MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO

MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO (MUA)

Movimiento parabólico. Llamamos *movimiento parabólico* al movimiento cuya trayectoria está contenida en una parábola. Por estar una parábola contenida en un plano, se tiene que el movimiento parabólico es un movimiento plano. Recordamos que la gráfica de una parábola cuyo eje de simetría sea el eje y o sea paralelo al eje y tiene por ecuación:

$$y = ax^2 + bx + c$$

donde a, b y c son constantes reales y $a \neq 0$.

Movimiento uniformemente acelerado (MUA). Nosotros llamaremos *movimiento uniformemente acelerado MUA* a aquel cuyo vector aceleración es constante no nulo a lo largo del tiempo.

$$\boxed{MUA = [\vec{a} = cte \neq \vec{0}]}$$

Se verifica lo siguiente: un MUA siempre es un movimiento plano; en particular, es un movimiento parabólico o un MRUA. Dicho plano será el que contenga: (1) el punto posición inicial de la partícula, (2) el vector aceleración $\vec{a}$ y (3) el vector velocidad inicial $\vec{v}_0$ (situando el origen de los dos vectores en el punto posición inicial). De esta manera, las ecuaciones del MUA son:

$x = x_0 + v_{x,0}t + \frac{1}{2}a_x t^2$	$y = y_0 + v_{y,0}t + \frac{1}{2}a_y t^2$
$v_x = v_{x,0} + a_x t$	$v_y = v_{y,0} + a_y t$
$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = cte$	$a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = cte$
$v_x^2 - v_{x,0}^2 = 2a_x(x - x_0)$	$v_y^2 - v_{y,0}^2 = 2a_y(y - y_0)$

Tenemos los siguientes casos cuando $\vec{a} = cte$:

- Si $\vec{a} \neq \vec{0}$, $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$ y $\vec{a}$ y $\vec{v}_0$ tienen distinta dirección, entonces es un movimiento parabólico.
- Si $\vec{a} \neq \vec{0}$, $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$ y $\vec{a}$ y $\vec{v}_0$ tienen la misma dirección, entonces es un MRUA.
- Si $\vec{a} \neq \vec{0}$ y $\vec{v}_0 = \vec{0}$, entonces es un MRUA.
- Si $\vec{a} = \vec{0}$, $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$, entonces es un MRU.
- Si $\vec{a} = \vec{0}$ y $\vec{v}_0 = \vec{0}$, entonces está en reposo.

Demostración de las ecuaciones del MUA. Puesto que sabemos que el MUA es un movimiento plano, tendremos eje x y eje y. El hecho $\vec{a} = cte$ significa que $a_x = cte$ y $a_y = cte$. Luego es como si tuviésemos un MRUA en el eje x y un MRUA en el eje y; de ahí las ecuaciones. ■

Demostración de los subcasos $\vec{a} = cte$. Partiendo de que un MUA es un MP vamos a probar que un MUA ($\vec{a} = cte \neq \vec{0}$) es un movimiento parabólico o un MRUA.

Como $\vec{a} = cte \neq \vec{0}$ elegimos el eje y de manera que (1) tenga la misma dirección que $\vec{a}$ y (2) contenga a la partícula en el instante inicial. Haciéndolo así se cumple: $a_x = 0$, $a_y = cte \neq 0$ y $x_0 = 0$. Tenemos, por tanto:

$$x = v_{x,0}t \ ; \quad y = y_0 + v_{y,0}t + \tfrac{1}{2}a_y t^2$$

Supongamos que $v_{x,0} \neq 0$ (lo que se traduce en que $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$ y tiene distinta dirección que $\vec{a}$). En tal caso, despejamos t de la primera ecuación $t = \frac{x}{v_{x,0}}$ y lo introducimos en la segunda obteniendo:

$$y = y_0 + v_{y,0}\left(\frac{x}{v_{x,0}}\right) + \frac{1}{2}a_y\left(\frac{x}{v_{x,0}}\right)^2$$

Trabajando la expresión anterior obtenemos:

$$y = \left(\frac{a_y}{2v_{x,0}^2}\right)x^2 + \left(\frac{v_{y,0}}{v_{x,0}}\right)x + y_0$$

que, como vemos, es la ecuación de una parábola al ser el coeficiente de x^2 distinto de 0.

Supongamos ahora que $v_{x,0} = 0$, lo que se traduce en que $\vec{v}_0 = \vec{0}$ o que $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$ pero tiene la misma dirección que $\vec{a}$. En este caso la ecuación $x = v_{x,0}t$ se transforma en $x = 0$. Luego la trayectoria está contenida en el eje y, lo que significa que el movimiento es rectilíneo. Además, como $y = y_0 + v_{y,0}t + \frac{1}{2}a_y t^2$, se tiene que es un MRUA.

Se deja a cargo del lector probar que los casos en que $\vec{a} = \vec{0}$. ■

MOVIMIENTO DE TIRO PARABÓLICO

Movimiento de tiro parabólico. Llamamos *movimiento de tiro parabólico*, *tiro parabólico* o *tiro oblicuo* al movimiento que experimenta una partícula al ser lanzada en el vacío con una velocidad inicial no nula ni vertical.

Se observa que en el tiro parabólico todas las partículas sufren la misma aceleración constante independientemente de su masa. Esta aceleración constante es vertical hacia abajo de módulo g = 9,8 m/s^2. Luego un tiro parabólico es un MUA que verifica $\vec{a} \neq \vec{0}$ y $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$, teniendo ambos distinta dirección. Por tanto, el tiro parabólico es un MUA de trayectoria parabólica; de ahí su nombre.

Tomando el eje y vertical hacia arriba, se tiene:

$$\textit{Tiro parabólico} = [\vec{a} = -g\vec{j},\ v_{x,0} \neq 0]$$

$$\textit{Tiro vertical} = [\vec{a} = -g\vec{j},\ v_{x,0} = 0]$$

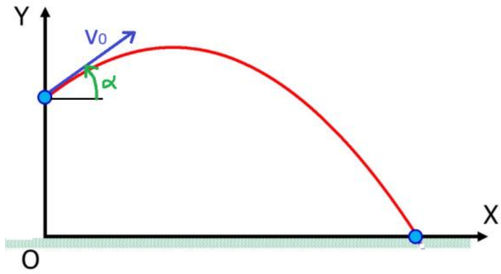
Tomando el eje y vertical hacia arriba conteniendo a la partícula en el instante inicial, llamando v_0 al módulo de la velocidad inicial y llamando α al ángulo que forma el eje x con el vector velocidad inicial medido en sentido antihorario, las ecuaciones del tiro parabólico son:

$$x = v_0 cos\alpha \cdot t \qquad y = y_0 + v_0 sen\alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v_x = v_0 cos\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t} = cte \qquad v_y = v_0 sen\alpha - gt$$

$$a_x = 0 = cte \qquad a_y = -g = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = cte$$

$$v_y^2 - (v_0 sen\alpha)^2 = -2g(y - y_0)$$



Donde:

En estas ecuaciones la partícula está inicialmente sobre el eje y; esto es, $x_0 = 0$.

El parámetro y_0 es la *altura inicial* de la partícula y tiene signo.

El parámetro v_0 es la *celeridad inicial* de la partícula.

El parámetro α se llama *inclinación inicial* y es el ángulo medido en sentido antihorario que forma el eje x con la velocidad inicial. Recordamos que ángulo medido en sentido antihorario significa que su signo es positivo si lo medimos en sentido antihorario y su signo es negativo si lo medimos en sentido horario.

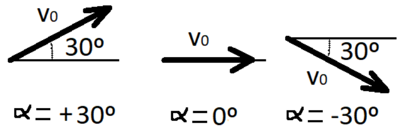
Demostración de las ecuaciones del tiro parabólico. Con las consideraciones anteriores se tiene que $a_x = 0$, $a_y = -g = -9{,}8\frac{m}{s^2}$, $x_0 = 0$, $v_{x,0} = v_0 cos\alpha$, $v_{y,0} = v_0 sen\alpha$.
Particularizando estas expresiones a las del MUA obtenemos las ecuaciones del tiro parabólico.

Se deja a cargo del lector interesado comprobar que la trayectoria de un tiro parabólico debe estar contenida en la siguiente parábola:

$$y = \left(\frac{-g}{2v_0^2 cos^2\alpha}\right)x^2 + tg(\alpha)x + y_0$$

***Estrategias para problemas de tiro parabólico*.**

- Los parámetros del tiro parabólico son y_0 y v_0 y α. Conocidos estos podemos hallar cualquier cosa del tiro parabólico en cuestión.
- El tiro parabólico puede entenderse como la composición de dos movimientos rectilíneos: un MRU en el eje x y una caída libre en el eje y.
- Si se lanza por encima de la altura cero, la altura inicial y_0 es positiva. Etcétera.
- La celeridad inicial v_0 siempre es positiva.
- Por ser un ángulo con signo, la inclinación inicial α es positiva si se lanza sobre la horizontal (hacia arriba) y negativa si se lanza bajo la horizontal (hacia abajo).



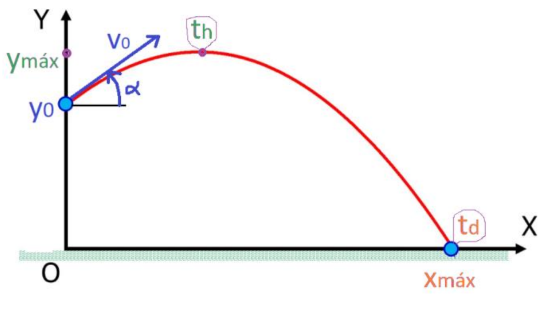
- El instante t_d en el que la <u>partícula toca el suelo</u> es el que verifica que la altura de la partícula se anula:

$$y_d = 0, \text{ luego } t_d \text{ cumple:}$$
$$y_0 + v_0 sen\alpha \cdot t_d - \frac{1}{2}gt_d^2 = 0.$$
$$x_{máx} = x_d = v_0 cos\alpha \cdot t_d$$

- Si lanzamos la partícula con inclinación positiva ($\alpha > 0$), entonces el instante de tiempo t_h en el que la partícula tiene <u>altura máxima</u> es el que verifica que la componente y de la velocidad se anula:

Si $\alpha > 0$, entonces $v_{y,h} = 0$, luego t_h cumple: $v_0 sen\alpha - gt_h = 0$.

$$y_{máx} = y_h = y_0 + v_0 sen\alpha \cdot t_h - \frac{1}{2}gt_h^2$$



EJEMPLOS RESUELTOS

Ejemplo 1. Desde una altura de 20 m lanzamos una pelota con una velocidad inicial de 36 km/h y un ángulo de inclinación de 30° sobre la horizontal. Se pide:

a) Instante de tiempo en que la altura de la pelota es máxima, posición (vector), velocidad (vector y módulo) y aceleración (vector) en dicho instante.
b) Instante de tiempo en que la pelota llega al suelo, posición (vector), velocidad (vector y módulo) y aceleración (vector) en dicho instante.
c) Instante de tiempo en el que la velocidad forma un ángulo de 40° (en valor absoluto) con la horizontal.
d) Instante de tiempo en el que la pelota está a una altura de 10 m.
e) Instante de tiempo en que la velocidad es de 15 m/s.
f) Si en vez de lanzarla sobre la horizontal, se hubiese lanzado bajo la horizontal, ¿cuánto valdría el ángulo de inclinación? ¿Cuál sería la altura máxima?

Solución

Datos:
$y_0 = +20\ m$. Recordamos que la altura inicial tiene signo.
$v_0 = 36\ km/h = 10\ m/s$
$\alpha = +30°$ por lanzarse sobre la horizontal. Recordamos que α tiene signo.

Como vemos, nos dan los tres parámetros del movimiento parabólico, luego podemos hallar cualquier cosa acerca del movimiento. Recordamos las ecuaciones del movimiento parabólico:

$$x = v_0 cos\alpha \cdot t \qquad y = y_0 + v_0 sen\alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$
$$v_x = v_0 cos\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t} = cte \qquad v_y = v_0 sen\alpha - gt$$
$$a_x = 0 = cte \qquad a_y = -g = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = cte$$
$$v_y^2 - (v_0 sen\alpha)^2 = -2g(y - y_0)$$

Para la mayoría de los problemas solo necesitamos las ecuaciones de la posición y la velocidad, pues la aceleración siempre es la misma. Con los datos del problema, las ecuaciones quedan:

$$x = 8.66t \qquad y = 20 + 5t - 4.9t^2$$
$$v_x = 8.66\ m/s \qquad v_y = 5 - 9.8t$$

a)

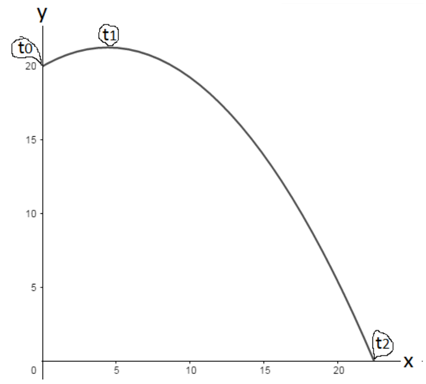
Llamamos t_1 al instante en el que la partícula está en el punto más alto. Por lanzarse con componente vertical hacia arriba, justo antes de t_1 la partícula está subiendo, luego justo antes de t_1 la velocidad en el eje y es positiva. Asimismo justo después de t_1 la partícula está bajando, luego justo después de t_1 la velocidad en el eje y es negativa. Por tanto, la velocidad en el eje y en t_1 es nula, luego $v_{y,1} = 0$.
$5 - 9.8t_1 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{5}{9.8} = \mathbf{0.51\ s}$.

$x_1 = 8.66 \cdot 0.51 = 4.417\ m$.
$y_1 = 20 + 5 \cdot 0.51 - 4.9 \cdot 0.51^2 = 21.276\ m$.
$\vec{r}_1 = x_1\vec{\imath} + y_1\vec{\jmath} = \mathbf{4.417\vec{\imath} + 21.276\vec{\jmath}\ (m)}$.

La velocidad en el eje x siempre es constante e igual a +8.66 m/s.
$\vec{v}_1 = v_{x,1}\vec{\imath} + v_{y,1}\vec{\jmath} = \mathbf{8.66\vec{\imath} + 0\vec{\jmath}\ (m/s)}$.

$|\vec{v}_1| = \sqrt{8.66^2 + 0^2} = \mathbf{8.66\ m/s}$.

La aceleración siempre es constante.
$\vec{a}_1 = \mathbf{0\vec{\imath} - 9.8\vec{\jmath}\ (m/s^2)}$.



b)

Llamamos t_2 al instante en el que la partícula llega al suelo. Así, $y_2 = 0$.
$20 + 5t_2 - 4.9t_2^2 = 0 \Rightarrow$
$$t_2 = \frac{-5 \pm \sqrt{5^2 - 4(-4.9)20}}{2(-4.9)} = \begin{cases} neg \\ 2.59\ s \end{cases} \Rightarrow$$
$\mathbf{t_2 = 2.59\ s}$.

$x_2 = 8.66t_2 = 8.66 \cdot 2.59 = 22.43\ m$.
$\vec{r}_2 = x_2\vec{\imath} + y_2\vec{\jmath} = \mathbf{22.43\vec{\imath} + 0\vec{\jmath}\ (m)}$.

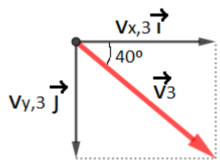
$v_{y,2} = 5 - 9.8t_2 = 5 - 9.8 \cdot 2.59 = -20.382\ m/s$.
$\vec{v}_2 = v_{x,2}\vec{\imath} + v_{y,2}\vec{\jmath} = \mathbf{8.66\vec{\imath} - 20.382\vec{\jmath}\ (m/s)}$.

$|\vec{v}_2| = \sqrt{8.66^2 + (-20.383)^2} = \mathbf{22.15\ m/s}$.

$\vec{a}_2 = \mathbf{0\vec{\imath} - 9.8\vec{\jmath}\ (m/s^2)}$.

c)

Llamamos t_3 al instante pedido. El ángulo sin signo de 40° tiene que ser con signo negativo, pues el mayor ángulo positivo se da cuando se lanza la pelota, que es de +30°. Así, el ángulo con signo que forma $\vec{v}_3$ con el eje x es de −40°.



$\frac{v_{y,3}}{v_{x,3}} = tg(-40°) \Rightarrow \frac{5 - 9.8t_3}{8.66} = tg(-40°) \Rightarrow$
$t_3 = \frac{8.66tg(-40°)-5}{-9.8} = \mathbf{1.252\ s}.$

d)

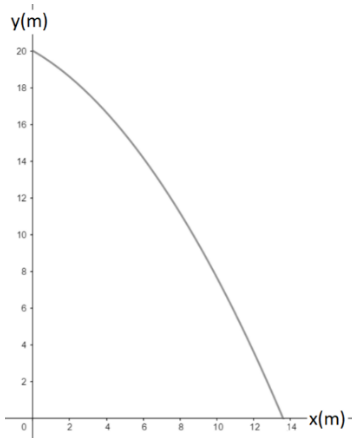
Llamamos t_4 al instante pedido, luego $y_4 = 10\ m$.
$20 + 5t_4 - 4.9t_4^2 = 10 \Rightarrow 4.9t_4^2 - 5t_4 - 10 = 0 \Rightarrow$
$t_4 = \frac{5 \pm 14.866}{9.8} = \begin{cases} 2.03\ s \\ neg \end{cases} \Rightarrow t_4 = \mathbf{2.03\ s}.$

e)

Llamamos t_5 al instante pedido, luego $|\vec{v}_5| = 15\ m/s$.
$\sqrt{v_{x,5}^2 + v_{y,5}^2} = 15 \Rightarrow v_{x,5}^2 + v_{y,5}^2 = 15^2 \Rightarrow$
$8.66^2 + (5 - 9.8t_5)^2 = 15^2 \Rightarrow$
$75 + 25 - 98t_5 + 96.04t_5^2 = 225 \Rightarrow$
$96.04t_5^2 - 98t_5 - 125 = 0 \Rightarrow$
$t_5 = \frac{98 \pm 240.05}{192.08} = \begin{cases} 1.76\ s \\ neg \end{cases} \Rightarrow t_5 = \mathbf{1.76\ s}.$

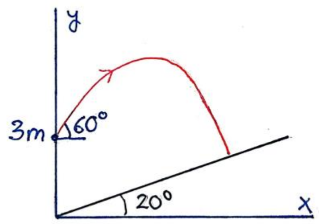
f)

Si se lanza bajo la horizontal, entonces la inclinación α es negativa, luego $\boldsymbol{\alpha = -30°}$. Por lanzarse hacia abajo, la altura máxima es la altura inicial, luego **20 m**.



<u>Ejemplo 2</u>*. Se lanza un cuerpo, a una altura de 3 m con una velocidad de 108 km/h y una inclinación de 60° sobre la horizontal, desde la base de un plano inclinado 20° sobre la horizontal. Se pide:

a) Ecuación de la parábola que contiene la trayectoria.
b) Punto en el que el cuerpo impacta con el plano inclinado.



c) Tiempo transcurrido desde que se lanza hasta que impacta con el plano inclinado.
d) Módulo de la velocidad y ángulo (con signo) que forma la velocidad con el eje x justo antes del impacto.

Solución

Datos:
$y_0 = +3\ m$
$v_0 = 108\ km/h = 30\ m/s$
$\alpha = +60°$

Como nos dan los tres parámetros del movimiento parabólico, podemos hallar cualquier cosa acerca del movimiento. Las ecuaciones de posición y velocidad para este problema quedan:

$x = 15t$	$y = 3 + 25.98t - 4.9t^2$
$v_x = 15\ m/s$	$v_y = 25.98 - 9.8t$

a)

La trayectoria está contenida en la siguiente ecuación:

$$\boxed{y = \left(\frac{-g}{2v_0^2 cos^2\alpha}\right)x^2 + tg(\alpha)x + y_0}$$

Esta ecuación se puede memorizar o deducir. Para deducirla, despejamos t de $x = v_0 cos\alpha \cdot t$, obteniendo $t = \frac{x}{v_0 cos\alpha}$. Ahora en $y = y_0 + v_0 sen\alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$, sustituimos t por $\frac{x}{v_0 cos\alpha}$ obteniendo
$y = y_0 + v_0 sen\alpha \cdot \left(\frac{x}{v_0 cos\alpha}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0 cos\alpha}\right)^2$. Por último, simplificamos.

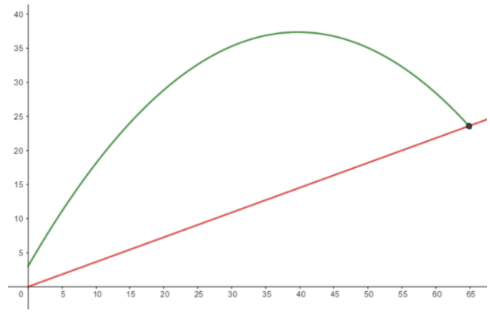
$y = \left(\frac{-9.8}{2 \cdot 30^2 cos^2 60°}\right)x^2 + tg(60°)x + 3$
$\boldsymbol{y = -0.0218x^2 + 1.732x + 3}$

b)

La ecuación de la rampa es $y = tg(20°)x$.
$y = 0.364x$
Para hallar el punto de impacto debemos calcular el punto de corte de las dos gráficas:

$$\left.\begin{array}{r} y = 0.364x \\ y = -0.0218x^2 + 1.732x + 3 \end{array}\right\} \Longrightarrow$$

$0.364x = -0.0218x^2 + 1.732x + 3 \Longrightarrow$
$-0.0218x^2 + 1.368x + 3 = 0 \Longrightarrow$
$x = \frac{-1.368 \pm 1.460}{-0.0436} = \begin{cases} neg \\ 64.86 \end{cases} \Longrightarrow x = 64.86\ m.$
$y = 0.364 \cdot 64.86 = 23.61\ m.$
El punto pedido es $\mathbf{(64.86, 23.61)\ m}$.



c)

Llamando t_1 al instante en el que el cuerpo choca con la rampa, se tiene que $x_1 = 64.86\,m$. Luego:

$x_1 = 15t_1 \Longrightarrow t_1 = \frac{64.86}{15} = \boldsymbol{4.32\ s}$.

d)

La componente x de la velocidad es constante $v_{x,1} = 15\ m/s$, luego solo falta hallar $v_{y,1}$.

$$v_{y,1} = 25.98 - 9.8 \cdot t_1 = 25.98 - 9.8 \cdot 4.32 = \\ = -16.40\ m/s.$$

$$|\vec{v}_1| = \sqrt{15^2 + (-16.40)^2} = \boldsymbol{22.23\ m/s}.$$

Llamando α_1 al ángulo pedido, se tiene que:

$$tg(\alpha_1) = \frac{v_{y,1}}{v_{x,1}} = \frac{-16.40}{15} = -1.09.$$

$$\alpha_1 = arc\ tg(-1.09) = \begin{cases} -47.55° \\ 132.45° \end{cases}$$

La calculadora solo nos da el valor $-47.55°$, pero sabemos que se cumple $tg(\alpha) = tg(\alpha \pm \pi)$. Luego el otro posible valor es $-47.55° + 180° = 132.45°$. ¿Cuál es? Como $v_{x,1} > 0$ y $v_{y,1} < 0$, tiene que ser el valor del cuarto cuadrante, luego $\boldsymbol{\alpha_1} = \boldsymbol{-47.55°}$.

EJERCICIOS PROPUESTOS

5.1. Se lanza un proyectil con una velocidad inicial de 60 m/s desde una altura de 500 m con un ángulo de inclinación de 20° bajo la horizontal. Se pide:

a) Instante en que la altura de la pelota es máxima, posición (vector), velocidad (módulo) y aceleración (vector) en dicho instante.
b) Instante en que la pelota llega al suelo, posición (vector), velocidad (vector) y aceleración (vector) en dicho instante.
c) Instante en que se oye la explosión en el punto de lanzamiento.

Sol. a) 0 s; $500\vec{j}$ *m; 60 m/s;* $-9{,}8\vec{j}$ *m/s²;*
b) 8,22 s; $463{,}44\vec{i}$ *m;* $56{,}38\vec{i} - 101{,}08\vec{j}$ *(m/s);*
$-9{,}8\vec{j}$ *m/s²;*
c) 10,23 s.

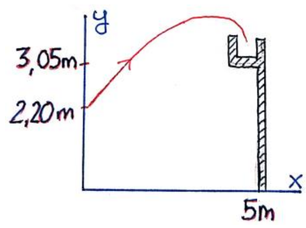
5.2. Se lanza horizontalmente una pelota desde una altura de 10 m alcanzando, al llegar al suelo, una distancia respecto de la vertical de 6 m. Se pide:

a) Instante de tiempo en que alcanza el suelo.
b) Velocidad inicial (módulo).
c) Módulo de la velocidad con que alcanza el suelo.
d) Ángulo (con signo) con la que impacta en el suelo.

Sol. a) 1,43 s; b) 4,2 m/s; c) 14,63 m/s;
d) −73,31°.

5.3*. Un jugador de baloncesto lanza un tiro libre desde una altura de 2,20 m. La canasta se encuentra a una altura de 3,05 m y a una distancia horizontal de 5 m respecto del punto de tiro. Se pide:

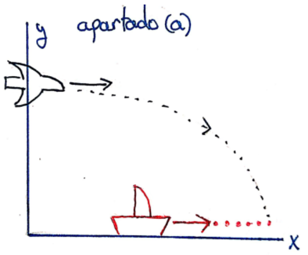
a) Velocidad inicial (módulo) con que debe lanzar si lo hace con una inclinación de 30° respecto de la horizontal.
b) Inclinación con que debe lanzar si lo hace a una velocidad inicial de 10 m/s.



Sol. a) 8,96 m/s; b) 74,51° o 24,62°; si queremos que al llegar a canasta esté bajando tomaríamos 74,51°.

5.4*. Un avión (Ver figura), que vuela horizontalmente a 100 m de altura con una velocidad de 360 km/h, deja caer un paquete sobre la cubierta de un barco que se mueve en la misma dirección con una velocidad de 25 km/h. Se pretende que el paquete caiga sobre el barco, por lo que se pide la distancia horizontal del avión al barco, medida horizontalmente, a la que hay que soltar el paquete si:

a) Barco y avión se mueven en el mismo sentido.
b) Barco y avión se mueven en sentidos contrarios.



Sol. a) 420,43 m; b) 483,17 m.

5.5*. Un avión que vuela horizontalmente a una altura de 700 m a una velocidad de 540 km/h deja caer una bomba. Se pide:

a) Instante de tiempo en el que la bomba impacta con el suelo.
b) Instante de tiempo en el que se escucha la explosión en el avión.

Sol. a) 11,95 s; b) 14,24 s.

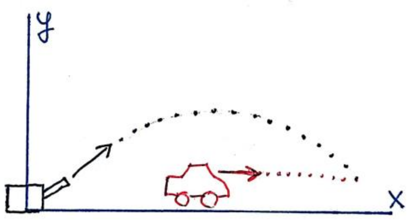
5.6*. Se lanza un proyectil desde el suelo con una inclinación de 50° sobre la horizontal. En el punto de lanzamiento se oye la explosión a los 10,44 s de haberlo lanzado. Se pide:

a) Instante de tiempo en el que el proyectil impacta con el suelo.
b) Velocidad inicial (módulo) con que se lanzó.

Sol. a) 9,38 s; b) 60 m/s.

5.7*. Desde un punto de tiro situado en el suelo lanzamos un proyectil A (con una inclinación α = 30° sobre la horizontal) con la intención impactar sobre un coche B que se mueve horizontalmente por la carretera a una velocidad constante de 36 km/h alejándose del punto de tiro. Si inicialmente el coche se encuentra a d_0 = 80 m del punto de tiro, se pide:

a) Instante de tiempo en el que impactará el proyectil con el coche.
b) Velocidad inicial (módulo y vector) con que se lanzó.



Sol. a) 3,72 s; b) 36,38 m/s; $31{,}51\vec{\imath} + 18{,}19\vec{\jmath}$ *(m/s).*

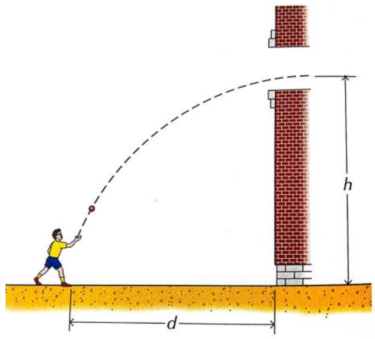
5.8*. Desde un punto situado en el suelo lanzamos una piedra con una inclinación desconocida. Se pide la inclinación con que debo lanzar la piedra para obtener un alcance máximo cuando:

a) La lanzo a una velocidad inicial de 20 m/s.
b) La lanzo a una velocidad inicial genérica v_0.

Sol. a) 45°; b) 45°.

5.9*. Un muchacho que se encuentra a una distancia d = 5 m de la base de un (ver figura) intenta lanzar una pelotita a través de una ventana que está a una altura h = 7 m. La pelota debe atravesar la ventana cuando se encuentre en el punto más alto. Despreciando la altura inicial a la que el muchacho lanza la pelotita, se pide:

a) Tiempo desde que el muchacho suelta la pelota hasta que ésta llega al punto más alto.
b) Inclinación con la que el muchacho ha de lanzar la pelotita.
c) Velocidad inicial (vector) con la que el muchacho ha de lanzar la pelotita.



Sol. a) 1,195 s; b) 70,34°; c) $4{,}19\vec{\imath} + 11{,}71\vec{\jmath}$ *(m/s).*

5.10. Para los siguientes casos deducir si será: movimiento parabólico, MRUA, MRU o reposo.

a) $\vec{a}(t) = \vec{0}$, $\vec{v}_0 = 3\vec{\imath} + 4\vec{\jmath}$ (m/s).
b) $\vec{a}(t) = 10\vec{\imath} - 15\vec{\jmath}$ (m/s²), $\vec{v}_0 = 6\vec{\imath} - 9\vec{\jmath}$ (m/s).
c) $\vec{a}(t) = 4\vec{\imath} + 5\vec{\jmath}$ (m/s²), $\vec{v}_0 = 6\vec{\imath} + 7\vec{\jmath}$ (m/s).
d) $\vec{a}(t) = \vec{0}$, $\vec{v}_0 = \vec{0}$ (m/s).
e) $\vec{a}(t) = -6\vec{\imath} + \vec{\jmath}$ (m/s²), $\vec{v}_0 = \vec{0}$ (m/s).

Sol. a) MRU; b) MRUA; c) Movimiento parabólico; d) Reposo; e) MRUA.