

UNIDAD 6

CASOS PARTICULARES DEL MOVIMIENTO ACELERADO.

Aristóteles dice que "una bala de hierro que caiga de una altura de 100 codos llega al suelo antes que una bala de una libra que haya caído al suelo desde una altura de 1 codo". Yo digo que llegan al mismo tiempo si se lanzan desde una misma altura.

OBJETIVOS:

- 1.- Identificar los movimientos de caída libre y tiro vertical.
- 2.- Transformar las cuatro ecuaciones del movimiento acelerado para emplearse en cada uno de los siguientes casos:
 - a) Caída libre.
 - b) Tiro vertical.
 - c) Tiro horizontal.
 - d) Tiro parabólico.
- 3.- Resolver a partir de los datos apropiados, problemas de caída libre.

4.- Aplicar las cuatro ecuaciones generales del movimiento acelerado, usando las condiciones especiales en la solución de problemas.

5.- Resolver problemas de tiro vertical a partir de los datos apropiados.

6.- Resolver problemas de tiro horizontal a partir de los datos apropiados.

7.- Resolver problemas de tiro parabólico a partir de los datos apropiados.

PROCEDIMIENTO.

1.- Lee el tema de "Galileo Galilei" y el capítulo 6 en forma general.

2.- Una segunda lectura del capítulo para que subrayes lo más importante.

3.- Escribe en tu libreta un resumen del capítulo.

4.- Analiza despacio los ejemplos resueltos.

5.- Resuelve problemas de la autoevaluación siguiendo el procedimiento de los ejemplos resueltos y tratando de llegar a las respuestas dadas al final del problema.

REQUISITO.

Para tener derecho a evaluar esta unidad deberás de entregar en hojas tamaño carta, completamente resueltos y con excelente presentación, los problemas relacionados a caída libre, tiro vertical, tiro horizontal y tiro parabólico de la autoevaluación del capítulo 6.

CAPÍTULO 6

GALILEO DESCRIBE EL MOVIMIENTO.

LA TEORÍA ARISTOTÉLICA DEL MOVIMIENTO.

En este capítulo seguiremos el desarrollo de una parte fundamental de la investigación básica: el estudio que hizo Galileo sobre los cuerpos en caída libre. Este fenómeno es valioso en sí mismo, pero lo que más nos interesa ahora es la forma en que Galileo, quien fue uno de los primeros científicos modernos, presentó su argumento. Su manera de ver el mundo, su modo de pensar, su forma de utilizar las matemáticas y su confianza en las pruebas experimentales, sentaron las bases de la ciencia moderna. Por lo tanto, estos aspectos de sus obras son tan importantes para nosotros como los resultados reales de su investigación.

Para poder entender la naturaleza y la importancia de la obra de Galileo, primero debemos examinar el sistema del pensamiento físico que existía en aquella época, la cual, finalmente sus ideas llegaron a reemplazar. La ciencia física de la Edad Media, tal como la aprendió Galileo en la Universidad de Piza, hacía una gran distinción entre los objetos de la Tierra y el cielo. Se creía que la materia *terrestre*, o sea aquella que está sobre o cerca de la tierra, contenía una mezcla de cuatro elementos: **Tierra, Agua, Aire y Fuego**. Estos elementos no eran considerados idénticos a los materiales naturales cuyos nombres portaban. Por ejemplo, se creía que el

agua común era una mezcla de los cuatro elementos, pero sobre todo del elemento Agua. Se suponía que cada uno de los cuatro elementos tenía un lugar natural dentro de la región terrestre: el lugar más alto lo tenía el Fuego, después seguía el Aire, luego el Agua y en el último lugar venía la Tierra. Se creía además que cada uno trataba de encontrar su lugar propio. Así tenemos que el Fuego, si se ponía en un lugar inferior a su posición natural, trataría de pasar por encima del Aire, y en forma similar, el Aire tendería a elevarse sobre el Agua, mientras que la Tierra tendería a caer tanto a través del Aire como del Agua. El movimiento de cualquier objeto real dependía de su mezcla especial de estos cuatro elementos y de su situación en relación a los lugares naturales de ellos. Por ejemplo, cuando el agua hierve, el elemento agua se unía al fuego, y éste, cuyo lugar natural era superior, hacía que la mezcla se elevara en forma de vapor. Por otro lado, una piedra estaba compuesta principalmente del elemento Tierra, y por lo tanto, caería si se le soltara, y pasaría a través del Fuego, del Aire y del Agua hasta llegar al suelo, que era su lugar natural.

Los pensadores medievales también creían que las estrellas, los planetas y los cuerpos celestiales, tenían una composición distinta y otro tipo de comportamiento que los objetos que estaban sobre o cerca de la Tierra. Se creía que los cuerpos celestiales no contenían ninguno de los cuatro elementos ordinarios, sino solamente un quinto elemento: la quinta esencia. La diferencia en composición requería de una física distinta. Así tenemos que el movimiento natural de los cuerpos celestes no consistía en elevaciones o caídas sino en un eterno trayecto de círculos alrededor del centro del Universo, que era considerado como idéntico al centro de la Tierra. Los cuerpos celestes, aunque se movían, siempre estaban en su lugar natural, lo cual los diferenciaba de los objetos terrestres, que solamente tenían movimiento natural cuando regresaban a los lugares naturales de donde habían sido desplazados.

Esta teoría, tan difundida en los tiempos de Galileo, se había originado casi 2,000 años atrás, en el Siglo IV A.C., y la encontramos claramente asentada en los escritos del filósofo griego Aristóteles. Esta ciencia Física, que fue establecida sobre el orden, la clase, el lugar y el propósito, parecía encajar bien con las observaciones cotidianas, y era especialmente creíble en sociedades como las que les tocó vivir a Aristóteles y Galileo, en que las

ideas de rango y orden predominaban sobre los asuntos humanos. Más aún, estas ideas sobre la materia y el movimiento eran parte de un esquema global universal, llamada cosmología. En esta ciencia trabajó Aristóteles y luego regresó a Macedonia para convertirse en el tutor privado de Alejandro el Magno. En el año 335 A.C., Aristóteles regresó a Atenas y fundó el Liceo, una escuela y centro de investigaciones.

Después de la caída de la antigua civilización Griega, los escritos de Aristóteles permanecieron casi en el olvido en Europa Occidental durante 1,500 años. Fueron redescubiertos en el Siglo XIII de nuestra era y pronto empezaron a moldear el pensamiento de los eruditos y teólogos cristianos. Aristóteles constituyó una influencia tan grande al final de la Edad Media, que se le llamaba simplemente "El filósofo".

La obra de Aristóteles forma casi una enciclopedia del pensamiento griego de la antigüedad. Hay partes que son solo el resumen de las obras de otros hombres, pero se supone que gran parte de esa obra fue creada por el mismo Aristóteles, aunque hoy en día es difícil creer que un solo hombre haya podido estar tan bien informado sobre temas tan diferentes, como son la lógica, filosofía, teología, física, astronomía, psicología, política y literatura. Algunos eruditos llegan incluso a pensar que no se trató del trabajo de un sólo hombre.

Desgraciadamente, las teorías de Aristóteles con respecto a la física tenían ciertas limitaciones (lo cual no quiere decir, por supuesto, que no haya tenido logros muy grandes en otros terrenos). Según Aristóteles, la caída de un objeto pesado hacia el centro de la Tierra, es un ejemplo del movimiento natural. Evidentemente, él creía que un objeto, después de que se suelta, pronto alcanza una rapidez final de caída que mantiene hasta el fin del trayecto. ¿Qué factores son determinantes en la rapidez final de un objeto que cae? Todos hemos observado que una roca cae más rápidamente que una hoja. Por lo tanto, Aristóteles razonó que el peso es un factor que gobierna la rapidez de caída. Esto encajaba bien con la idea de que la causa del peso era la presencia del elemento Tierra, cuyo movimiento natural era caer hacia el centro de la Tierra, por lo que un objeto pesado que tuviera un mayor contenido de la Tierra, tendría una tendencia más fuerte a caer hacia

su lugar natural, de ahí que una tendencia más fuerte creara una mayor rapidez de caída.

Un mismo objeto cae más lentamente en el agua que en el aire, así que Aristóteles razonó que la resistencia del medio también debería afectar el movimiento. Otros factores, tales como el calor y la temperatura del objeto en cuestión, también cambiarían el ritmo de caída. Pero Aristóteles decidió que tales influencias no deberían ser importantes, y concluyó que el ritmo de caída debería aumentar en proporción del peso del objeto y disminuir en proporción a la fuerza de resistencia del medio. El ritmo real de caída en cualquier caso especial, podría averiguarse dividiendo el peso entre la resistencia.

Aristóteles también nos habló del movimiento **violento**, es decir, cualquier movimiento de un objeto que no fuese a su **lugar natural**. Decía que un movimiento de esa naturaleza siempre debe ser causado por una **fuerza**, y la rapidez del movimiento debe aumentar si la fuerza aumenta, y si se quita ésta, el movimiento debe detenerse. Esta teoría concuerda con nuestra experiencia común, digamos, al empujar una silla o una mesa sobre el suelo, pero no encaja tanto si tomamos un objeto que es lanzado por los aires, puesto que continúa moviéndose aun después de que se ha eliminado la fuerza que lo impulsó. Para explicar este tipo de movimiento, Aristóteles propuso que, de alguna manera, el aire ejercía una fuerza propia que mantiene el movimiento del objeto.

Hubo científicos después de Aristóteles que sugirieron que se hicieran ciertos cambios en su teoría del movimiento. Por ejemplo, en el Siglo V de nuestra era, Juan Philoponus, de Alejandría, negó la teoría anterior diciendo que la rapidez de un objeto en movimiento natural debía obtenerse *restando* la resistencia del medio al peso del objeto (recordaremos que Aristóteles recomendaba *dividir* entre la resistencia). Philoponus sostenía que su trabajo experimental apoyaba su teoría, aunque no reportó los detalles. Solo dijo que había observado que el objeto pesado no llegaba al suelo en la mitad del tiempo que el ligero.

Había otras dificultades más con respecto a la teoría aristotélica del movimiento, sin embargo, el hecho de saber que sus enseñanzas tenían fallas

no mermó su influencia en las **Universidades de Francia e Italia** durante los siglos XV y XVI. Después de todo, esta teoría concordaba con muchas de las experiencias ordinarias de una manera general, aunque cualitativa. Además, el estudio del movimiento a través del espacio solo era de interés para unos cuantos eruditos, de la misma forma que había sido solo una pequeña parte de la obra misma de Aristóteles.

Hubo otras influencias que impidieron el surgimiento de cambios en la teoría del movimiento. En primer lugar, Aristóteles creía que las matemáticas tenían un valor muy reducido en la descripción de los fenómenos terrestres. En segundo término, le dio un gran énfasis a la observación directa y cualitativa, como base para formar teorías. Esto fue muy útil para él en sus trabajos de biología, pero en realidad no se hizo un progreso verdadero en la física hasta que los científicos reconocieron el valor de la predicción matemática y de las medidas detalladas.

Un gran número de eruditos de los siglos XV y XVI tomaron parte en este cambio, para lograr un nuevo modo de hacer ciencia. Pero de todos ellos, Galileo nos mostró cómo describir matemáticamente los movimientos de los objetos simples y comunes, como piedras que caen y pelotas que ruedan sobre un plano inclinado. Su obra sentó las bases para que otros eruditos descubrieran y explicaran el movimiento de todas las cosas, desde piedrecillas hasta planetas, y fue también el iniciador de la revolución intelectual que nos llevó a lo que hoy consideramos como la **ciencia moderna**.

Fragmento de "Los Dos Mayores Sistemas del Mundo". Simplicio representa a la perfección el punto de vista aristotélico; Salviati presenta las nuevas ideas de Galileo y Sagredo es un hombre de buena voluntad y espíritu abierto, deseoso de aprender. Con el tiempo, por supuesto, Salviati guía a sus compañeros hacia las ideas de Galileo. Vamos a oír a los tres personajes de este libro, cuando trataron los problemas de caída libre.

— Dudo mucho que Aristóteles hubiera experimentado, si es cierto que dos piedras, una con peso 10 veces mayor que la otra, a las cuales se les deja caer al mismo tiempo de una altura de, digamos 100 codos, variarían tanto en su rapidez que cuando la más pesada cayera al suelo, la otra no hubiera descendido más de 10 codos (1 codo = 50.8 cm aprox).

— Pero su lenguaje parece indicar que sí realizó el experimento puesto que dice: vemos la mayor; ahora bien, la palabra vemos indica que realizó el experimento.

— Pues en cuanto a mí, Simplicio, te diré que he probado el experimento y te puedo asegurar que una bala de cañón que pese 100 ó 200 libras, o aun más, no llegará antes que una bala de mosquete que solo pese media libra, siempre y cuando ambas caigan de una altura de 200 codos.

— Pero, sin ningún experimento más, es posible probar claramente, por medio de un argumento reducido y concluyente, que un cuerpo más pesado no se mueve más rápidamente que uno ligero, siempre y cuando los dos sean del mismo material, mencionaba Aristóteles. Pero dime, Simplicio, ¿admites que un cuerpo al caer adquiere una cierta rapidez fijada por la Naturaleza, que no puede aumentarse o disminuirse a no ser que se use violencia o resistencia?

— No hay ninguna duda de que un mismo cuerpo, moviéndose en un solo medio, tiene una rapidez fija que está determinada por la naturaleza, y que no puede ser aumentada a menos que se añada ímpetu, ni disminuida, con excepción de que haya alguna resistencia que la retarde.

— Entonces, si tomamos dos cuerpos, cada uno de los cuales tiene una rapidez natural distinta, es claro que al unirse, el más veloz se verá retardado parcialmente por el más lento, y este último se verá acelerado de algún modo por el primero. ¿No estás de acuerdo conmigo en esta opinión?

— Sin duda tienes razón.

— Pues si esto es cierto, y si una piedra grande se mueve a una rapidez, digamos, ocho, mientras una más pequeña se mueve a una rapidez de cuatro, entonces al unirlos, el conjunto se moverá a una rapidez menor que ocho, aunque las dos unidas forman una piedra más grande que la que se movía antes a una rapidez de ocho. Por lo tanto, el cuerpo más pesado se mueve con menos rapidez que el ligero, lo cual es un efecto contrario al de tu suposición. Ahora te das cuenta de cómo, a partir de tu creencia de que un cuerpo más pesado se mueve más rápidamente que uno ligero, yo infero que el más pesado se mueve con mayor lentitud.

— Estoy totalmente perdido... Esto es realmente, algo que escapa a mi comprensión... Tu argumento es verdaderamente admirable; sin embargo, me es difícil de creer que un perdigón caiga en forma tan ligera como lo hace una bala de cañón.

— ¿Por que no decir, que un grano de arena cae tan rápidamente como un afilador? Sin embargo, Simplicio, espero que no seguirás el ejemplo de aquellos que desvían la discusión de su propósito principal y se aferran a algunas de mis afirmaciones que es falla en la medida del ancho de un cabello, y que quieras esconder bajo ese cabello la falla de otra que es tan grande como el cable de un buque. Aristóteles dice que "una bala de hierro de 100 libras que caiga de una altura de 100 codos llega al suelo antes que una bala de una libra que haya caído al suelo de una altura de solo un codo". Yo digo que llegan al mismo tiempo si caen desde la misma altura. Si se hace un experimento, se verá que la mayor ventaja a la pequeña por el ancho de dos dedos... Ahora bien, no pretenderás esconder tras estos dos dedos los 99 codos de Aristóteles, ni tampoco mencionar mi pequeño error y al mismo tiempo callar sobre el gran error de él.

CASOS PARTICULARES DEL MOVIMIENTO ACELERADO.

6-1 INTRODUCCIÓN.

En el ataque de Galileo contra la cosmología aristotélica casi no hay detalles que sean nuevos. Sin embargo, su enfoque y sus descubrimientos en conjunto constituyeron la primera presentación efectiva de la ciencia del movimiento. Galileo estaba consciente de que al entender el movimiento de *caída libre*, se tiene la clave para comprender todos los movimientos de los objetos de la naturaleza. El saber cuál era el fenómeno clave fue un toque genial, pero en muchos aspectos Galileo trabajaba simplemente como lo hacen en general todos los científicos. Su enfoque del problema del movimiento nos ofrece un buen caso de estudio, como introducción a las estrategias de investigación que todavía se usan en la ciencia.

6-2 CAÍDA LIBRE.

Los cuerpos en caída libre no son más que un caso particular del movimiento acelerado (velocidad variable), con la característica de que la aceleración es la debida a la gravedad.

La aceleración de un cuerpo en caída libre (despreciando la resistencia del aire), es constante para cada lugar de la Tierra, y varía relativamente poco de un punto a otro.

Su valor es: $g = 9.8 \text{ m/seg}^2 \text{ ó } 980 \text{ cm/seg}^2$.

Para nuestros cálculos: $g = 10 \text{ m/seg}^2 \text{ ó } 1000 \text{ cm/seg}^2$.

Antes de analizar el siguiente ejemplo, mencionaremos que en caída libre se emplean las fórmulas del movimiento acelerado (las 4 fórmulas generales), con la única diferencia de que la aceleración en caída libre (g)

es constante para todos los cuerpos, sin importar el material de que estén constituidos. Para facilidad de nuestros cálculos emplearemos 10 m/seg^2 en el sistema M.K.S. y 1000 cm/seg^2 en el sistema c.g.s. Y la velocidad inicial será igual a cero. $v_0 = 0$.

Ejemplo nº 1.

Se suelta una piedra desde 45 m. de altura. Calcular:

a) con que velocidad llegará al suelo?

b) ¿cuánto tiempo empleará en llegar al suelo?

Solución:

Analicemos despacio este fenómeno, observando detenidamente lo que sucede en cada segundo de tiempo de caída.

1º. ¿Qué ocurre en el primer segundo de vuelo?

Existirá una distancia recorrida, debida a la aceleración, la cual podemos calcular empleando la ecuación IV.

$$\begin{aligned}d_1 &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= 0 \times 1 \text{ seg} + \frac{1}{2} (10 \text{ m/seg}^2) (1 \text{ seg})^2 \\ &= 0 + 5 \text{ m} \\ &= 5 \text{ m}\end{aligned}$$

Por la fórmula 1 tenemos la velocidad final de este primer segundo.

$$\begin{aligned}v &= v_0 + a t \\ &= 0 + 10 \text{ m/seg}^2 \times 1 \text{ seg} \\ &= 10 \text{ m/seg}\end{aligned}$$

2º. ¿Qué sucede en el siguiente seg? Recorrerá una distancia en este tiempo. Para este lapso de tiempo (1 seg) usaremos la Vel. final del paso anterior: $v_0 = 10 \text{ m/seg}$.

$$\begin{aligned}d_2 &= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ &= (10 \text{ m/seg} \cdot 1 \text{ seg}) + \frac{1}{2} (10 \text{ m/seg}^2) (1 \text{ seg})^2\end{aligned}$$

