



## TRABAJO. ENERGÍA. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN

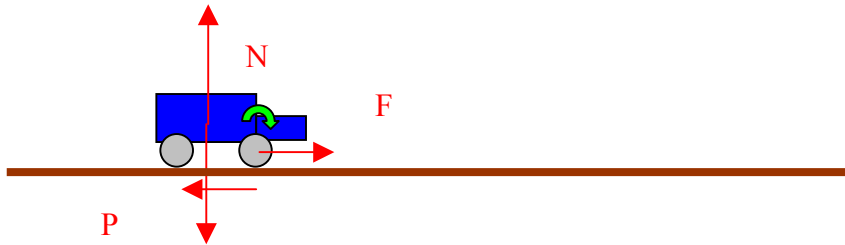
Un coche de 1150 kg (con el conductor incluido) que funciona con gasolina está situado en una carretera horizontal, arranca y acelerando uniformemente, alcanza la velocidad de 108 km/h a los 2 minutos. Luego mantiene esa velocidad hasta llegar a una cuesta por la que asciende hasta una altura de 100 m, manteniendo la misma velocidad. En el último tramo horizontal frena y se para a los 8 s. Se pide:

- Fuerza con la que interactúa el coche con la carretera durante el arranque y energía total consumida, sabiendo que, durante el mismo se han gastado por trabajos de rozamiento internos del motor, 100.000 J. ¿De qué naturaleza es la fuerza que permite “arrancar” y “acelerar” al coche? ¿Y cuando va por el tramo horizontal con velocidad constante?.
- Sabiendo que, en el segundo tramo, hasta subir la cuesta, se consumen otros 150.000 J por rozamientos internos del motor ¿Qué energía se consume en este tramo? ¿Es necesario el tiempo para su cálculo? ¿De dónde procede?.
- En el frenado ¿qué fuerza actúa sobre las ruedas del coche hasta pararlo? ¿Cuál es su valor? ¿Qué ocurre con la energía consumida en el frenado?
- Sabiendo que el poder energético de la gasolina es de 29896 kJ/litro ¿Cuánta gasolina hemos consumido en todo el trayecto, sabiendo que, el rendimiento de un motor de combustión interna como el del coche sólo es del 32%?. Datos.  $g = 9,8 \text{ N/Kg}$

Ante un problema de Mecánica, siempre podemos utilizar como estrategia para su resolución, los razonamientos **dinámico-cinemáticos** o los razonamientos **energéticos**. En los primeros utilizaremos las leyes de Newton y las ecuaciones cinemáticas conocidas. En los segundos, delimitando el sistema considerado, utilizaremos el principio de conservación de la energía y las expresiones de energía previamente conocidas. Siempre que, las fuerzas que actúen entre las masas del sistema dependan **de la posición** ( con lo que  $a=f(e)$ ) tendremos que limitarnos al razonamiento energético, ya que, en principio, desconoceremos las expresiones cinemáticas adecuadas. En los razonamientos energéticos, desaparece la variable “**tiempo**” y se relaciona posición con velocidad.

En el primer apartado de éste problema, parece estar claro que podemos utilizar los razonamientos cinemáticos en un principio. Durante el “arranque”, las fuerzas que actúan sobre el coche son: Su peso **P**, compensado con la reacción normal del plano horizontal (carretera) **N**, y una fuerza **F** que se debe a la interacción de las ruedas con el suelo. Esta fuerza actúa porque existe el **rozamiento estático** entre la rueda y el asfalto de la carretera. La combustión de la gasolina, al mover los émbolos de los cilindros,

hace que las ruedas giren en el sentido de las agujas del reloj. Al girar, por el rozamiento, la **rueda empuja el suelo hacia atrás, mientras que el suelo empuja a la rueda hacia delante**. Esta fuerza de tracción sobre las ruedas del coche, le comunica una aceleración que le permite “arrancar” y aumentar su velocidad.



Aplicado la ley de Newton  $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$

$\vec{N} + \vec{P} + \vec{F} = m \cdot \vec{a}$  como la fuerza resultante sólo es F podremos conocerla calculando la aceleración del movimiento:

Cuando  $t = 0$  ,  $v_0 = 0$  y cuando  $t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$  la velocidad es  $v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$  , luego .

$$v = v_0 + a \cdot t \quad 30 = 0 + a \cdot 120 \quad , \text{ de donde } a = 0'25 \text{ m/s}^2$$

Luego la fuerza que actúa sobre del coche, (debido al rozamiento con el suelo) es:

$$\mathbf{F = m \cdot a = 1150 \cdot 0'25 = 287'5 \text{ N}}$$

La energía total consumida será el trabajo realizado por esa fuerza, más la energía consumida en rozamientos internos del motor:

$W = F \cdot e$  como el movimiento es uniformemente acelerado sin velocidad inicial,

$e = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} 0'25 \cdot 120^2 = 1800 \text{ m}$  , luego el trabajo realizado para aumentar la velocidad del coche será:

$$W = 287'5 \cdot 1800 = 517500 \text{ Julios}$$

Luego la energía total consumida será ésta más 100000J con sumidos en rozamientos internos del motor, es decir:

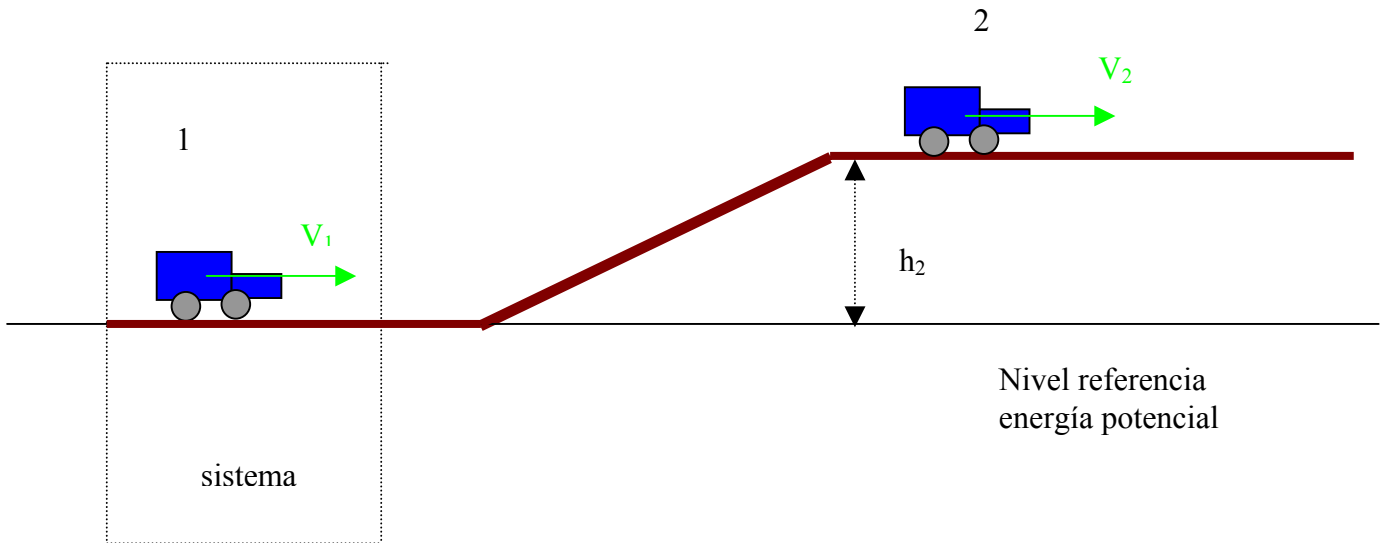
$$\Delta E = - 617500 \text{ J}$$

Mientras la velocidad del coche permanezca constante,  $\mathbf{a = 0}$  y por tanto  $\mathbf{F = 0 \text{ N}}$ .

b) En el segundo tramo mientras mantiene la velocidad y luego sube la cuesta, vamos a utilizar un razonamiento energético. Para ello, lo primero será delimitar el “sistema”. Nuestro “sistema” será: el coche, la Tierra (con la carretera y la cuesta), y la gasolina. En este sistema podemos hablar de Energía cinética del coche, de Energía potencial del

mismo (para lo cual estableceremos un sistema de referencia), de Energía térmica del motor caliente y, de la ENERGÍA QUÍMICA de la gasolina. Como el sistema es AISLADO, es decir no intercambia energía con el “exterior”, podemos establecer el principio de conservación de la energía como:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta E_t + \Delta E_{química} = 0 \quad \text{entre los puntos 1 y 2 del sistema}$$



Como la velocidad en el punto 1,  $v_1$ , es igual a la velocidad en el punto 2,  $v_2$ , el incremento de energía cinética entre esos dos puntos será cero. Para la energía potencial, según nuestro nivel de referencia,  $h_1 = 0$  y  $h_2 = 100 \text{ m}$  la energía gastada en el trabajo de rozamiento de los mecanismos del motor, como nos dicen es de 150000 J, y la energía que se consume en éste tramo será la energía química de la gasolina.

$$\left( \frac{1}{2} m.v_2^2 - \frac{1}{2} m.v_1^2 \right) + (m.g.h_2 - m.g.h_1) + \Delta E_t + \Delta E_{química} = 0$$

$$0 + (1150.9'8.100 - 0) + 150000 + \Delta E_{química} = 0$$

de donde la energía total consumida en éste tramo será:

$$\Delta E_{química} = - 1277000 \text{ J}$$

Naturalmente procede de la combustión de la gasolina En todo razonamiento energético, no es necesario conocer el tiempo “t” en el que se produce el proceso.

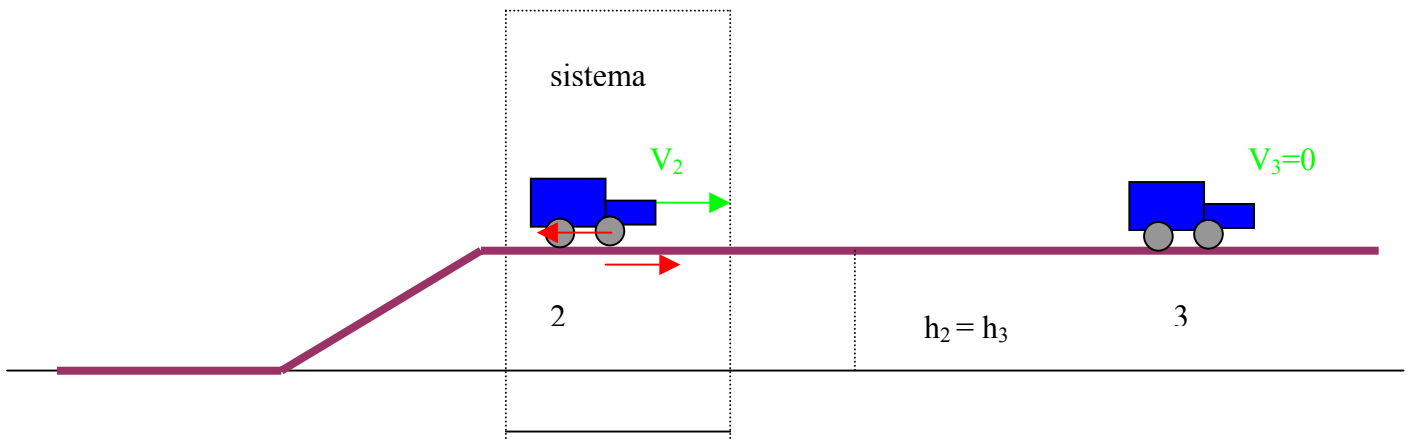
c) En el frenado por el nuevo tramo horizontal, el coche, con los frenos, fija el giro de las ruedas (dejan de girar) y, en esas condiciones **deslizan sobre el pavimento, apareciendo sobre las mismas, una FUERZA DE ROZAMIENTO POR**

**DESLIZAMIENTO (debido a la interacción con el suelo), en sentido contrario al del movimiento.** La energía consumida en el frenado hasta pararse se convierte en energía térmica que aumenta la temperatura de las ruedas y del pavimento y en deformaciones permanentes en las ruedas.

Si razonamos energéticamente, no necesitaremos el dato del tiempo de frenado, y, podemos resolverlo:

Nuestro “sistema” ahora será: el coche , la Tierra con la carretera horizontal. No es necesario considerar a la gasolina, que no se consume en el frenado. El principio de conservación de la energía entre los puntos 2 y 3 será:

$$\left( \frac{1}{2} m.v_3^2 - \frac{1}{2} m.v_2^2 \right) + (m.g.h_3 - m.g.h_2) + \Delta E_t = 0$$



Substituyendo valores:

$$(0 - \frac{1}{2} \cdot 1150 \cdot 30^2) + 0 + \Delta E_{\text{térmica}} = 0$$

$$\Delta E_{\text{térmica}} = 517500 \text{ J}$$

Si, al conocer el tiempo del frenado, hacemos un **razonamiento dinámico-cinemático**, este sería:

Si de una velocidad de 30 m/s cuando t=0, pasamos a una velocidad de 0 m/s a los t=8s, la aceleración habrá sido:

$$0 = 30 + a \cdot 8 \quad a = -3'75 \text{ m/s}^2 \quad \text{con lo que, la fuerza de rozamiento por deslizamiento de la rueda bloqueada con el suelo será de:}$$

$$F = m \cdot a = 1150 \cdot (-3'75) = -4312'5 \text{ N}$$

El espacio recorrido durante el frenado será:

$$e = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 30 \cdot 8 + \frac{1}{2} (-3'75) \cdot 8^2 = 120 \text{ m}$$

Luego el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento por deslizamiento que ejerce el suelo sobre el coche será:

$$W_{\text{rozamiento}} = F \cdot e \cdot \cos \alpha = 4312'5 \cdot 120 \cdot \cos 180^\circ = - 517500 \text{ J}$$

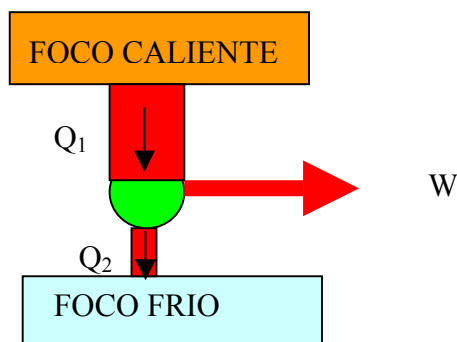
Trabajo que se invierte en aumentar la temperatura de las ruedas y del suelo además de producir deformaciones permanentes en los mismos. Es lo que en el razonamiento anterior llamábamos  $\Delta E_{\text{térmica}}$ .

- e) Para calcular la gasolina consumida en todo el proceso, sabiendo que su poder energético es de 29896 kJ/kg, hemos de calcular la energía total consumida en:
- Aumentar la energía cinética del coche.
  - Aumentar su energía potencial.
  - Aumentar la energía térmica del motor al calentarlo en todo el proceso

En el proceso de frenado no se consume energía química de la gasolina

$$\Delta E_{\text{química}} = - 617500 + (- 1277000) = - 1894500 \text{ J} = - 1894'5 \text{ kJ}$$

Un motor de combustión interna como el de un coche, es una máquina térmica de bajo rendimiento. Actúa entre dos focos de calor, uno a elevada temperatura  $T_1$  que es el que se produce cuando se quema la gasolina y se produce  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en el interior de los cilindros, y otro foco de calor a baja temperatura  $T_2$  que será el exterior del coche donde se expulsan los gases (aún calientes), después de haber realizado el trabajo  $W$  al mover los émbolos de los cilindros. Al calentar el motor y expulsar los gases calientes, se pierde el 68% de la energía producida por la gasolina al quemarse, y sólo el 32% se convierte en trabajo  $W$  realizado por la máquina.



El rendimiento de ésta máquina, será: el trabajo total realizado por la misma partido por la energía total que ha salido del foco caliente (combustión de la gasolina) multiplicado por 100.

El nuestro caso, el trabajo total realizado por el coche, corresponde al incremento de su energía cinética más el incremento de su energía potencial, más la energía que se traduce en mover el motor, en total:

$$W = 1894'5 \text{ kJ}$$

Teniendo en cuenta de rendimiento del motor, que es sólo del 32%

$$32 = \frac{W}{Q_1} \cdot 100 \quad Q_1 = \frac{1894'5}{32} \cdot 100 = 5920'3 \text{ kJ}$$

Esta será pues la energía que nos ha proporcionado la combustión de la gasolina , y como su equivalente energético es de 29896 kJ/litro, el volumen consumido de gasolina será:

$$V = \frac{5920'3 \text{ kJ}}{29896 \text{ kJ / litro}} = 0'198 \text{ litros}$$

Mientras el coche frena y se para en 8s, la energía que se había convertido en cinética del coche al realizar trabajo sobre él, desaparece como tal y se convierte en energía térmica aumentando la temperatura de las ruedas y del suelo y, hasta produciendo deformaciones permanentes en las ruedas.

Como hemos visto, todo funcionamiento de una máquina térmica como el coche, supone una “degradación” de la energía, pues, de la energía química de la gasolina, perdemos una gran cantidad calentando (aumentando la temperatura) de los alrededores, energía que debido al movimiento desordenado de las partículas, es muy difícil de utilizar, es decir, está muy degradada. Se aumenta la ENTROPÍA del conjunto.

En nuestro caso, después de frenar el coche, la única energía que nos queda útil, es la potencial de haber subido la cuesta de 100 m.