



## Capítulo 8

### Conservación de la Energía



Un saltador con pértiga (garrocha) adquiere energía cinética al correr hacia la barra alta. Cuando apoya la pértiga y pone su peso sobre ella, su energía cinética se transforma: primero en energía potencial elástica de la pértiga arqueada y luego en energía potencial gravitacional al elevarse su cuerpo. Cuando cruza la barra, la pértiga está recta y ha cedido toda su energía potencial elástica, transformada en energía potencial gravitacional, al atleta. Casi toda la energía cinética de éste desaparece transformándose también en energía potencial gravitacional de su cuerpo a la gran altura de la barra (récord mundial de más de 6 m), que es exactamente lo que busca. En estas y todas las demás transformaciones de energía que continuamente tienen lugar en el mundo, la energía total siempre se conserva. De hecho, la conservación de la energía es una de las grandes leyes de la física, y se aplica en una amplia gama de áreas.

### Unidades del Capítulo 8

- Fuerzas Conservativas y NO Conservativas
- Energía Potencial
- Energía Mecánica y su conservación
- Resolviendo problemas usando la Conservación de la Energía Mecánica
- La Ley de la Conservación de la Energía
- Conservación de la Energía con Fuerzas Disipativas: Resolviendo Problemas

## Unidades del Capítulo 8

- Energía Potencial Gravitacional y Velocidad de Escape
- Potencia
- Diagramas de Energía Potencial; Equilibrio Estable e Inestable

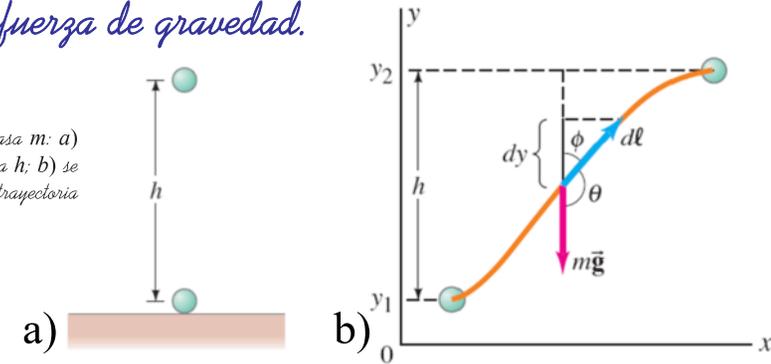
## 8-1 Fuerzas Conservativas y No Conservativas

Una fuerza es conservativa si:

El trabajo hecho por la fuerza sobre un objeto que se mueve desde un punto a otro depende solamente de las posiciones inicial y final del objeto, y es independiente de cualquier camino particular tomado.

Ejemplo: la fuerza de gravedad.

FIGURA 8-1 Objeto de masa  $m$ : a) cae verticalmente una altura  $h$ ; b) se eleva a lo largo de una trayectoria bidimensional arbitraria.



Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D

## 8-1 Fuerzas Conservativas y No Conservativas

Otra definición de una fuerza conservativa:

Una fuerza es conservativa si el trabajo neto hecho por la fuerza sobre un objeto que se mueve a lo largo de una trayectoria cerrada es cero.

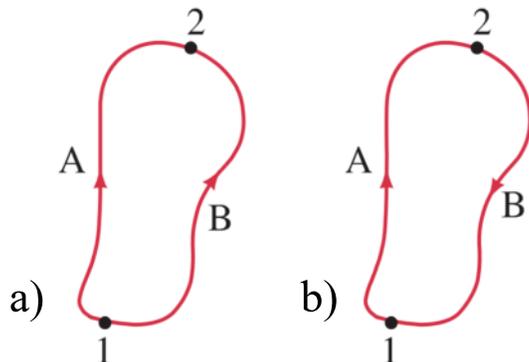


FIGURA 8-2 a) Un objeto pequeño se mueve entre los puntos 1 y 2 a lo largo de dos trayectorias diferentes, A y B. b) El objeto hace un viaje redondo, por la trayectoria A del punto 1 al punto 2, y por la trayectoria B de regreso al punto 1.

## 8-1 Fuerzas Conservativas y No Conservativas

Si la fricción está presente, el trabajo hecho depende no solo de los puntos de partida y llegada, sino también del camino tomado. La fricción es llamada una fuerza no conservativa.

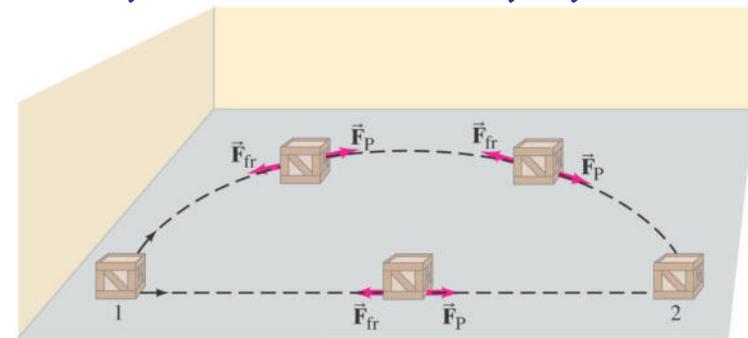


FIGURA 8-3 Un cajón es empujado a rapidez constante por un piso rugoso de la posición 1 a la posición 2 a lo largo de dos trayectorias, una recta y otra curva. La fuerza de empuje  $\vec{F}_p$  actúa siempre en la dirección del movimiento. (La fuerza de fricción se opone al movimiento). Por consiguiente, para una fuerza de empuje de magnitud constante, el trabajo efectuado por ésta es  $W = F_p d$ , de manera que si  $d$  es mayor (como para la trayectoria curva), entonces  $W$  también será mayor. El trabajo realizado no sólo depende de los puntos 1 y 2: depende también de la trayectoria seguida.

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D

## 8-1 Fuerzas Conservativas y No Conservativas

**TABLA 8-1 Fuerzas conservativas y fuerzas no conservativas**

Fuerzas conservativas	Fuerzas no conservativas
Gravitacional	Fricción
Elástica	Resistencia del aire
Eléctrica	Tensión sobre una cuerda
	Motor o propulsión de un cohete
	Empujón o jalón de una persona

La energía potencial se puede definir solamente para fuerzas conservativas.

## 8-2 Energía Potencial

Un objeto puede tener energía potencial debido a su entorno.

Ejemplos familiares de energía potencial:

- Un resorte comprimido
- Una banda elástica estirada
- Un objeto a cierta altura por encima del suelo

## 8-2 Energía Potencial

Si una masa  $m$  es elevada hasta una altura  $h$ , el trabajo hecho por la fuerza externa es

$$W_{\text{ext}} = \vec{F}_{\text{ext}} \cdot \vec{d} = mgh \cos 0^\circ = mgh = mg(y_2 - y_1)$$

Se define así la energía potencial gravitacional a una altura  $y$  arriba del punto de referencia:

$$U_{\text{grav}} = mgy$$

## 8-2 Energía Potencial

La energía potencial puede convertirse en energía cinética si el objeto es soltado.

La energía potencial es una propiedad de un sistema en su conjunto, no solo del objeto (ya que depende de fuerzas externas).

¿Si  $U_{\text{grav}} = mgy$ , desde dónde debes medir  $y$  ?

Resulta que no importa, siempre y cuando la elección de escoger  $y = 0$  sea consistente. Solamente los cambios de energía potencial se pueden medir.

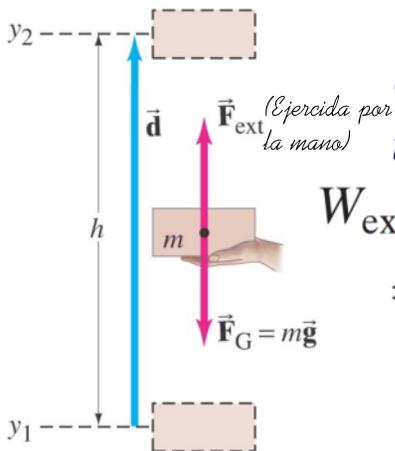


FIGURA 8-4 Una persona ejerce una fuerza hacia arriba  $F_{\text{ext}} = mg$  para levantar un ladrillo de  $y_1$  a  $y_2$ .

## 8-2 Energía Potencial

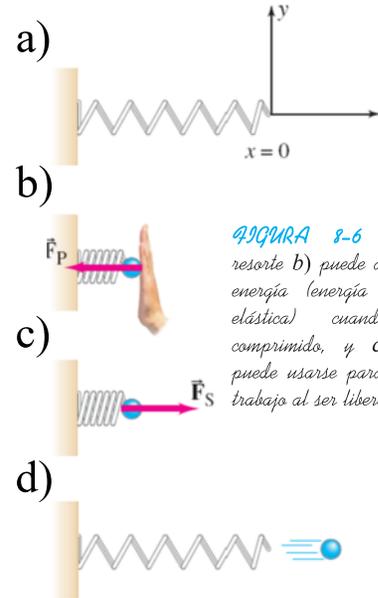
Definición General de la Energía Potencial Gravitacional:

$$\Delta U = -W_G = - \int_1^2 \vec{F}_G \cdot d\vec{\ell}$$

Para alguna Fuerza Conservativa:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = - \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = -W$$

## 8-2 Energía Potencial



Un resorte tiene una energía potencial, llamada energía potencial elástica, cuando éste es deformado. La fuerza requerida para comprimir o estirar un resorte es:

$$F_S = -kx$$

donde  $k$  es llamada la constante del resorte (rigidez), y necesita ser medida para cada resorte.

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D

## 8-2 Energía Potencial

Entonces la energía potencial es:

$$\Delta U = U(x) - U(0)$$

$$= - \int_1^2 \vec{F}_S \cdot d\vec{\ell} = - \int_0^x (-kx) dx = \frac{1}{2} kx^2$$

$$U_{el}(x) = \frac{1}{2} kx^2$$

## 8-2 Energía Potencial

En una dimensión,

$$U(x) = - \int F(x) dx + C$$

Puedes "invertir" esta ecuación para encontrar  $U(x)$  si conoces  $F(x)$ :

$$F(x) = - \frac{dU(x)}{dx}$$

En tres dimensiones:

$$\vec{F}(x, y, z) = -\hat{i} \frac{\partial U}{\partial x} - \hat{j} \frac{\partial U}{\partial y} - \hat{k} \frac{\partial U}{\partial z}$$

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D

### 8-3 Energía Mecánica y su Conservación

En ausencia de fuerzas no-conservativas, la suma de los cambios en la energía cinética y energía potencial es cero—los cambios de la energía cinética y potencial son iguales pero opuestos en signo.

Entonces se define la energía mecánica total:

$$E = K + U$$

y su conservación:

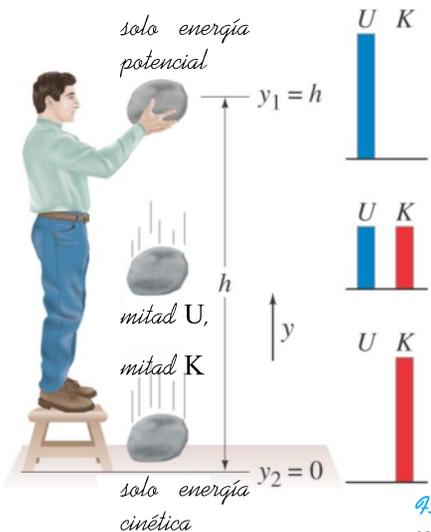
$$K_2 + U_2 = K_1 + U_1$$

### 8-3 Energía Mecánica y su Conservación

El principio de la conservación de la energía mecánica:

Si solamente fuerzas conservativas hacen trabajo, la energía mecánica total de un sistema nunca se incrementa ni decrece en cualquier proceso. Permanece constante—se conserva.

### 8-4 Resolviendo Problemas Utilizando la Conservación de la Energía Mecánica



En la imagen de la izquierda, la energía mecánica total en cualquier punto es:

$$E = K + U$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + mgy$$

FIGURA 8-7 La energía potencial de la piedra cambia a energía cinética al caer. Observa que las gráficas de barras representan energía potencial U y energía cinética K para las tres posiciones diferentes.

### 8-4 Resolviendo Problemas Utilizando la Conservación de la Energía Mecánica

¿Qué utilizarás para resolver problemas?

Las leyes de Newton: son mejores cuando las fuerzas son constantes

El trabajo la energía: son buenos cuando las fuerzas son constantes; pero también son útiles cuando las fuerzas no son constantes.

El trabajo y la energía facilitan los cálculos cuando las fuerzas son no constantes respecto a las leyes de Newton

## 8-4 Resolviendo Problemas Utilizando la Conservación de la Energía Mecánica

FIGURA 8-10 Transformación de energía durante un salto con pértiga.



FIGURA 8-11 Flexionando el cuerpo, un saltador con pértiga puede mantener su centro de masa tan bajo que puede pasar aun por debajo de la barra. Cambiando su energía cinética (al correr) en energía potencial gravitacional ( $=mgy$ ) de esta forma, los saltadores con pértiga podrían librar una barra más alta, que si el cambio en energía potencial ocurriera sin tener que flexionar cuidadosamente el cuerpo.

## 8-5 La ley de Conservación de la Energía

Fuerzas No-conservativas, o disipativas:

Fricción

Calor

Energía Eléctrica

Energía Química

y más...

no se conservan como energías individuales. Sin embargo, cuando estas fuerzas se toman como una cantidad, la energía total aún se conserva:

$$\Delta K + \Delta U + [\text{cambio en todas las otras formas de energía}] = 0.$$

## 8-5 La ley de Conservación de la Energía

La ley de la conservación de la energía es aún uno de los más importantes principios en la física.

La energía total nunca se incrementa ni desaparece en un proceso. La energía puede ser transformada de una forma a otra, y transferida desde un objeto a otro, pero la cantidad total permanece constante.

## 8-5 La ley de Conservación de la Energía

De acuerdo con la teoría atómica, la energía térmica representa energía cinética de moléculas que se mueven rápidamente.

A un nivel macroscópico, la energía interna corresponde a fuerzas no conservativas como la fricción.



Al nivel atómico, sin embargo, la energía es parcialmente cinética y potencial, y las fuerzas correspondientes son conservativas.

FIGURA 8-15 Al quemarse el combustible (una reacción química) se libera energía para hervir agua en esta locomotora. El vapor producido se expande contra un pistón que efectúa trabajo al mover las ruedas

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas Disipativas: Resolviendo Problemas

Resolviendo Problemas:

1. Traza un diagrama.
2. Determina el sistema para el cual se aplicará la conservación de la energía.
3. Desde el diagrama pregúntate que cantidad estás buscando, y elige las posiciones inicial y final.

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas Disipativas: Resolviendo Problemas

4. Elige un sistema de referencia adecuado.
5. Aplica la conservación de la energía.
6. Resuelve.

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas Disipativas: Resolviendo Problemas

Si eliges como sistema una partícula ó un objeto rígido, sobre el cual actúen en verdad fuerzas externas, entonces tú puedes usar el principio trabajo-energía: el trabajo efectuado por las fuerzas externas sobre su objeto es igual al cambio en su energía cinética.

Considera, por ejemplo, un resorte conectado a un bloque sobre una mesa sin fricción (Fig. 8-16). Si eliges el bloque como tu sistema, entonces el trabajo realizado sobre el bloque por el resorte es igual al cambio en energía cinética del bloque: el principio trabajo-energía. (La conservación de la energía no se aplica a este sistema, pues la energía del bloque cambia.)

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas Disipativas: Resolviendo Problemas

Si en vez de ello, eliges el bloque más el resorte como tu sistema, ninguna fuerza externa realiza trabajo (pues el resorte es parte del sistema elegido).

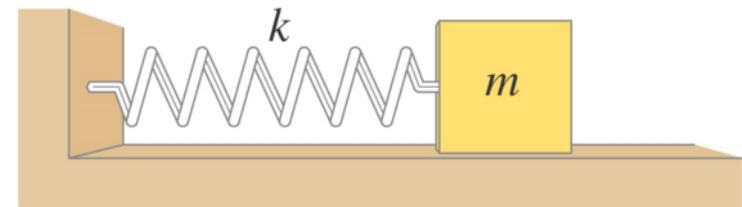


FIGURA 8-16 Un resorte conectado a un bloque sobre una mesa sin fricción. Si eliges tu sistema como el bloque más el resorte, entonces, se conserva:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas

### Disipativas: Resolviendo Problemas

Considera ahora en detalle algunos ejemplos que contienen fuerzas no conservativas.

Por ejemplo, supón que el carro de la montaña rusa que rueda sobre las colinas de la Figura 8-17 está sometido a fuerzas de fricción. Al pasar de un punto 1 a un segundo punto 2, la energía disipada por la fuerza de fricción

$$\int_1^2 \vec{F}_{fr} \cdot d\vec{\ell}.$$

$$\Delta K + \Delta U + F_{fr} \ell = 0,$$

$$\frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) + mg(y_2 - y_1) + F_{fr} \ell = 0.$$

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas

### Disipativas: Resolviendo Problemas

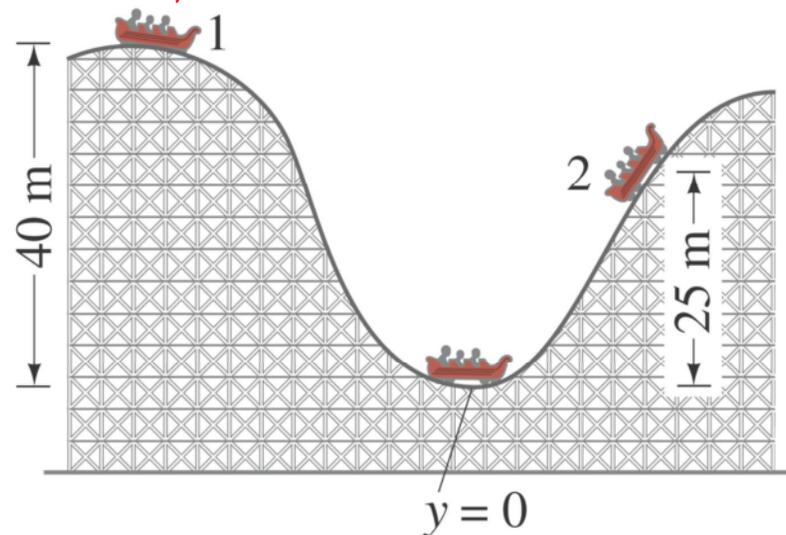


FIGURA 8-17 A causa de la fricción, un carro de montaña rusa no alcanza la altura original sobre la segunda colina. (No está a escala).

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D.

## 8-6 Conservación de la energía con fuerzas

### Disipativas: Resolviendo Problemas

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + m g y_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + m g y_2 + F_{fr} \ell. \quad \left[ \begin{array}{l} \text{actúan gravedad} \\ \text{y fricción} \end{array} \right]$$

es decir  $E_1 = E_2$

energía inicial = energía final (incluida la energía térmica).

La ley de la conservación de la energía es más general y más poderosa que el principio trabajo-energía. De hecho, el principio trabajo-energía no debería considerarse un enunciado de la conservación de la energía. Sin embargo, es útil para algunos problemas mecánicos; y si tú la usas, ó utilizas la más poderosa la conservación de la energía, esto dependerá de tu elección del sistema en estudio.

## 8-7 Energía Potencial Gravitacional y Velocidad de Escape

Lejos de la superficie de la Tierra, la fuerza de gravedad no es constante:

$$\vec{F} = -G \frac{m M_E}{r^2} \hat{r}$$

El trabajo hecho sobre un objeto moviéndose dentro del campo gravitacional de la Tierra está dado por:

$$W = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = -G m M_E \int_1^2 \frac{\hat{r} \cdot d\vec{\ell}}{r^2}$$

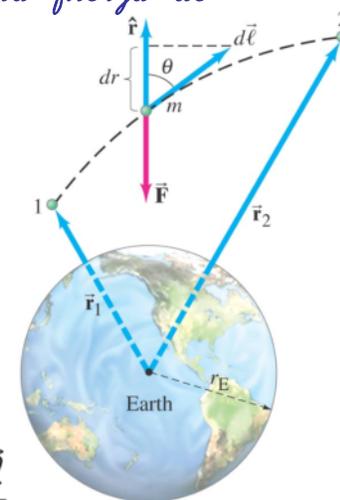


FIGURA 8-19 Trayectoria arbitraria de una partícula de masa  $m$  al moverse del punto 1 al punto 2.

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D.

Capítulo 8. Física Básica. Marlon Basantes Valverde, Ph.D.

## 8-7 Energía Potencial Gravitacional y Velocidad de Escape

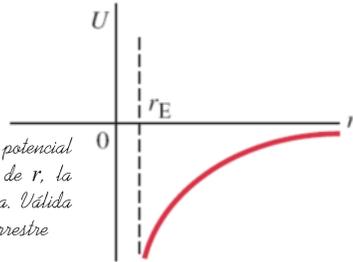
Resolviendo la integral se tiene:

$$W = \frac{GmM_E}{r_2} - \frac{GmM_E}{r_1}$$

Puesto que el valor de la integral depende solamente de los puntos inicial y final, la fuerza gravitacional es conservativa y se puede definir así la energía potencial gravitacional:

$$U(r) = -\frac{GmM_E}{r}$$

**FIGURA 8-20** Energía potencial gravitacional graficada en función de  $r$ , la distancia desde el centro de la Tierra. Válida sólo para puntos  $r > r_E$  el radio terrestre



## 8-7 Energía Potencial Gravitacional y Velocidad de Escape

Si la energía cinética inicial de un objeto es igual a la energía potencial en la superficie de un planeta, su energía total será cero. La velocidad para la cual esto es verdad es llamada velocidad de escape; para la Tierra:

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{2GM_E/r_E} = 1.12 \times 10^4 \text{ m/s}$$

o en notación más manejable  $v_{\text{esc}} = 11.2 \text{ km/s}$ .

## 8-8 Potencia

La Potencia es la razón para la cual el trabajo es realizado. La potencia media:

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

La Potencia Instantánea:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

En el sistema SI, las unidades de la potencia son los watts:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

## 8-8 Potencia

La potencia puede ser descrita también como la razón a la cual la energía es transformada:

$$P = \frac{dE}{dt}$$

En el sistema Británico, la unidad básica para la potencia es el pie-libra por segundo, pero se usa más a menudo el caballo de fuerza:

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft}\cdot\text{lb/s} = 746 \text{ W.}$$

## 8-8 Potencia

La Potencia también es necesaria para la aceleración y para el movimiento en contra de la fuerza de fricción.

La potencia puede ser escrita en términos de la fuerza neta y de la velocidad:

$$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{\ell}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

## Resumen del Capítulo 8

- Fuerzas conservativas: el trabajo sólo depende de los puntos inicial y final.

- Energía Potencial de Gravedad

$$U_{\text{grav}} = mgy$$

- Energía Potencial Elástica:  $U_{\text{el}} = \frac{1}{2} kx^2$

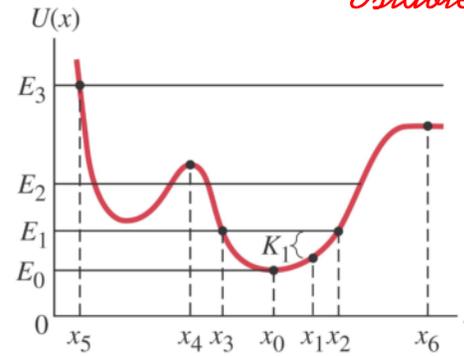
- Para alguna Fuerza Conservativa:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = - \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{\ell}$$

- Invertiendo,

$$F = - \frac{dU(x)}{dx}$$

## 8-9 Diagramas de Energía Potencial; Equilibrio Estable e Inestable



Este es un diagrama de energía potencial para una partícula moviéndose bajo la influencia de una fuerza conservativa. Su comportamiento será determinado por su energía total.

FIGURA 8-23 Un diagrama de energía potencial.

Con una energía  $E_1$ , el objeto oscila entre  $x_3$  y  $x_2$ , llamados puntos de cambio. Un objeto con energía  $E_2$  tiene cuatro puntos de cambio; un objeto con energía  $E_0$  está en equilibrio estable. Un objeto en  $x_4$  está en equilibrio inestable.

## Resumen del Capítulo 8

- La Energía Mecánica Total es la suma de las energías: cinética y potencial.

- Tipos adicionales de energía son involucradas cuando actúan fuerzas no-conservativas.

- La energía total (incluidas todas las formas) se conserva.

- Energía potencial gravitacional:

$$U(r) = - \frac{GmM_E}{r}$$

## Resumen del Capítulo 8

• Potencia: razón a la cual el trabajo es hecho, o la energía es transformada:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dE}{dt}$$

ó

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

