

Cuadernos de apoyo didáctico para el aprendizaje de Física Aplicada

1

Ciencias Agronómicas

Curso: física aplicada (agrofísica)

Trabajo y energía mecánica

Academia de Conservación y Recursos Naturales

Enero de 2026

Introducción:

Los cuadernos de apoyo son instrumentos didácticos que tienen como propósito coadyuvar en el aprendizaje de la agrofísica. La serie de cuadernos comprende los temas que se abordan en el curso introductorio o de repaso; así como los de la asignatura de física aplicada, que se imparten en la fase propedéutica de la carrera de ingeniero en agronomía.

En ese tenor, estos instrumentos cognoscitivos permiten a los alumnos recordar sus conocimientos previos, así como la asimilación de nuevos contenidos. Además, de sus habilidades mentales para llevar a cabo cálculos algebraicos, geométricos y variacionales, como parte de su formación profesional.

La física y la ingeniería, es decir, la física aplicada tiene como objeto de estudio la aplicación de conceptos interdisciplinarios, es decir, aquellos que comparten dos o más disciplinas científicas.

Además, de manera general, lo aplicado significa movilizar estructuras de conocimiento de las ciencias físicas a campos de las ciencias naturales, y, por ende, a las agronómicas. Así, tenemos el concepto de calor que se aplica a la fenología de los cultivos; entre otros más.

Por otro lado, el estudio de la física permite una mayor estructuración de las ideas, así como su ordenación; lo que conlleva a un desarrollo mental mayor de los alumnos. Entonces, por lo anterior, el razonamiento no sólo inductivo; sino también en el hipotético-deductivo, adquieren mayor relevancia en el pensamiento de los alumnos.

En el presente cuaderno de trabajo, se abordan los temas de: trabajo mecánico, potencia y energía mecánica. Así, como sus aplicaciones respectivas al campo de las ciencias agronómicas. Durante el curso, trata de contestar todos los ejercicios que están al final de cada apartado, con el fin de que tus aprendizajes sean más sólidos.

Cieneguillas, Zacatecas, enero de 2026

Unidad Didáctica 1: Trabajo y energía mecánica

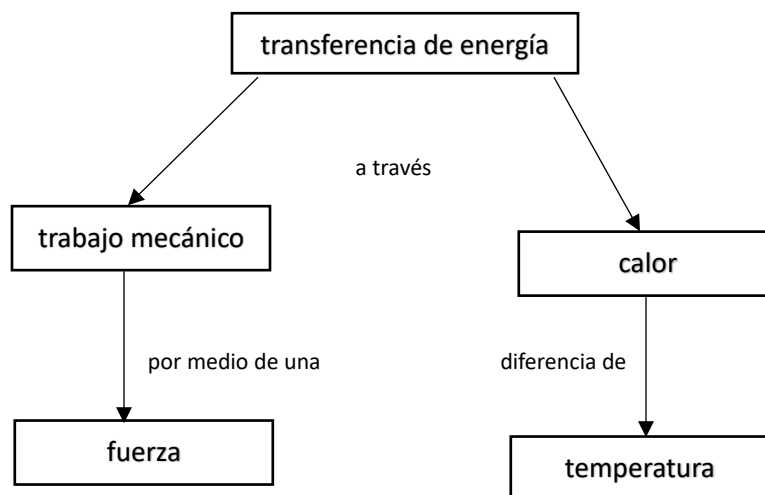
Introducción:

Vinculado al concepto de trabajo mecánico, se encuentra la noción de energía; ambas ideas surgieron relacionadas durante el siglo XVIII. Por un lado, tenemos que el trabajo representa transferencia de energía entre dos cuerpos, mediante una fuerza.

Y la energía, como categoría o concepto superior, representa el movimiento de la materia en el marco de los fenómenos naturales. Además, ella se manifiesta de diversas formas en la naturaleza. Por ejemplo: mecánica, térmica, elástica, eléctrica, química, etc.¹

También las formas de esta magnitud, están interconectadas; es decir, al convertirse una a otra, la cantidad total sigue siendo la misma. Así, por ejemplo, cuando se conecta un motor eléctrico a una batería, la energía química -las reacciones en la pila- se transforma en eléctrica; misma que a su vez, se convierte en mecánica.

La transformación de la energía, es parte esencial del estudio de la biología, la química, la física y la ingeniería. En el campo de las ciencias naturales, la transferencia de energía se lleva a cabo por dos vías, ellas son:



¹ En esta Unidad sólo revisaremos lo relativo a la energía mecánica, y su aplicación a los sistemas de riego.

Entonces, cada vez que ocurre un cambio físico-químico en alguna parte del Universo, es porque existe una conversión de energía de un tipo a otro, es decir, una transformación de la energía.

Por lo anterior, los seres vivos necesitan de un aporte constante de energía para subsistir. Así, en el caso de las plantas, tenemos la fotosíntesis donde la luz del Sol -que llamamos energía solar- es esencial para llevar a cabo dicho proceso. Entonces:

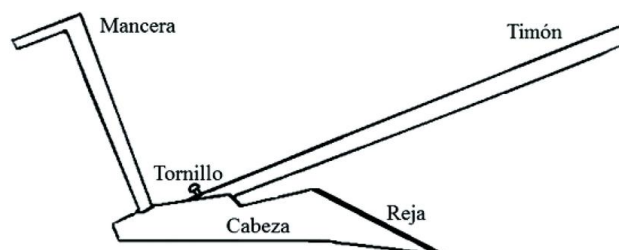
energía solar + agua + bióxido de carbono ---fotosíntesis--- oxígeno + alimento.

Trabajo mecánico:

Desde la historia de la ciencia, la agricultura empezó a practicarse en el creciente Oriente Medio, hace aproximadamente 11,000 años a de NE. Así desde la caza y el pastoreo, hasta la siembra y la recolección de semillas, hay un empleo de energía.

El caballo se utilizó, para cabalgar y posteriormente, como animal de tiro en la agricultura. En ese sentido, el arado apareció probablemente hace unos 6000 años de NE, en el norte de Mesopotamia y luego, se extendió por varias partes de Europa.

Inicialmente consistía en una azada adaptada para ser arrastrada por medio de la energía aportada por los animales. Con ello se incrementó la productividad de las tareas agrícolas.



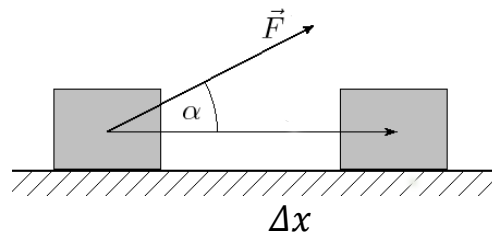
Entonces, desde allí surge el concepto de trabajo mecánico. Se trata de una magnitud física relacionada con la energía que un cuerpo transfiere a otro, por medio de una fuerza. Se define de manera operacional, *como el producto*

vectorial punto, de la fuerza aplicada por el desplazamiento.² Su expresión matemática es:

$$w = \vec{F} \cdot \Delta x$$

El producto punto, significa la multiplicación de los vectores fuerza y desplazamiento, el resultado de ese producto es una es una magnitud escalar. También puede escribirse como:

$$w = \vec{F} \Delta x \cos \Phi$$



donde:

F = fuerza aplicada (N)

Δx = desplazamiento (m)

Φ = ángulo menor entre los vectores F y Δx

W = trabajo mecánico.

La unidad de W en el SI es:

$$1\text{Nm} = 1 \text{ Joule (J)}, \text{ entonces } W = 1 \text{ Joule (J)}$$

Además, es frecuente utilizar los múltiplos, es decir:

$$1\text{KJ} = 1,000 \text{ J} \quad \text{Y} \quad 1 \text{ MJ} = 1,000,000 \text{ J}$$

Recuerde el agente o el mecanismo que suministra la fuerza, es quien realiza el trabajo. Asimismo, en un sistema mecánico, el trabajo total o neto es la suma aritmética de los trabajos realizados. Su expresión matemática es:

$$w_T = w_1 + w_2 + \cdots + w_N$$

Tracción animal:

² Recuerde por sus cursos de física del bachillerato, la fuerza la representamos por un vector. Así como el desplazamiento.

Durante milenios los animales han sido utilizados para transportar cosechas, tirar del arado, para el pisoteo, etc.



La labranza tiene como objeto cultivar y preparar la tierra para la plantación y la siembra de cultivos. Esta labor es importante, porque contribuye a la calidad y el rendimiento de los cultivos.

Los datos que proporciona la FAO,³ sobre la fuerza que proporcionan algunos animales es la siguiente:

	Newton (N)
Burro	196 - 294
Caballo	735 - 882
Buey (2)	784 – 1961

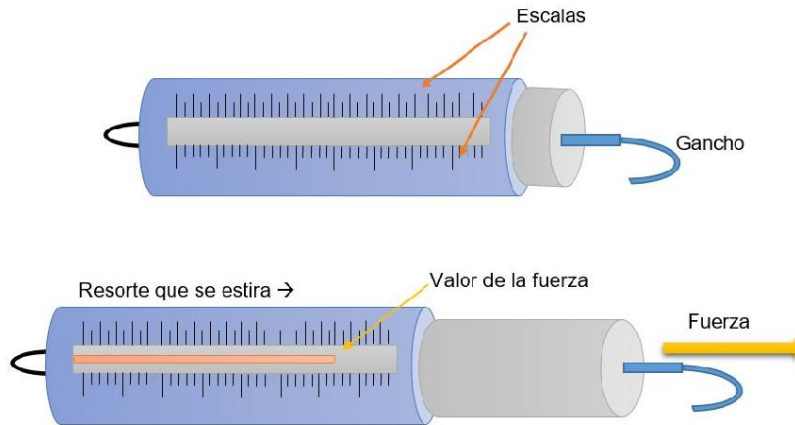
En la agricultura, de manera práctica, se utiliza como unidad de fuerza el kilogramo-fuerza, y su equivalencia es:

$$1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N} \qquad 1 \text{ kgf} = 1,000 \text{ gf}$$

Instrumento para medir la fuerza:

El dinamómetro es el instrumento para medir la magnitud de una fuerza y, consiste en un resorte dentro de un tubo con dos ganchos. Además, tiene una escala graduada en Kilogramos fuerza o Newton, como se indica en figura:

³ La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO, es un organismo especializado de la ONU que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre



Unidad de la fuerza en el SI:

Como se mencionó anteriormente, la fuerza es una magnitud vectorial, es decir, que tiene dirección y sentido. En el Sistema Internacional de Unidades (SI), tiene la siguiente unidad:

$1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ Newton}$ Se lee: *kilogramo metro por segundo al cuadrado*.

En la agricultura se utiliza el kilogramo-fuerza,⁴ como se mencionó anteriormente:

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$$

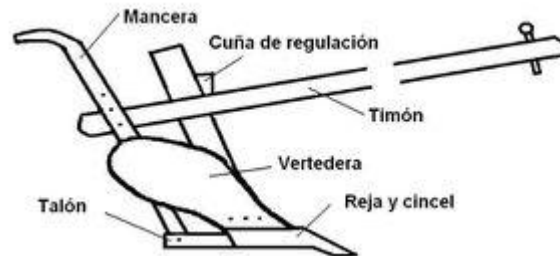
$$1 \text{ N} = 0.101972 \text{ kgf}$$

Ejemplo 1: Calcular el trabajo realizado por un burro, al jalar un arado de doble vertedera, como se muestra a continuación:

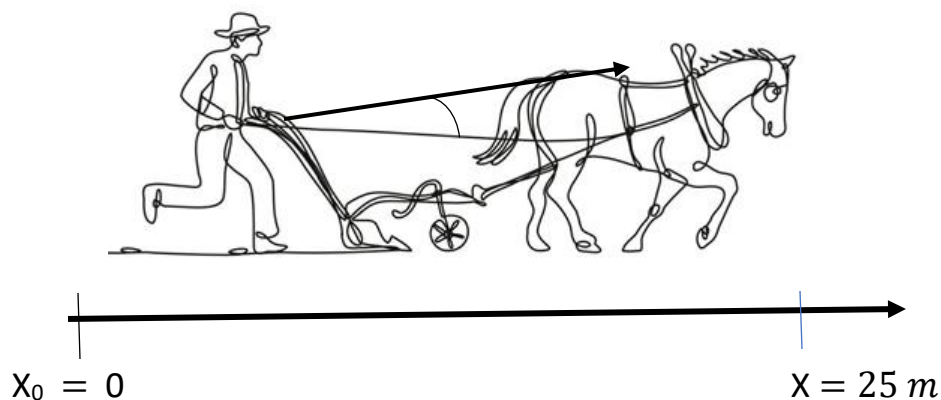


⁴ En el campo de la ingeniería mecánica se utiliza con frecuencia la dina, la cual equivale a 1 g cm/s^2 . Su equivalencia es $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dinas}$.

Un arado de doble vertedera es un instrumento agrícola muy antiguo, que se utiliza para romper, levantar, y voltear el terreno.⁵ Es ideal para trabajar en todo tipo de suelos.



El ángulo de tiro de una arado o rastra agrícola se puede ajustar para adaptarse a las condiciones del terreno y a la labor cultural que se lleve a cabo. Así, para la labranza⁶ se recomienda un ángulo de 45°



$$w = \vec{F} \Delta x \cos \Phi$$

$$w = (735 \text{ N})(25 \text{ m}) \cos 45^\circ$$

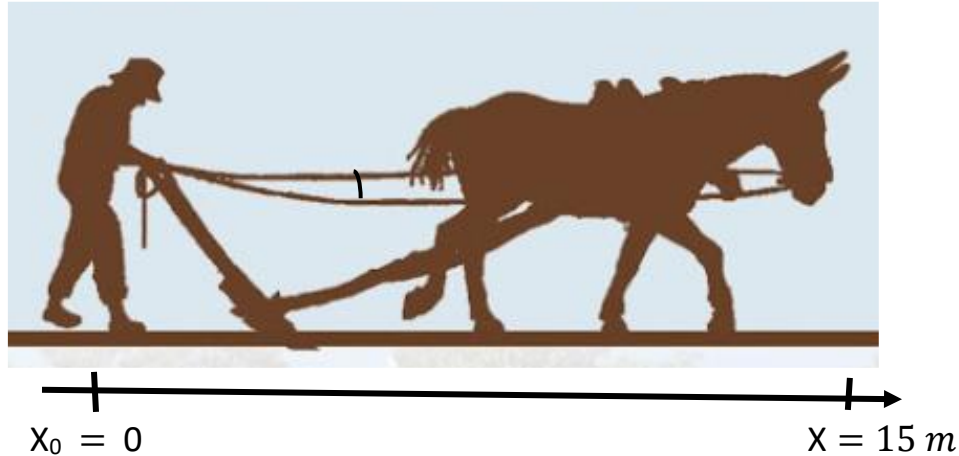
$$w = (735 \text{ N})(25 \text{ m})(0.707)$$

$$w = 12,991.12 \text{ J} \quad w = 12.99 \text{ kJ}$$

⁵ Dentro de la agricultura tradicional, un porcentaje pequeño de campesinos siguen utilizando este instrumento en las labores culturales.

⁶ La labranza es la preparación del suelo, mediante el volteo o aireación; a fin de mejorar las condiciones de siembra, utilizando para ello herramientas manuales o mecanizadas.

Ejemplo 2: Calcular el trabajo realizado por un asno, para desplazar el arado que se muestra a continuación. Revise la fuerza que nos proporciona este cuadrúpedo.



$$w = (196 \text{ N})(15 \text{ m})\cos 25^\circ$$

$$w = 2,663.64 \text{ J} \quad w = 2.66 \text{ KJ}$$

Trabajo de la fuerza de gravedad:

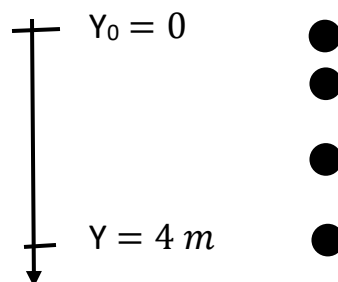
Otro ejemplo clásico es el trabajo realizado por la fuerza de gravedad. Recuerde que $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ y recibe el nombre de aceleración de la gravedad. Y el producto de la masa del objeto por la aceleración de la gravedad, recibe el nombre de fuerza de gravedad, su expresión matemática es: $\vec{F} = mg$.

Entonces, la ecuación del trabajo de la fuerza de gravedad es:

$$w = \vec{F}\Delta x \cos \Phi$$

$$w = mg\Delta y \cos \Phi$$

Ejemplo 3: ¿Que trabajo realiza la fuerza de gravedad, cuando se suelta una piedra de 200 gr de masa, desde una altura de 4m

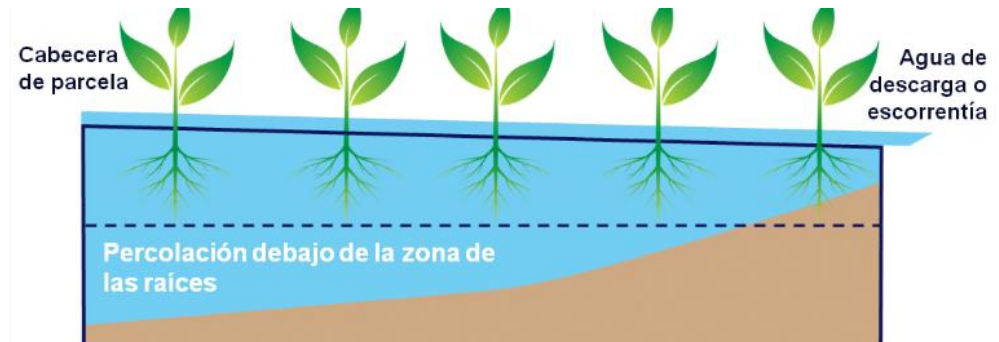


$$w = mg\Delta y \cos \Phi$$

$$w = (0.2 \text{ Kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(4 \text{ m}) \cos 0^\circ$$

$$w = 7.84 \text{ J}$$

En el riego por gravedad, al avanzar el agua sobre la superficie del suelo, se distribuye en la parcela y luego, se infiltra.



Por lo anterior, la capacidad de un suelo para filtrar y almacenar agua depende de su composición, densidad y estructura.

Significado del trabajo mecánico

Ya sabemos que el trabajo mecánico, es una transferencia de energía de un cuerpo a otro, mediante una fuerza. En ese sentido, el trabajo puede ser positivo, negativo y nulo.

Entonces, de acuerdo con la definición:

$$w + \quad 0^\circ \leq \phi < 90^\circ \quad \text{el cuerpo gana energía}$$

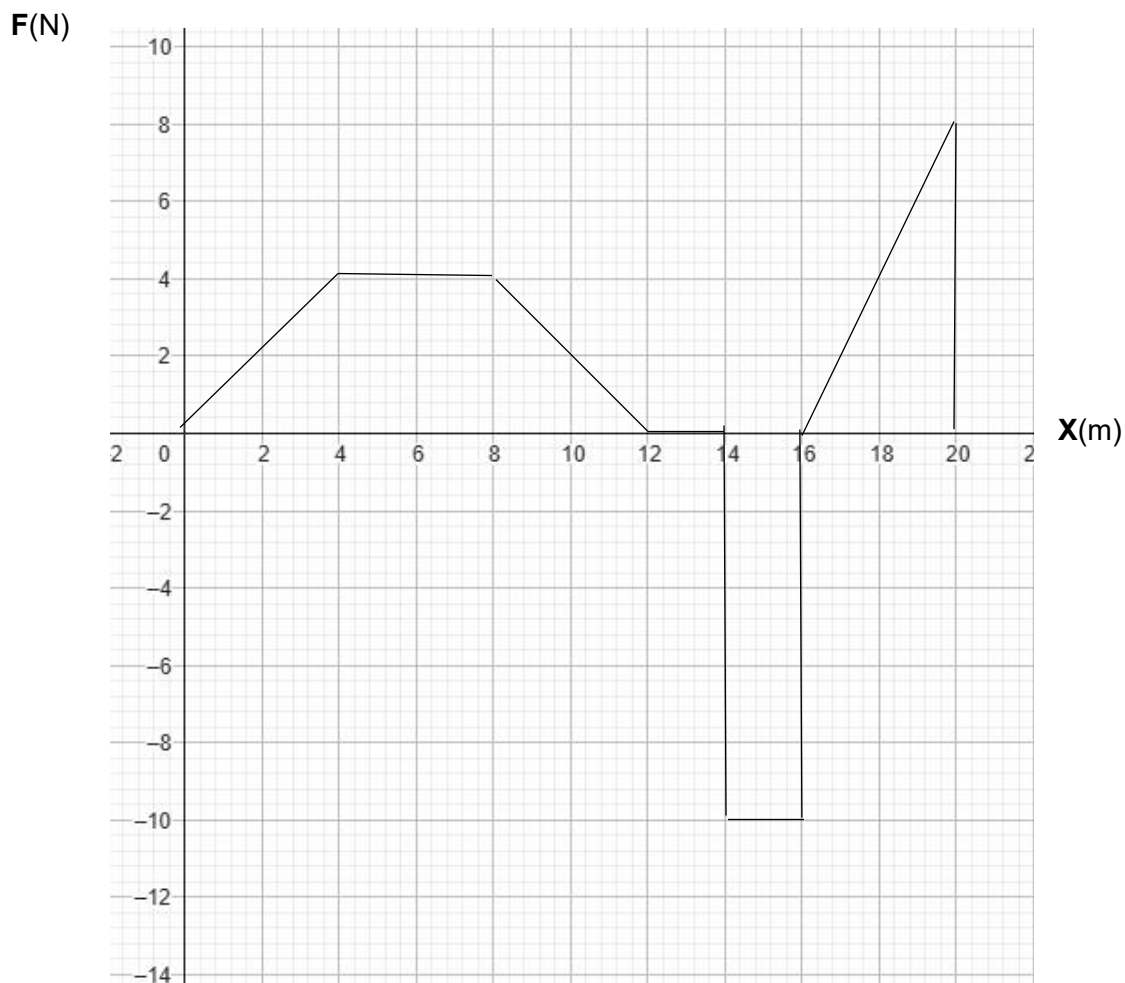
$$w - \quad 90^\circ < \phi \leq 180^\circ \quad \text{el cuerpo pierde energía}$$

$$w = 0 \quad \text{si } \vec{F} = 0 \text{ ó } \Delta x = 0 \text{ y el } \Phi = 90^\circ \quad \text{el trabajo es nulo}$$

El trabajo mecánico en gráficas:

La utilización de gráficas (**F- x**) para calcular el trabajo en un sistema mecánico, son de gran ayuda.

Recuerde el área debajo de la gráfica -curva- representa el trabajo total realizado por el sistema.



Potencia

Una magnitud de gran utilidad práctica es la potencia media o simplemente potencia. Se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. También se expresa como la cantidad de trabajo que se realiza en una unidad de tiempo, su expresión matemática es:

$$P = \frac{W}{t}$$

La unidad de P en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es:

$$P = \frac{\text{Joule (J)}}{\text{segundo (s)}} \quad \text{o} \quad P = 1 \text{ Watt (W)}$$

Múltiplos del Watt:

$$1 \text{ KW} = 1,000 \text{ W}$$

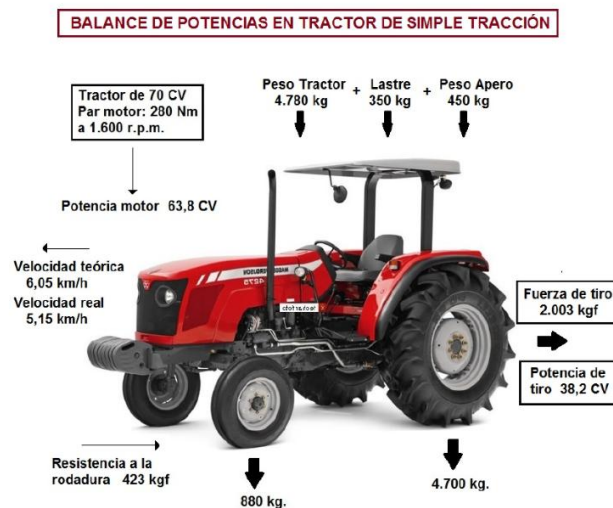
Otra unidad que se utiliza dentro de la ingeniería mecánica, para la potencia de motores, bombas, tractores y equipo agrícola, es el caballo fuerza. Su equivalencia es:

$$1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$$

También algunos fabricantes de tractores utilizan el caballo de vapor, y su equivalencia es:

$$1 \text{ CV} = 735.5 \text{ W}$$

Aunque por lo general se utiliza el Watt (W), algunos fabricantes utilizan el caballo de vapor, como se ilustra en el siguiente tractor:



Clasificación de tractores según su eficiencia energética

La potencia de un tractor mide su capacidad de realizar un determinado trabajo en relación a una medida de tiempo, como se mencionó anteriormente.

- **Potencia baja.** Tractores de hasta 40 hp preparados para trabajar en terrenos de perfil regular, sin demasiados obstáculos. Indicados para realizar tareas que no requieran una gran fuerza de arrastre ni un elevado esfuerzo motor.

- **Potencia media.** Tractores de entre 40 y 70 hp. Indicados para realizar trabajos más exigentes en viñedos, frutales, invernaderos y otros espacios similares.
- **Potencia alta.** Tractores de hasta 120 hp que realizan trabajos pesados o que se desarrollen en suelos exigentes.

Ejemplo:

Un motor entrega una potencia de 60 KW. Calcular el trabajo que realiza en un tiempo de 10 minutos.

$$P = \frac{W}{t} \qquad W = P t$$

$$W = (60,000 \text{ w}) (10 \times 60 \text{ s})$$

$$W = (36,000 \text{ KJ})$$

Otra ecuación práctica, para calcular la potencia de un tractor es términos de la toma de fuerza y la velocidad que desarrolla, es decir:

$$P = \vec{F} \cdot V$$

También se puede escribir como:

$$P = \vec{F} V \cos \Phi$$

donde

F = fuerza aplicada (N)

V = velocidad (m/s)

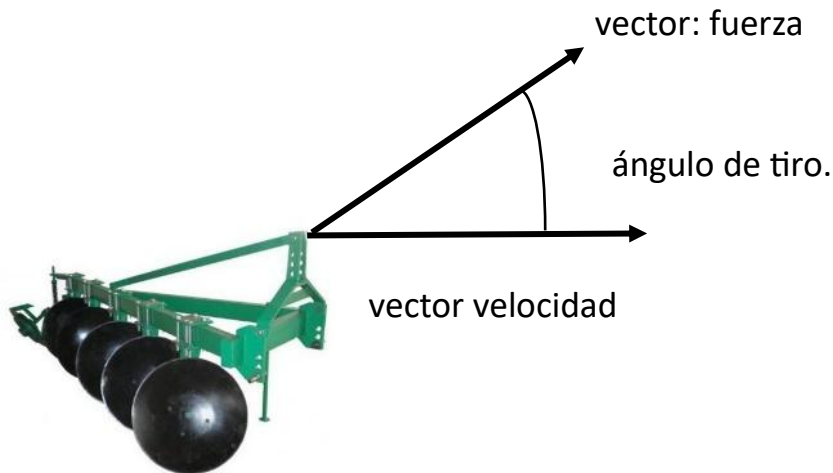
Φ = ángulo menor entre los vectores F y V

P = potencia (W).

La potencia de un motor o un tractor se mide mediante un instrumento especial llamado dinamómetro, con el cual se valora la velocidad (régimen de funcionamiento rpm) y la fuerza o torque.

Ejemplo 2:

Un tractor se desplaza horizontalmente con una velocidad de 15 Km/h y suministra una potencia de 30 hp, para desplazar un arado de 4 discos. El ángulo de tiro es 10° , entre la barra de tiro del tractor y el eje horizontal. Determine la fuerza que suministra el motor.



$$P = \vec{F}V \cos \Phi$$

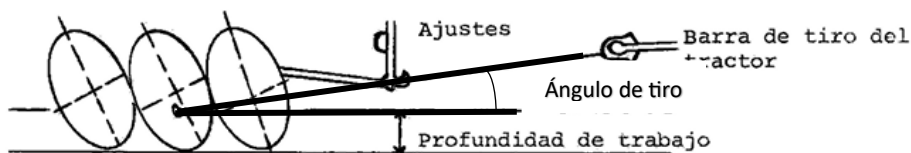
$$\vec{F} = \frac{P}{V \cos \Phi}$$

$$\vec{F} = \frac{30 (746 \text{ W})}{(4.16 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \cos 10}$$

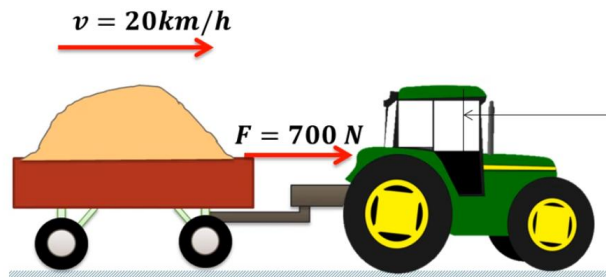
$$\vec{F} = \frac{30 (746 \text{ W})}{(4.16 \frac{\text{m}}{\text{s}}) (0.984)} \quad \vec{F} = 5,595 \text{ N}$$

$$\vec{F} = 5.59 \text{ KN}$$

detalle del ángulo de tiro



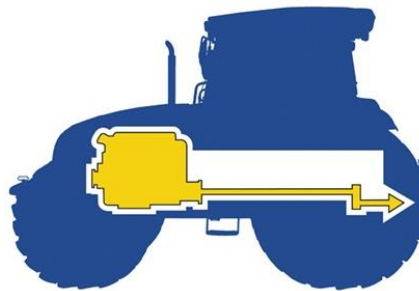
Otro ejemplo: Calcular la potencia que desarrolla el tractor, en relación a los datos que se presentan a continuación:



Dirección de los vectores: son colineales en el mismo sentido, por lo tanto, el ángulo entre los vectores es 0^0

Toma de fuerza de un tractor:

La toma de fuerza de un tractor agrícola (PTO), es el mecanismo que transmite la energía del motor del tractor a las máquinas conectadas a él.



En el campo de la ingeniería eléctrica, se utiliza el kilo Watt hora (KWh), entonces:

$$1 \text{ KWh} = (1,000 \text{ W}) (3,600 \text{ s})$$

$$1 \text{ KWh} = 3.6 \times 10^8 \text{ J}$$

En otras palabras, es la energía consumida en 1h.

Energía:

En la naturaleza la energía se manifiesta de diversas formas, como se mencionó anteriormente. Por ejemplo, mecánica, térmica o calorífica, elástica, eólica, química, etc. Entonces, una definición general de esta categoría o concepto superior es: *magnitud que mide el movimiento de la materia, en el marco de los fenómenos naturales.*

En este capítulo, sólo revisaremos lo relativo a la energía mecánica, en cursos posteriores estudiarán otros tipos de energía. Así como su transformación de un tipo a otro.

Energía mecánica:

Por lo anterior, ella representa una medida del movimiento mecánico de la materia. Se define como la suma aritmética de la energía potencial más cinética, es decir:

$$E = U + K$$

donde:

U= energía potencial

K= energía cinética

E= energía mecánica total

Energía potencial:

Como su nombre lo indica, se relaciona con la posición de un objeto con respecto a un nivel de referencia. En la naturaleza, este tipo de energía, también se manifiesta de diversas formas. Así tenemos, la potencial gravitatoria, la potencial elástica, la potencial eléctrica, etc.

En esta unidad, sólo abordaremos lo relativo a la energía potencia gravitatoria aplicada a la altura de depósitos de agua. Entonces, este tipo de energía la asociamos al campo gravitacional de la Tierra. Su expresión matemática es:

$$U_g = mgh$$

donde:

m= masa del objeto (Kg)

g = aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

h = altura con respecto a un nivel de referencia (m)

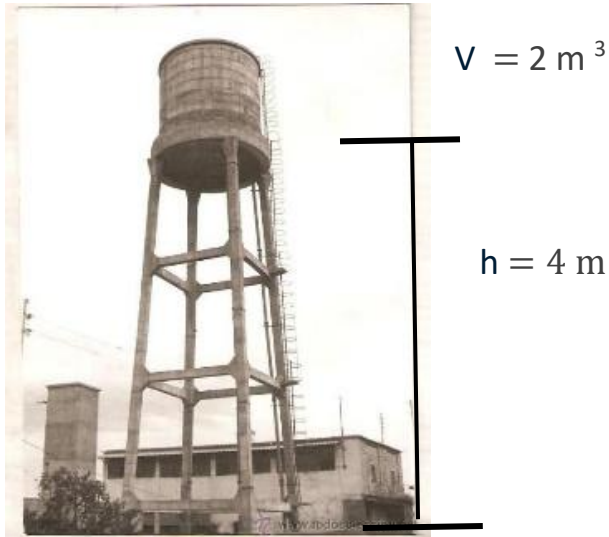
U_g = energía potencial gravitatoria.

La unidad de U_g en el SI es:

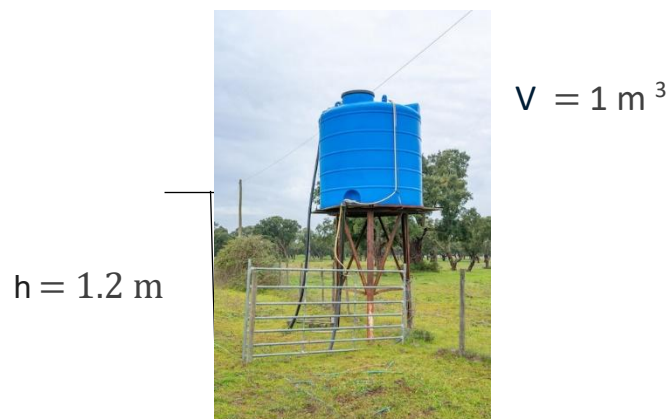
$$U_g = 1 \frac{\text{Kg m}}{\text{s}^2} \text{ m} \quad U_g = 1 \text{ N m.} \quad U_g = 1 \text{ J.}$$

Un ejemplo clásico de este tipo de energía es el siguiente:

1. Calcular la energía potencial gravitatoria almacenada en depósito de agua, como se muestra a continuación:



O también en el caso de un tanque elevado:



Entonces, la energía potencial gravitatoria aumenta con la altura, con respecto a un nivel de referencia.

Energía cinética (K):

Se manifiesta de una sola forma y representa el estado de movimiento de un cuerpo. Su definición es la siguiente: *un medio de la masa del objeto por el cuadrado de su velocidad*. Utilizando del lenguaje matemático tenemos:

$$k = \frac{1}{2} m \vec{v}^2$$

donde:

m= masa del objeto (Kg)

v= velocidad del objeto (m/s)

K = energía cinética.

La unidad de K en el SI es:

$$K = 1 \text{ Kg (m/s)}^2$$

$$K = 1 \text{ N m.}$$

$$K = 1 \text{ J.}$$

Ejemplo:

Un tractor se desplaza horizontalmente con una velocidad de 12 km/h. Si su masa es de una tonelada, determine su energía cinética.



$$k = \frac{1}{2} (1,000 \text{ Kg})(3.3 \text{ m/s})^2$$

$$K = 5,445 \text{ J}$$

Recuerde se tiene que hacer la transformación de unidades de: km/h a m/s.

Conservación de la energía mecánica:

Ya sabemos que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. La transformación implica que:

$$U \rightleftharpoons K$$

¿Cuándo se cumple la ley de conservación de la energía? sólo si en el sistema actúan fuerzas conservativas. ¿Qué es una fuerza conservativa? es aquella donde el trabajo neto realizado es cero en una trayectoria cerrada.

Por ejemplo: la fuerza de gravedad, la fuerza eléctrica, etc., son fuerzas conservativas. En cambio, la fuerza de fricción es no conservativa porque disipa la energía.

Además, existen otro tipo de fuerzas en el campo de la agronomía cuya función no es disipar energía; sino entregar energía a otro cuerpo. Por ejemplo, la tracción animal o la proporcionada por los motores o bombas.

Por lo anterior, la ecuación general de la conservación de la energía es:

$$E_a = E_b = E_c = \dots = E_n = \text{constante}$$

Aplicación de la energía a la pendiente de canales de riego:

La pendiente de un canal de riego, hace que el agua fluya con cierta velocidad; a mayor pendiente mayor velocidad del fluido. Por lo anterior, la conservación de la energía nos permite calcular la velocidad del agua por un canal; así como la rapidez del agua al llegar al suelo, que sale por un tubo que se encuentra a una altura determinada. Por ejemplo:

$$h = 80 \text{ cm}$$



$$v = \sqrt{2gh}$$

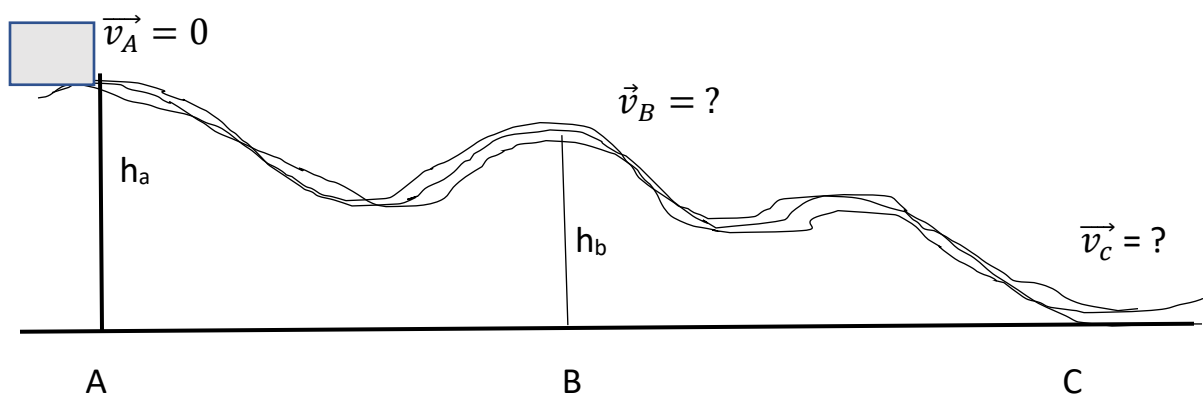
$$v = \sqrt{2(9.8 \text{ m/s}^2)(0.8 \text{ m})}$$

Esta ecuación también recibe el nombre de *Torricelli* y es bastante práctica en sistemas de riego.

Entonces, un canal es una estructura que transporta agua desde una fuente, como un río o embalse, hasta los cultivos. Así, por ejemplo, en un canal de escalera podemos utilizar la conservación de la energía determinar la velocidad del agua por el canal.



Canal de riego en escalera



$$\vec{v}_B = \sqrt{2g(h_A - h_B)}$$

$$\vec{v}_c = \sqrt{2g(h_A - h_c)}$$

Teorema del trabajo y la energía

Existe una relación entre los conceptos de trabajo mecánico y energía cinética, que se expresa por el siguiente teorema:

$$w = k - k_0 \qquad w = \frac{1}{2}m\vec{v}^2 - \frac{1}{2}m\vec{v}_0^2$$

Resumen:

En esta unidad didáctica, se han revisado los conceptos de *trabajo mecánico*, *potencia* y *energía mecánica*. Recuerde que la energía es una medida del movimiento de la materia en el marco de los fenómenos naturales. Y el trabajo mecánico, es la energía que un cuerpo transfiere a otro cuando existe una interacción entre ambos.

En ese sentido, la energía potencial depende de la posición de un cuerpo con respecto a un nivel de referencia. Y en cambio, la energía cinética depende del estado de movimiento del cuerpo.

Preguntas y problemas de refuerzo:

1. Haga la transformación de las siguientes magnitudes: a) 90 km/h a m/s
b) 20 m/s a km/h
2. ¿Cuál es la equivalencia de un Newton?
3. ¿Cuál es el significado del trabajo mecánico?
4. Escriba la definición operacional del trabajo mecánico.
5. ¿Cuál es la unidad de W en el SI?
6. Una fuerza de 60 N actúa sobre un bloque, en la misma dirección y sentido que el desplazamiento, como se indica en la figura. Calcular el trabajo realizado por la fuerza. Considere la fricción nula.



7. ¿Cuál es el significado de g y que valor tiene en la superficie terrestre?

8. Determina el trabajo realizado por la fuerza de gravedad, cuando se lanza verticalmente una piedra de 100 gr de masa y alcanza una altura de 1.5 m ¿Y cuándo los desciende?

Escriba la definición de la potencia y su expresión matemática.

9. ¿Cuál es la unidad de P en el SI? ¿Cuál es su equivalencia?

10. ¿Qué unidades prácticas para la potencia de un tractor?

11. Haga las siguientes conversiones de potencias: a) 40 hp a W b) 25 CV a W

12. Escriba la clasificación de los tractores en base a su potencia.

13. Un tractor utilitario de la marca John Deere tiene una potencia 35 hp. Realiza un trabajo en 30 minutos, en el cultivo de hortalizas ¿Qué trabajo realizó el motor?

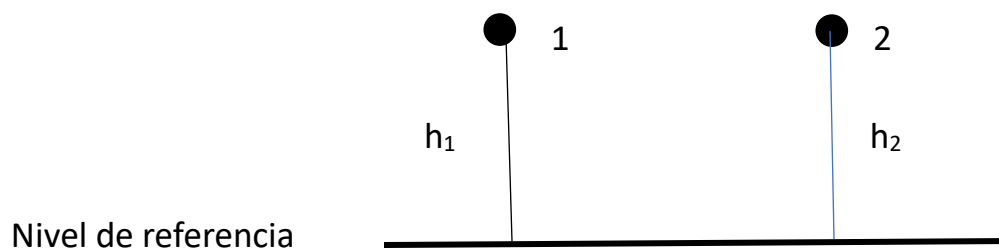
13. Escriba una definición de energía.

14. Señale algunas formas en que se manifiesta la energía en la naturaleza

15. Escriba la definición de la energía mecánica y su ecuación.

16. ¿De qué depende la energía potencial de un cuerpo? ¿Cuál es la expresión matemática para la energía potencial gravitatoria?

17. ¿Qué objeto tiene mayor energía potencial gravitatoria, el uno o el dos



18. Determina la energía potencial gravitatoria almacenada en un depósito de agua que tiene un volumen de 1.5 m^3 . Si se encuentra a una altura de 3 m con respecto al suelo.

19. ¿Cuál es la unidad de U en el SI?

20. ¿Qué significa la energía cinética? ¿Cuál es la expresión matemática?

21. ¿Cuál es la unidad de K en el SI?

22. Determine la velocidad del agua por los puntos B y C, del canal de riego escalonado que se muestra a continuación.

23. Escriba el teorema del trabajo y la energía cinética