectores. A medida que los problemas dinámicos se hacen más complejos, se constata la conveniencia del formalismo energético, que culmina en la llamada mecánica analítica.

Insistamos de nuevo en la problemática de las unidades. Hemos hablado de vatios y de caballos de vapor, relacionándolos con el Julio como unidad internacional de trabajo. Sin embargo, en algunos libros se habla de kilográmetros como unidad de medida del trabajo.

Y, por otra parte, la facturación de las compañías de suministro eléctrico viene dada en kilovatios hora, cobrando este kilovatio hora, por ejemplo, a una o dos pesetas, según la tarifa aplicable. Podría precisarnos un poco más estos conceptos. ¿Qué nos cobran? ¿El trabajo o la potencia? En primer lugar, digamos que hasta hace poco era de uso frecuente el kilopondio o kilogramo fuerza, representando el peso o fuerza gravitatoria correspondiente a un cuerpo de un kilo de masa.

Esta masa, en presencia del campo terrestre, experimentaría una aceleración de 9,8 metros por segundo al cuadrado, es decir, una fuerza de 1 por 9,8 igual a 9,8 newtons en el sistema internacional. Por ello, un kilográmetro o trabajo efectuado por esta fuerza a lo largo de un

metro equivaldría a 9,8 julios en el mismo sistema internacional. Por otra parte, el kilovatio hora es el trabajo suministrado por un generador de un kilovatio de potencia durante una hora, o lo que es igual, durante 3.600 segundos.

¿De dónde? En unidades internacionales equivaldría a un trabajo de 3.600.000 julios. Este trabajo transformable en energías térmica, luminosa, etc. es lo que, por supuesto, nos cobra la compañía eléctrica, ya que la potencia instalada, si los diversos electrodomésticos y lámparas no funcionan, tampoco consumen ninguna energía eléctrica.

En este tema se habla extensamente de la fuerza de rozamiento o de fricción existente entre dos cuerpos en movimiento relativo. ¿Cuál es el significado físico de esta fuerza? Bien, para desplazar, por ejemplo, un cuerpo a lo largo de un plano, un sillón, a través de una habitación pongamos por caso, en general deberemos vencer cierta fuerza resistente opuesta al movimiento, denominada rozamiento o de fricción, y ocasionada por la adherencia de las superficies puestas en contacto. Dicha adherencia se origina por las fuerzas intermoleculares, denominadas fuerzas de Van der Waals, y que serán estudiadas en la tercera unidad didáctica.

Estas fuerzas actúan entre las moléculas de la superficie horizontal y las de la cara del bloque apoyado sobre ella. La rugosidad de las superficies favorece la creación de enlaces entre sus respectivas moléculas, aumentando la importancia de este fenómeno de rozamiento. Experimentalmente se demuestra que la fuerza que caracteriza al rozamiento tiene un módulo de valor igual al peso del cuerpo multiplicado por cierto coeficiente denominado rozamiento, indicado en el texto por medio de la letra griega μ .

Este coeficiente depende de la naturaleza de las superficies puestas en contacto y de su estado de pulimentación. La dirección de esta fuerza es la del desplazamiento del cuerpo, pero su sentido opuesto al mismo, realizando un trabajo, por consiguiente, siempre negativo. Este trabajo negativo será el que identificaremos más adelante como calor liberado por los cuerpos sometidos a fricción, incluyendo la fuerza de rozamiento dentro de la categoría de las llamadas fuerzas no conservativas o disipativas.

Nos estamos refiriendo exclusivamente a conceptos propios de la física, trabajo, energía cinética, potencia, fuerzas de rozamiento, etc. ¿En qué extensión necesita asimilar estos conocimientos un alumno que no desee cursar la carrera de ciencias físicas, sino que, por ejemplo, pretenda matricularse en biológicas? La física, y en determinada extensión también las matemáticas, constituyen bases de conocimiento y normas de razonamiento imprescindibles para cualquier estudiante de ciencias o de ingeniería. De la misma forma que sin saber las reglas de la ortografía y de la sintaxis no podemos pretender redactar un libro, tampoco sin conocimientos de matemáticas y de física podemos abordar el estudio de cualquier rama de la ciencia.

Los balances energéticos, los procesos de transporte, los cambios de estado, los sistemas bioeléctricos, etc. que deberá estudiar un alumno de biológicas exigen una base sólida en física como una de las ciencias básicas sobre la que se edifican ramas más complejas e

interrelacionadas con otros campos. En un curso de introducción a las ciencias físico-naturales necesariamente deberíamos apoyarnos en la física como base de partida.

Esto es más lógico que pretender en sólo tres unidades didácticas el dar una visión fenomenológica y divulgadora del inmenso panorama científico. Nuestro objetivo es formativo y no informativo. La estructuración básica del pensamiento científico es lo fundamental y esto es lo que hemos pretendido alcanzar en nuestro texto, procurando, eso sí cuando ello ha sido factible, el establecer conexiones y referencias con los más diversos campos de la ciencia.

Pensando en la prueba final, observamos que hay en el programa preguntas muy áridas y de escasolucimiento, tales como por ejemplo la referente al producto escalar. ¿Qué probabilidades tiene una pregunta como esta de caer en el examen? Y caso de proponerse, ¿podría contestarse relacionándola con otras del mismo tema o incluso de temas afines? Hemos de considerar que a priori cualquier pregunta puede ser propuesta en la prueba final. Ahora bien, nuestro objetivo primordial es la visión global e integrada del programa, con una interconexión coherente de sus distintas partes.

Con esto, no le quiero en absoluto decir que la pregunta del producto escalar pueda contestarse con la del espacio vectorial o la de la energía cinética, pongamos por caso. El alumno deberá ceñirse a lo que se le pregunta, pero podrá ampliar su pregunta hablando del trabajo como ejemplo físico más representativo de un producto escalar. Con ello, el concepto matemático quedará explicado y perfeccionado con el físico.

De nuevo repetimos que un atento estudio de los esquemas resumen de los diferentes temas será muy útil de cara al examen, permitiendo la localización de las diversas preguntas, así como de su entorno de interconexiones lógicas. En general, cada pregunta tiene su precedente y razón de ser en otras, desarrollándose asimismo en posteriores en las que alcanza un mayor grado de aplicación y de concreción práctica. Todo ello puede naturalmente exponerse en el examen, enriqueciendo la respuesta a la pregunta que haya sido efectuada.

Nos hemos referido siempre al trabajo efectuado por una fuerza única al actuar sobre un cuerpo dado. Sin embargo, en la inmensa mayoría de los casos serán varias las fuerzas actuantes simultáneamente. ¿Cómo se movería en este supuesto el cuerpo y cuál sería el correspondiente trabajo efectuado sobre el mismo? Tal como veíamos en el tema precedente, Newton afirma que el movimiento de un cuerpo es resultado directo de la influencia de otros cuerpos y toma a la aceleración como criterio para conocer la presencia o ausencia de otros cuerpos.

La interacción determinante del movimiento la caracteriza por medio de una magnitud vectorial, la fuerza, que se supone completamente determinada por esos cuerpos. Es decir, dota a la causa del movimiento, a la fuerza, de carácter cuantitativo, medible, con objeto de poder formular sus principios matemáticamente. La relación causal más simple y que ha prevalecido hasta el advenimiento de la teoría de la relatividad es la de proporcionalidad.

Fuerza igual a masa por aceleración. Así, en un cuerpo de masa dada, el conocer la fuerza actuante en un instante dado implicará conocer su aceleración en ese instante, de donde la variación experimentada por su velocidad en un corto intervalo de tiempo se hallará asimismo especificada. Incremento del vector velocidad igual a vector aceleración instantánea por incremento de tiempo.

Partiendo de la posición y velocidad iniciales del móvil, iremos construyendo su trayectoria y ley horaria paso a paso. Sin embargo, pese a la simpleza formada de la relación aceleración igual a fuerza partido por la masa, como en general la fuerza será función de la posición y de la velocidad del móvil, así como del instante considerado, no siempre esta ecuación nos permitirá una solución analítica. Hecho este, acentuado al considerar un sistema de n cuerpos en interacción, como por ejemplo el sistema solar, donde soluciones autoconsistentes o cerradas sólo pueden obtenerse por aproximaciones sucesivas en la mayoría de los casos.

De ellos se sigue la importancia de teoremas generales sobre la solución que nos den luz acerca de ella aún sin hallarla, tales como los derivados de las simetrías propias del sistema, traduciéndose cada simetría en la conservación de una magnitud física durante el movimiento. Tal será el caso de los teoremas de conservación de la energía mecánica y del momento lineal, que serán objeto de tratamiento en la siguiente unidad didáctica. También el teorema del trabajo y de la energía cinética responde a una de estas leyes generales, quizá la más general, por verificarse para todo tipo de fuerzas.

Ahora bien, recuerde que a una de sus anteriores preguntas le contestaba diciendo que debe recalcar que el teorema mencionado es válido sólo cuando consideramos el trabajo hecho por la fuerza resultante que obra sobre el cuerpo considerado. Así, por ejemplo, al levantar una piedra desde el suelo con velocidad constante, ¿qué trabajo total se efectúa sobre la piedra? Ninguno, ya que en virtud del principio de inercia o primera ley de Newton, la fuerza total actuante sobre la piedra será nula al ser su movimiento uniforme. Hecho que podríamos también haber deducido al observar que, como la energía cinética del cuerpo no experimenta variación en virtud del referido teorema, tampoco se habrá efectuado ningún trabajo sobre el mismo.

Ahora bien, nosotros sí que habremos realizado un trabajo en el levantamiento de la piedra, cansándonos, trabajo igual al peso por la altura de elevación. Lo que sucede es que, además de la fuerza por nosotros ejercida sobre la piedra, también actúa sobre ésta la fuerza de la gravedad, igual y opuesta a la primera y que la equilibra totalmente. La aceleración o la velocidad Como consecuencia de lo dicho, conviene tener bien presente que tanto en la segunda ley de Newton como en el teorema del trabajo y de la energía cinética, existe un término que no plantea ambigüedad ninguna, la aceleración o la energía cinética a función de la velocidad.

En ambos casos, la partícula tendrá siempre una única y bien definida aceleración o velocidad. La dificultad se presenta al determinar los otros términos, los causantes dinámicos del

movimiento, la fuerza o el trabajo. Cuidado, ambos se refieren a la interacción total experimentada por la partícula y debida al resto de cuerpos del universo.

Ciertamente, que la tarea de identificar y definir cuantitativamente a todas y cada una de las acciones sufridas puede ser una tarea complejísima, pero es aquí donde el científico debe introducir las hipótesis simplificadoras pertinentes que permitan reducir a unas pocas las fuerzas actuantes. Tal era el caso del levantamiento de la piedra, donde reducíamos a dos las fuerzas relevantes, la gravedad y la fuerza de nuestra mano, reconociendo que las ejercidas por los otros cuerpos presentes eran de una magnitud insignificante en comparación con las mencionadas. Acaban ustedes de escuchar Introducción a las Ciencias Físico-Naturales Tema V Trabajo y Potencia por el profesor Don José Luis Lorente Guard Nos despedimos de ustedes hasta el próximo domingo, día 19, en que a las 9.30 a.m. podrán escuchar Repetitorio de la Universidad Nacional de Educación a Distancia El tercer programa de Radio Nacional de España les ha ofrecido Universidad Nacional de Educación a Distancia En su emisión diaria Universidad para Todos Ha sido un espacio universitario preparado por su claustro de profesores y adaptado y presentado radiofónicamente por el tercer programa de Radio Nacional de España