

MIDIENDO EL TIEMPO

**Juan C. Sánchez R y Fernando Dugarte.
Universidad de Los Andes.
Facultad de Ciencias.
Departamento de Física.
Mérida.**

Octubre de 2006.

Introducción.

La velocidad de la luz

Aristóteles (siglo IV A.C) afirmaba que la luz se propaga en línea recta y en forma instantánea. De ser así, si alguien enciende un fuego en lo alto de una montaña, en el mismo instante la luz producida debe ser vista por una persona que se encuentre a un kilómetro o a cien kilómetros. Ahora sabemos que la luz se propaga con una velocidad verdaderamente fantástica: 300 000 kilómetros por segundo. Pero por grande que sea tarda cierto tiempo en ir de una parte a otra.

Galileo fue uno de los primeros en sospechar que la luz no se propaga instantáneamente. Ideó un procedimiento muy sencillo para comprobarlo: dos amigos hacen el experimento; uno de ellos se coloca en un lugar prominente, en lo alto de la colina, por ejemplo, y el otro a una distancia de un kilómetro. Ambos han puesto sus relojes la misma hora y han convenido que el primero encenderá una linterna exactamente a las 12 de la noche. Si el hombre que está debajo observara la luz a las 12 y 2 segundos, por ejemplo, entonces la luz habrá tardado dos segundos en recorrer 1 000 metros y su velocidad será de 500 metros por segundo.

Con sorpresa, sin embargo, Galileo comprobó que la luz no tardaba nada en hacer el recorrido. ¿Tenían razón, entonces, los antiguos, cuando decían que la velocidad de la luz es infinita? Galileo debe de haber quedado muy perplejo. Hoy sabemos que tenía mucha razón en sospechar que, para ir de un punto a otro, la luz necesita cierto tiempo. Su experimento fracasó, no obstante porque esa velocidad es formidable y no es posible medirla con métodos tan sencillos. Puesto que la luz recorre 300 000 kilómetros en un segundo, si los dos hombres se encontraban a un kilómetro, el tiempo empleado por el rayo luminoso de la linterna para hacer la trayectoria sería:

$$\Delta T = \text{distancia} / \text{velocidad}, \quad \Delta T = 1 \text{ km} / 300\,000 \text{ km/s} = 0,000\,003 \text{ s}$$

Es claro que Galileo no hubiera podido medir un tiempo tan pequeño ni aun con el mejor cronometro actual.

Situaciones similares se han venido observando a lo largo de los años y los científicos han tenido que reformular la manera de medir el tiempo. Con la implementación de dispositivos tecnológicos de avanzada, hoy día es sencillo medir el tiempo en la gran mayoría de situaciones que se nos presenten, pero el costo ha sido un impedimento significativo.

El presente trabajo pretende destacar la importancia de la medida del tiempo en fenómenos físicos fundamentales y presentar soluciones de bajo costo para satisfacer las necesidades que se puedan presentar en un aula de clases o laboratorio de física elemental.

INDICE

Capítulo	Contenido	Página
1	Repaso (M.R.U, U.U.V)	4
2	Conociendo el cronómetro.(Apreciación, rango, analógico/digital)	11
3	Justificación del problema.(Velocidad de reacción humana).	12
4	Optocronómetro, diseño y construcción.	15
5	Resultados experimentales.	24
6	Bibliografía.	25

Capítulo # 1. Repaso (M.R.U, U.U.V)

i) En este primer capítulo se tratará de hacer un repaso de las dos primeras prácticas que nos introducen en el uso del cronómetro y las medidas del tiempo. A continuación se detallan cada una de ellas.

LABORATORIO DE FISICA

Experimento # 1

Movimiento Rectilíneo Uniforme

Objetivo:

1. Establecer relaciones entre los parámetros cinemáticos que rigen el MRU.
2. Adquirir destrezas en la colección, procesamiento de datos y gráficas.

Equipo:

- Cinta métrica.
- Cronómetro.
- Tubo cristalino que contiene aceite y un balón.
- Soportes.
- Imán.

Introducción:

En la naturaleza, los fenómenos ocurren en un espacio tridimensional, sin embargo, comenzaremos el estudio del movimiento para el caso más sencillo es decir el movimiento en una línea recta.

El movimiento rectilíneo uniforme “MR” es el movimiento que efectúa un cuerpo cuando recorre distancias iguales en intervalos de tiempo iguales.

En una dimensión localizamos a un punto especificando su coordenada de posición, que es la distancia a un origen de coordenadas elegido arbitrariamente.

Si un objeto se mueve a lo largo de un eje de coordenadas se dice que se está trasladando.

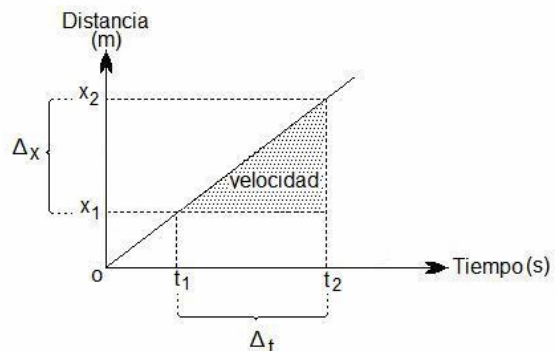
Cuando el objeto se traslada, su coordenada de posición cambia a medida que transcurre el tiempo. Si en el tiempo $t = t_1$ su coordenada de posición es x_1 , su coordenada de posición en cualquier tiempo posterior $t = t_2$ tendrá un nuevo valor, x_2 (ver gráfica # 1.1).

Su velocidad promedio, v , durante el intervalo de tiempo $t_1 - t_1$ será:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1.1)$$

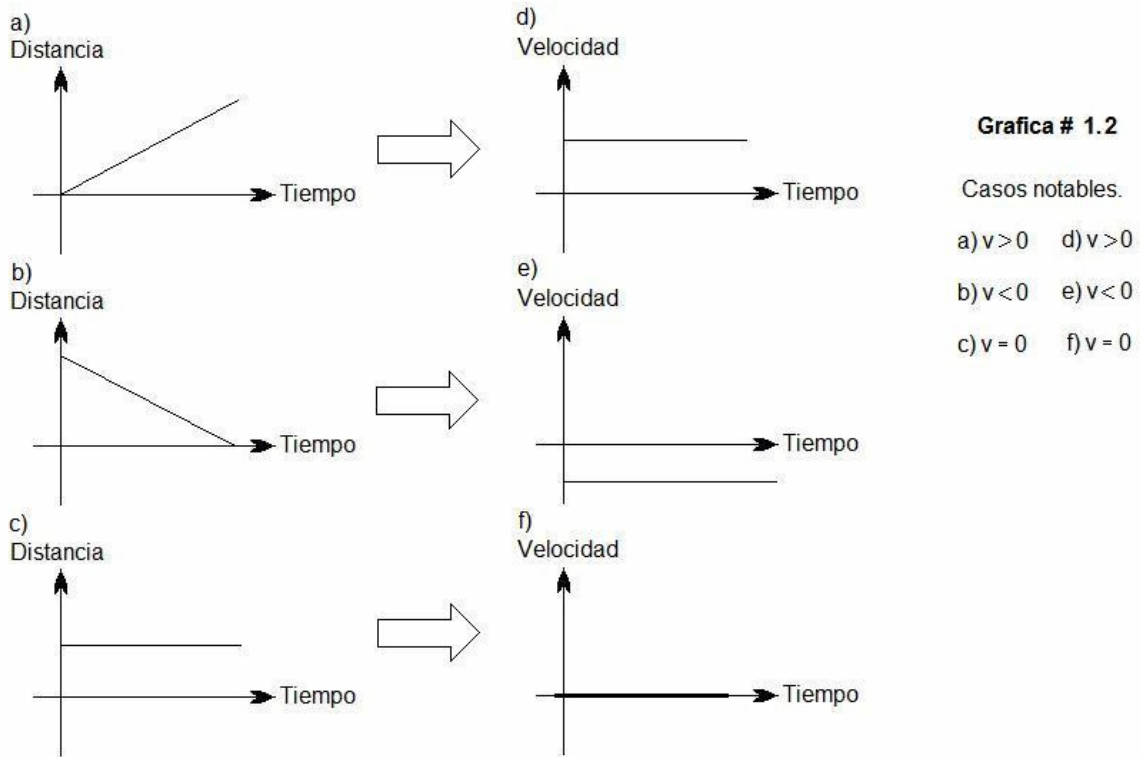
Grafica # 1.1

Distancia vs tiempo. La recta indica que se trata de un movimiento rectilíneo, la pendiente de la gráfica es la velocidad promedio que corresponde a el área sombreada.



Es importante notar que la velocidad es una magnitud vectorial, es decir, posee modulo, dirección y sentido. El modulo de la velocidad, que es lo que generalmente calculamos, le llamaremos “rapidez”.

Los casos más notables se resumen en la gráfica # 1.2.



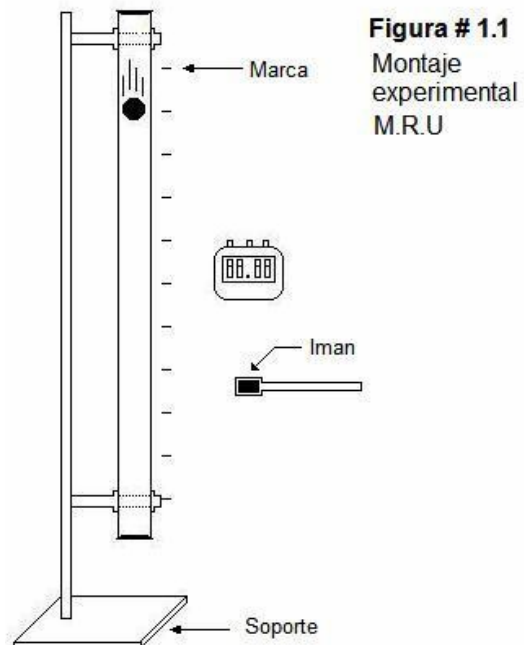
Procedimiento:

Una manera sencilla y económica de simular un movimiento rectilíneo uniforme es dejando caer un cuerpo esférico tal como un balón, dentro de un tubo cristalino que contiene un líquido viscoso, por ejemplo aceite, glicerina o melaza.

El balón en su caída tiende a acelerarse pero es retardado por la acción de la viscosidad del líquido que le rodea.

El montaje de esta experiencia se muestra en la figura # 1.1.

Sigamos entonces el procedimiento siguiente.



1. Hacer una marca en el tubo cada 5 cm.
2. Colocar el tubo verticalmente ayudado por un soporte.
3. Con ayuda de un imán, lleve el balón al extremo superior del tubo.
4. Deje caer libremente el balón.
5. Tome el tiempo en los intervalos indicados en la tabla # 1.1.
6. Efectúe tres lanzamientos por cada intervalo a medir.
7. Grafique en papel milimetrado distancia vs tiempo.
8. Calcule la velocidad según lo indicado en la tabla # 1.2.
9. Grafique en papel milimetrado “velocidad vs tiempo”.
10. Desarrolle el cálculo del error absoluto, relativo y porcentual para la velocidad.

Tabla # 1.1. Magnitud física a medir.

Intervalo	Tiempo (seg)	T prom (seg)
1.- (0-10) cm		
2.- (0-20) cm		
3.- (0-30) cm		

Intervalo	Tiempo (seg)	T prom (seg)
4.- (0-40) cm		
5.- (0-50) cm		
6.- (0-60) cm		

Tabla # 1.2. Magnitud física a calcular.

Intervalo	V (cm / seg)
(0-10) cm	
(10-20) cm	
(20-30) cm	

Intervalo	V (cm / seg)
(30-40) cm	
(40-50) cm	
(50-60) cm	

Observe cuidadosamente los resultados obtenidos y conteste las siguientes preguntas:

1. ¿Qué parámetro físico considera usted que introduce mayor error?
2. En el entorno que le rodea, ¿Dónde cree usted que hay un M.R.U?
3. ¿Influirá en el movimiento, la forma del objeto que cae dentro del tubo?

Objetivo:

1. Establecer relaciones entre los parámetros cinemáticos que rigen el MUV.
2. Adquirir destrezas en la colección, procesamiento de datos y gráficas.

Equipo:

- Cinta métrica.
- Cronómetro.
- Canal.
- Soportes.
- Esfera.

Introducción:

Si un cuerpo en movimiento cambia su velocidad al transcurrir el tiempo, se dice que está acelerado. Si la velocidad final es mayor que la inicial, la aceleración es “positiva“, en cambio, si la velocidad final es menor que la inicial, la aceleración es “negativa“ o está frenando.

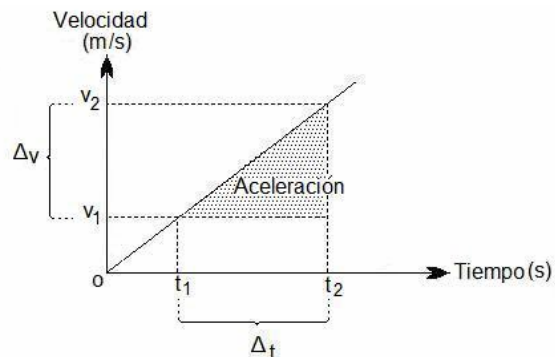
Como era de esperarse, la aceleración, al igual que la velocidad son magnitudes vectoriales que la podemos escribir de la siguiente manera.

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.2)$$

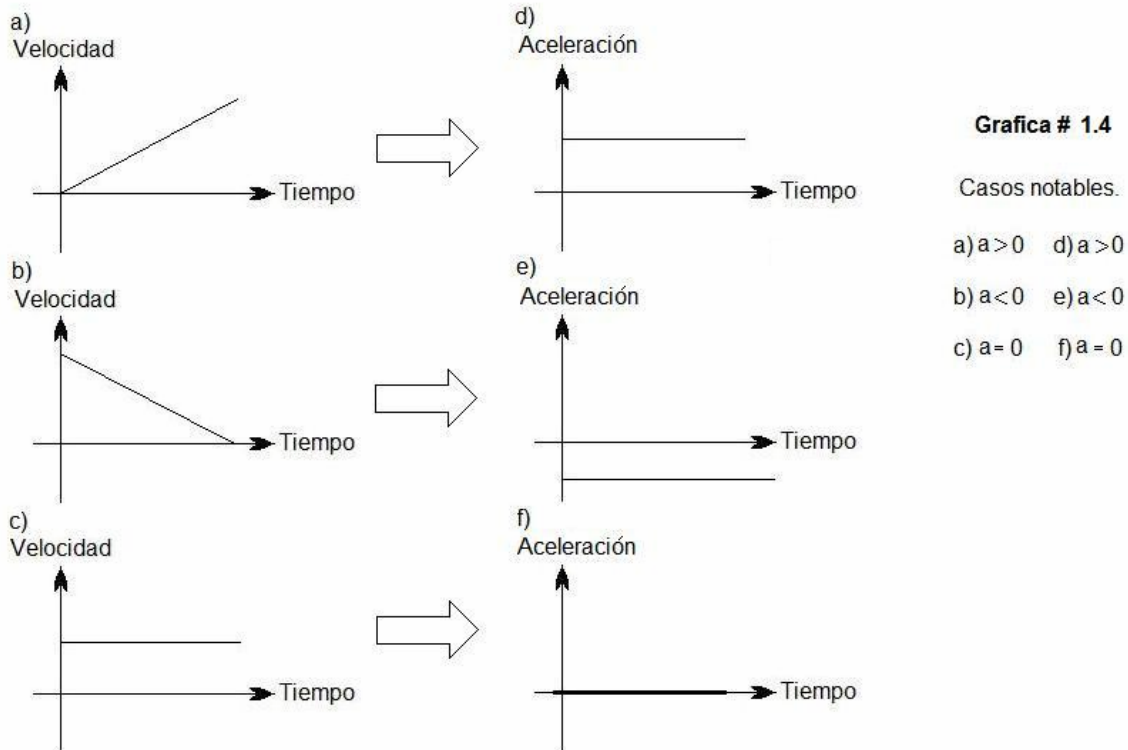
La grafica # 1.3 representa el cambio de la velocidad en función del tiempo, observe el comportamiento lineal, eso nos indica que no hay cambio de aceleración, es decir, el movimiento es uniformemente variado.

Grafica # 1.3

Velocidad vs tiempo. La recta indica que se trata de un movimiento rectilíneo, la pendiente de la grafica es la aceleración promedio que corresponde a el area sombreada.



Los casos más notables se resumen en la gráfica # 1.4.



La comprensión de la aceleración es de vital importancia en el estudio de la física ya que es la base de la dinámica que se estudiará mas adelante.

El movimiento con aceleración constante es muy común en la naturaleza. Por ejemplo, cerca de la superficie de la tierra todos los objetos caen verticalmente dado que la aceleración de la gravedad es constante, pudiéndose despreciar la fricción del aire.

Se acostumbra a representar la aceleración de la gravedad por la letra “g” y su valor aproximado es:

$$g = 9,81 \text{ m / s}^2 = 32,2 \text{ pies / s}^2 \quad (1.3)$$

Como se ha visto en el gráfico # 1.3, la aceleración es constante ya que la velocidad varía linealmente con el tiempo. Para el tiempo t_1 , el valor de la velocidad es v_1 de la misma forma, para t_2 , la velocidad es v_2 . En forma general se puede expresar v_2 de la siguiente manera

$$v_2 = v_1 \pm a t \quad (1.4)$$

- + aceleración positiva
- aceleración negativa

Si la partícula se desplaza sobre el eje “x” el desplazamiento podemos obtener la siguiente expresión:

$$x_2 = x_1 + v_1 t \pm \frac{1}{2} a t^2 \quad (1.5)$$

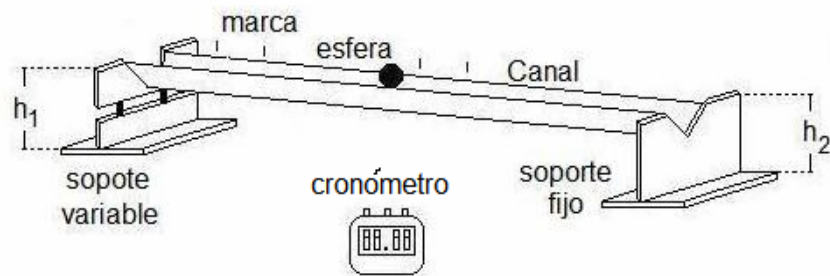
La última expresión que expondremos es particularmente útil si no se conoce el parámetro “tiempo”,

$$v_2^2 = v_1^2 + 2a \Delta x \quad (1.6)$$

Procedimiento:

La figura # 1.2 muestra el equipo experimental que necesitaremos en esta experiencia.

Figura # 1.2
Montaje
experimental
M.U.V



La esfera se desliza rodando por el canal y la velocidad se incrementa en la medida que evoluciona el movimiento por acción de la aceleración de la gravedad que supondremos constante.

Dado que el recorrido es relativamente corto, se puede despreciar la fricción del aire. Siga el procedimiento siguiente:

1. Hacer una marca en el canal cada 5 cm.
2. Colocar el canal ligeramente inclinado ayudado por el soporte variable.
3. Lleve la esfera al extremo superior del canal.
4. Deje rodar libremente la esfera (no lo empuje).
5. Tome el tiempo solamente en los intervalos indicados en la tabla # 1.3.
6. Efectúe tres lanzamientos por cada intervalo a medir.
7. Grafique en papel milimetrado distancia vs tiempo.
8. Calcule la aceleración según lo indicado en la tabla # 1.4.
9. Desarrolle el cálculo del error absoluto, relativo y porcentual para la aceleración.

Tabla # 1.3. Magnitud física a medir.

Intervalo	Tiempo (seg)	T prom (seg)
1.-		
(0-10) cm		
2.-		
(0-20) cm		
3.-		
(0-30) cm		

Intervalo	Tiempo (seg)	T prom (seg)
4.-		
(0-40) cm		
5.-		
(0-50) cm		
6.-		
(0-60) cm		

Tabla # 1.4. Magnitud física a calcular.

Intervalo	V(cm/seg)	a(cm/seg ²)
(0-10) cm		
(10-20) cm		
(20-30) cm		

Intervalo	V(cm/ seg)	a(cm/seg ²)
(30-40) cm		
(40-50) cm		
(50-60) cm		

Observe cuidadosamente los resultados obtenidos y conteste las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el significado físico de la pendiente en un gráfico velocidad vs tiempo?
2. En el entorno que le rodea, ¿Dónde cree usted que hay M.U.V?
3. Al inclinar el canal, la esfera cae mas rápido, ¿significa esto que la aceleración de la gravedad aumenta?
4. Basándose en sus observaciones experimentales, ¿Cuáles serían para Ud, las principales características del M.U.V?.

Capítulo # 2.

Conociendo el cronómetro.(Apreciación, rango, analógico/digital)

La palabra cronómetro proviene de la Mitología griega, el nombre se le dio por el Dios griego Cronos que era el Dios del tiempo.

El cronómetro es un reloj o una función de reloj que sirve para medir fracciones de tiempo, normalmente cortos y con gran precisión.

Al comenzar el Siglo XIX, un relojero suizo, Louis Berthoud inventó el cronómetro y fue perfeccionado el sistema de cuerda.

Aunque otras documentaciones confirman que el astrónomo y relojero suizo George Graham (1673-1751) utilizó por primera vez la palabra cronómetro para referirse a un mecanismo similar a un reloj de péndulo pequeño y portátil.

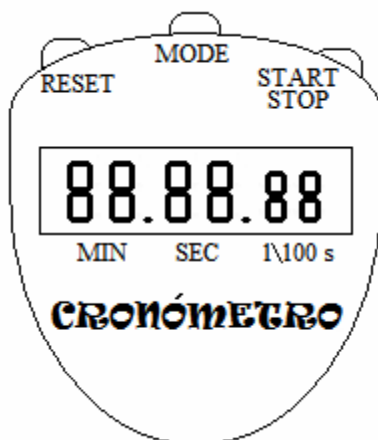
En 1736, el relojero inglés John Harrison (1693-1776) creó el primer cronómetro para marinos. Estaba realizado en madera y durante años se fue perfeccionando y poniendo a punto. El 1761 se logra uno de mayor exactitud. éste fue el primer cronómetro eficaz. Era un instrumento portátil montado sobre balancines para mantener el delicado mecanismo en posición horizontal.

En 1910, la Empresa Rólex perfeccionó el primer cronómetro de pulsera.

Los primeros cronómetros comerciales eran dispositivos mecánicos que necesitaban “darle cuerda” para su funcionamiento. La lectura del tiempo se hace interpretando la proyección de las agujas sobre una escala impresa. A estos cronómetros se les llama analógicos.

Gracias a los grandes avances en la electrónica y tecnología, permitió la fabricación de cronómetros totalmente compactos, sin piezas mecánicas, a baterías, fácil lectura y muy bajo costo. Se trata de los cronómetros digitales. Son estos cronómetros, los que haremos referencia de ahora en adelante.

Pueden cambiar la forma externa, dependiendo del modelo y del fabricante, pero básicamente se asemejan al mostrado en la figura # 2.1.



La presentación de las medidas se hace mediante una pantalla de cristal líquido, fácil de interpretar.

La función del primer pulsador es para borrar (reset) la medida mostrada en la pantalla.

El segundo pulsador es para programar el modo (mode) del cronómetro, es decir, para ajustar sus valores.

El tercero, es para iniciar y parar la marcha (star/stop).

Figura # 2.1 Cronómetro.

Para ponerlo en marcha o para detenerlo, es necesario que el operador pulse las teclas. Esta acción puede verse afectada por la velocidad de reacción del operador, es decir, una persona lenta, reacciona lentamente y esto puede alterar la medida. Para evitar esta acción, hay relojes que permiten ser accionados por otros medios, tales como sonido o luz.

La apreciación, tal como se ha definido, es la menor lectura que podemos tener con el instrumento. Es fácil observar que antes de iniciar la marcha, el cronómetro indica la lectura 00:00:00 y la menor lectura será de 00:00:01 es decir, cero minutos, cero segundos y 0,01 segundos (o una centésima o 1/100 de segundo).

El rango de medida de un cronómetro, depende del modelo y fabricante, pero podemos estimarlo inspeccionando la pantalla, por ejemplo, el cronómetro que se muestra en la figura # 2.1. tiene dos dígitos para los minutos, dos para los segundos y dos para las fracciones de segundos, de manera que si todos los dígitos estuviesen llenos, tendríamos una lectura máxima de 59:59:99 es decir, 59 minutos, 59 segundos y 99 centésimas de segundos.

Capítulo # 3.

Justificación del problema.(Velocidad de reacción humana).

La velocidad de reacción humana es una capacidad física innata que permite realizar acciones motrices en un mínimo tiempo, mediante la óptima interacción de los sistemas neuromusculares.

Un estudio realizado por investigadores de la Georgia Tech University de EEUU demuestra que la velocidad de reacción de un atleta puede mejorarse con el entrenamiento. El trabajo se ha realizado estudiando los tiempos de reacción al disparo de salida entre corredores de 100 y 400 metros planos. El estudio demostró que los atletas de más experiencia poseen mejores reflejos de reacción a la orden de salida que los jóvenes, quizá por su mayor capacidad de concentración y porque han entrenado más tiempo la reacción al disparo. Los expertos en 400 metros mostraron peor capacidad de reacción que los de 100, ya que éstos últimos entrenan con asiduidad y de forma específica la velocidad de reacción.

Entre los factores que pueden alterar la velocidad de reacción podemos citar: la edad, aptitudes, fatiga, motivación, percepción, estimulantes (alcohol, cafeína, drogas, etc).

Está entendido que el factor humano es la causa principal de la mayoría de los accidentes.

Se entiende por “doping” el uso de cualquier sustancia fisiológica tomada en cantidad o por vía anormal, con la sola intención de aumentar artificial y deshonestamente su ejecución en una actividad.

El doping es uno de los numerosos intentos que el ser humano realiza a través de la historia para mejorar artificialmente la velocidad de reacción, resistencia a la fatiga en la guerra, en la caza y también en el deporte.

Ahora bien, cuando nos disponemos a tomar una medida del tiempo debemos tomar muy en cuenta que hay un tiempo que tarda el experimentador en accionar el cronómetro. Como ya se ha citado, no es un tiempo constante, depende de muchos factores. Dicho tiempo está en el orden de 200 milisegundos para el humano promedio.

Es interesante determinar ese tiempo entre los experimentadores. Para tal fin se realiza la experiencia siguiente. Se trata de tomar con la mano una varilla que se dejará caer. Al principio la varilla está sujeta a un soporte por medio de un electroimán. Mientras la varilla está sujeta, una luz piloto está indicando esta condición. Cuando la varilla se suelta, la luz se apaga, el experimentador se percata de ello e intentará sujetar la varilla a la brevedad posible. Se registra el tiempo transcurrido desde que se suelta hasta que se agarra (ver figura # 3.1).

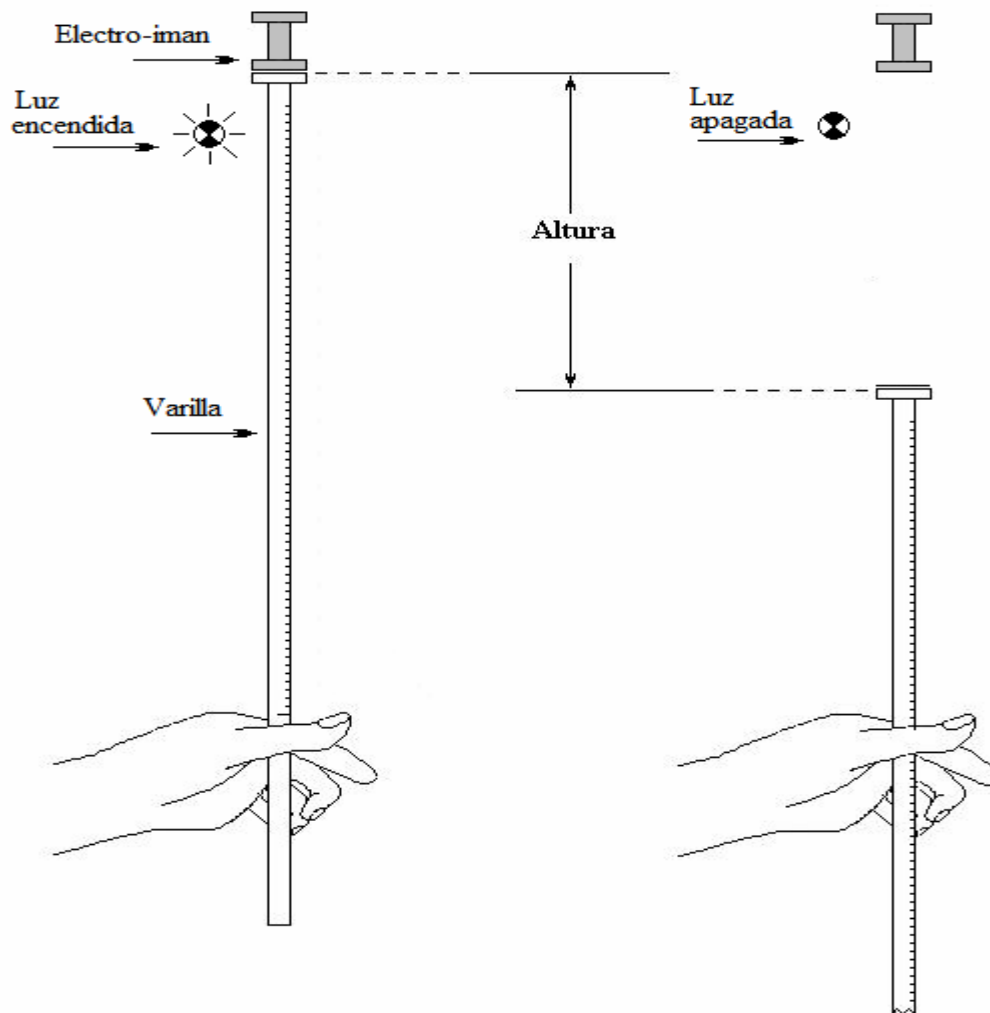


Figura # 3.1. Midiendo la velocidad de reacción para un experimentador.

Lo que realmente medimos es la distancia que ha recorrido la varilla en su caída libre, simplemente evaluando la expresión $h = \frac{1}{2} g t^2$.

La tabla # 3.1 resume la relación entre la altura y el tiempo de caída.

d (mts)	t (seg)	d (mts)	t (seg)	d (mts)	t (seg)
0,01	0,04518	0,34	0,26342	0,67	0,36978
0,02	0,06389	0,35	0,26726	0,68	0,37253
0,03	0,07825	0,36	0,27105	0,69	0,37526
0,04	0,09035	0,37	0,27479	0,7	0,37796
0,05	0,10102	0,38	0,27848	0,71	0,38065
0,06	0,11066	0,39	0,28212	0,72	0,38333
0,07	0,11952	0,4	0,28571	0,73	0,38598
0,08	0,12778	0,41	0,28926	0,74	0,38861
0,09	0,13553	0,42	0,29277	0,75	0,39123
0,1	0,14286	0,43	0,29623	0,76	0,39383
0,11	0,14983	0,44	0,29966	0,77	0,39641
0,12	0,15649	0,45	0,30305	0,78	0,39898
0,13	0,16288	0,46	0,30639	0,79	0,40153
0,14	0,16903	0,47	0,30971	0,8	0,40406
0,15	0,17496	0,48	0,31298	0,81	0,40658
0,16	0,1807	0,49	0,31623	0,82	0,40908
0,17	0,18626	0,5	0,31944	0,83	0,41157
0,18	0,19166	0,51	0,32262	0,84	0,41404
0,19	0,19691	0,52	0,32576	0,85	0,4165
0,2	0,20203	0,53	0,32888	0,86	0,41894
0,21	0,20702	0,54	0,33197	0,87	0,42137
0,22	0,21189	0,55	0,33503	0,88	0,42378
0,23	0,21665	0,56	0,33806	0,89	0,42618
0,24	0,22131	0,57	0,34107	0,9	0,42857
0,25	0,22588	0,58	0,34405	0,91	0,43095
0,26	0,23035	0,59	0,347	0,92	0,43331
0,27	0,23474	0,6	0,34993	0,93	0,43566
0,28	0,23905	0,61	0,35283	0,94	0,43799
0,29	0,24328	0,62	0,35571	0,95	0,44032
0,3	0,24744	0,63	0,35857	0,96	0,44263
0,31	0,25153	0,64	0,3614	0,97	0,44493
0,32	0,25555	0,65	0,36422	0,98	0,44721
0,33	0,25951	0,66	0,36701	0,99	0,44949
				1	0,45175

Tabla # 3.1.

Hay experiencias donde la variación del tiempo es muy rápido en comparación con la velocidad de reacción, de manera que no es humanamente posible registrar el evento de manera confiable por lo que debemos emplear métodos alternativos empleando la tecnología.

Uno de estos métodos consiste en la interrupción de un haz de luz invisible (infra-roja) que actúa como switch (opto switch), cuya característica fundamental es la no intervención humana ya que la velocidad de respuesta del LED IR es muy corta, inclusive puede llegar a ser por debajo de la apreciación del cronómetro.

Capítulo # 4. Optocronómetro, diseño y construcción.

Para descartar el error causado por la velocidad de reacción humana se pensó en utilizar un cronómetro digital (figura # 4.1) cuyo interruptor no fuese activado por una persona. Se diseñó un sistema electrónico rápido, de bajo costo y que cuyo circuito sea lo más sencillo posible.



Figura # 4.1. Cronómetro digital.



Por consiguiente se pensó en utilizar un sistema de emisores y sensores ópticos infrarrojos que se consiguen con facilidad en las tiendas de electrónica, son de bajo costo, inclusive se encuentran en los mouse desechados de computadoras.

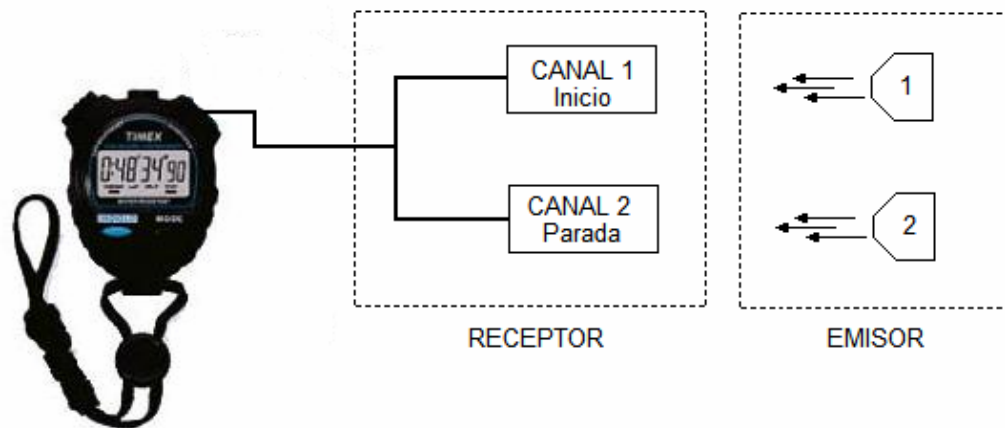
Básicamente el principio del switch óptico es el mismo utilizado en el diseño de mouse de computadoras; cuando incide o interrumpe un haz de luz IR sobre el sensor, se generan señales que traducen acciones bien definidas por el sistema de control.

Características de los Emisores y Sensores IR:

- Estos emisores y sensores IR de mouse, poseen la característica de que la radiación de emisión y recepción está en el orden de los 940 nm, esto los aleja de cualquier interferencia ambiental.
- Estos sensores simulan muy bien un swich electrónico, es decir, cuando les incide radiación IR se obtiene un nivel cero ó un voltaje cercano a cero, mientras que cuando se deja de incidir luz sobre el sensor, entonces se obtiene un nivel alto ó un voltaje cercano al de alimentación.
- Son eficientes y trabajan en velocidades superiores a los 4 nanosegundos.
- El costo es bajo, los LED IR los tomamos de los mouse dañados.

Swich electrónico

El siguiente paso consiste en la exposición del circuito electrónico.
En la Figura # 4.2 se muestra un diagrama del sistema.



^a
Figura # 4.2. Diagrama del sistema.

Lo primero es conseguir un cronómetro digital. Hay una gran variedad en el mercado, seguramente cualquiera de ellos nos servirá.

Luego, destapamos el cronómetro, con mucho cuidado y soldamos un par de cables en el swich identificado como “start/stop” (inicio/parada). El cronómetro queda inalterado, puede seguir usándose de manera convencional o por medio de un swich externo, en este caso, opto-swich.

Circuito electrónico.

La figura # 4.3 muestra el circuito electrónico.

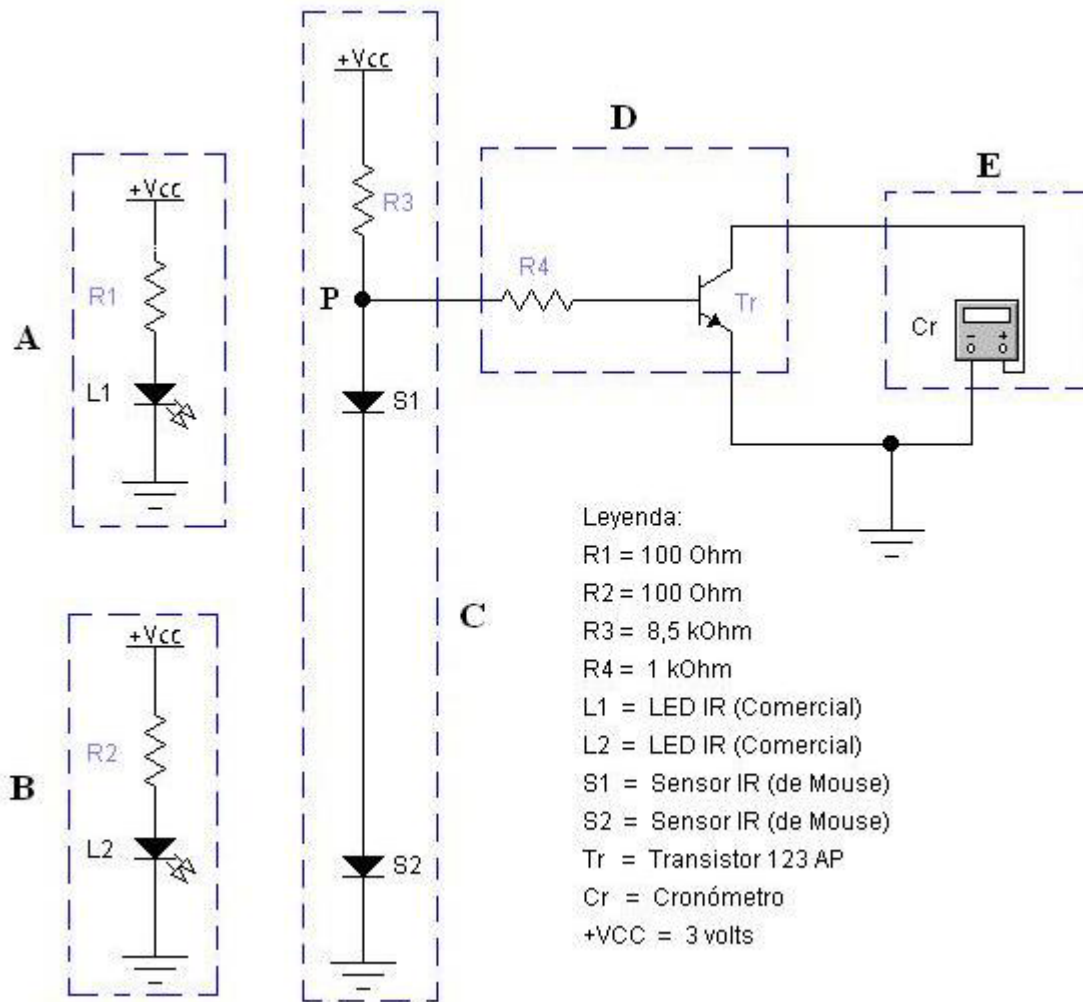


Figura # 4.3. Circuito electrónico.

Se han escogido componentes económicos, fácil de conseguir en cualquier comercio especializado y algunos de ellos lo podemos conseguir como material de desecho, tal como $S1$ y $S2$.

El voltaje de alimentación $+VCC$ es de 3 voltios, perfectamente podemos utilizar dos pilas AA o AAA.

El circuito puede estar montado en una lamina de baquelita, para facilitar las soldaduras de los elementos.

Funcionamiento del circuito.

En el Bloque **A** y **B** se tiene la configuración de los LED IR (Diodos Emisores de Luz Infrarrojos), las resistencias que están conectadas en serie (R_1 y R_2) a cada uno de los LED IR (L_1 y L_2) son utilizadas como divisor de tensión puesto que el voltaje de los LED en su zona operativa es de 1,5 voltios aproximadamente. El valor de las resistencias R_1 y R_2 son calculados con la ley de Ohm.

En el Bloque **C** están polarizados los SENSORES IR (sensores infrarrojos), continuamente ellos están recibiendo radiación IR producida por L_1 y L_2 respectivamente, cuando uno de ellos deja de recibir radiación IR entonces la resistencia interna de los sensores IR aumenta por lo tanto aumenta la caída de tensión en el punto **P**.

En el bloque **D** está un transistor que hace el trabajo del swich electrónico activado por los sensores IR, éste transistor está configurado de modo corte, que, cuando una pequeña corriente pasa por la base, la corriente de Emisor-Colector es máxima, es decir que entre el Emisor y el Colector existe un corto circuito y esto hace que el cronómetro se active (bloque **E**). La resistencia que está conectada a la base del transistor limita la corriente para que esté trabaje en modo de corte.

El valor de la resistencia R_3 es dado por resultados experimentales. El procedimiento es el siguiente:

Se utiliza un emisor IR colocado paralelo al sensor IR de manera que el rayo del emisor incida perpendicularmente sobre el sensor IR. Se utiliza el circuito que se describe en el bloque **A** y **C** la figura 4.3 ó en la figura # 4.4. Se utiliza una resistencia R_3 variable de aproximadamente unos 80 kOhm, se mide el voltaje en S_1 y la corriente que pasa por S_1 .

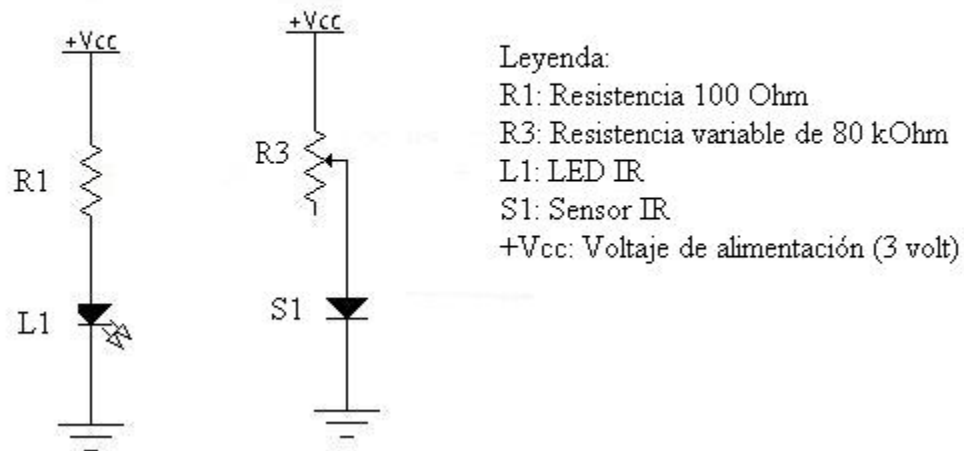
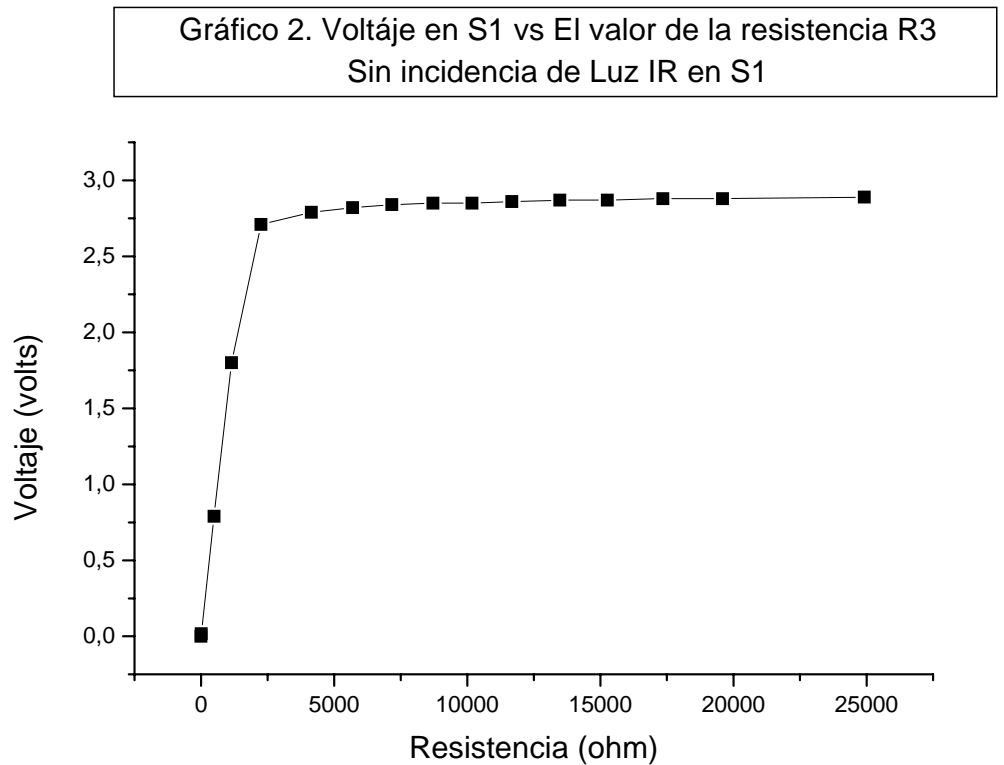
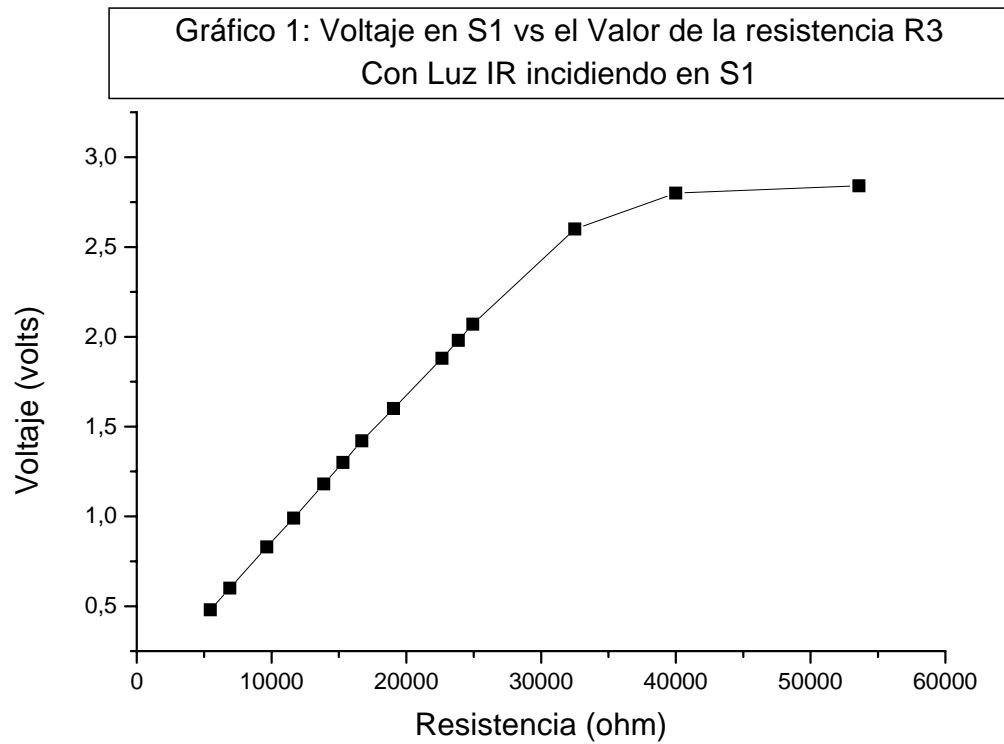


Figura # 4.4. Diagrama de conexiones para determinar el valor de R_3 .

Del análisis anterior, se realizaron los gráficos que se presentan a continuación:



En el gráfico 1 se puede apreciar que para un valor de R_3 entre 5 kOhm y 10 kOhm el sensor IR el voltaje en S1 es prácticamente cero mientras que en el gráfico 2 se observa que para estos mismos valores de R_3 el valor del voltaje en S1 es un voltaje alto cercano al valor de +Vcc. Entonces para nuestro experimento utilizamos una resistencia de 8,5 kOhm.

Montaje del circuito.

El circuito podemos ensamblarlo junto con las pilas, en una caja preferiblemente plástica y los emisores y sensores podemos ubicarlo convenientemente en el experimento que deseamos medir el tiempo, sin embargo, este sistema funciona adecuadamente para una distancia máxima entre el emisor y el sensor de 2,5 cm.

En el presente trabajo se empleó el sistema para medir el tiempo que tarda en caer libremente una esferita.

Para guiar el movimiento, la esferita es lanzada dentro de un tubo cristalino, de manera que los emisores y sensores, son colocados externamente en anillos de madera que pueden deslizarse a través del tubo, como se muestra en la figura # 4.5.

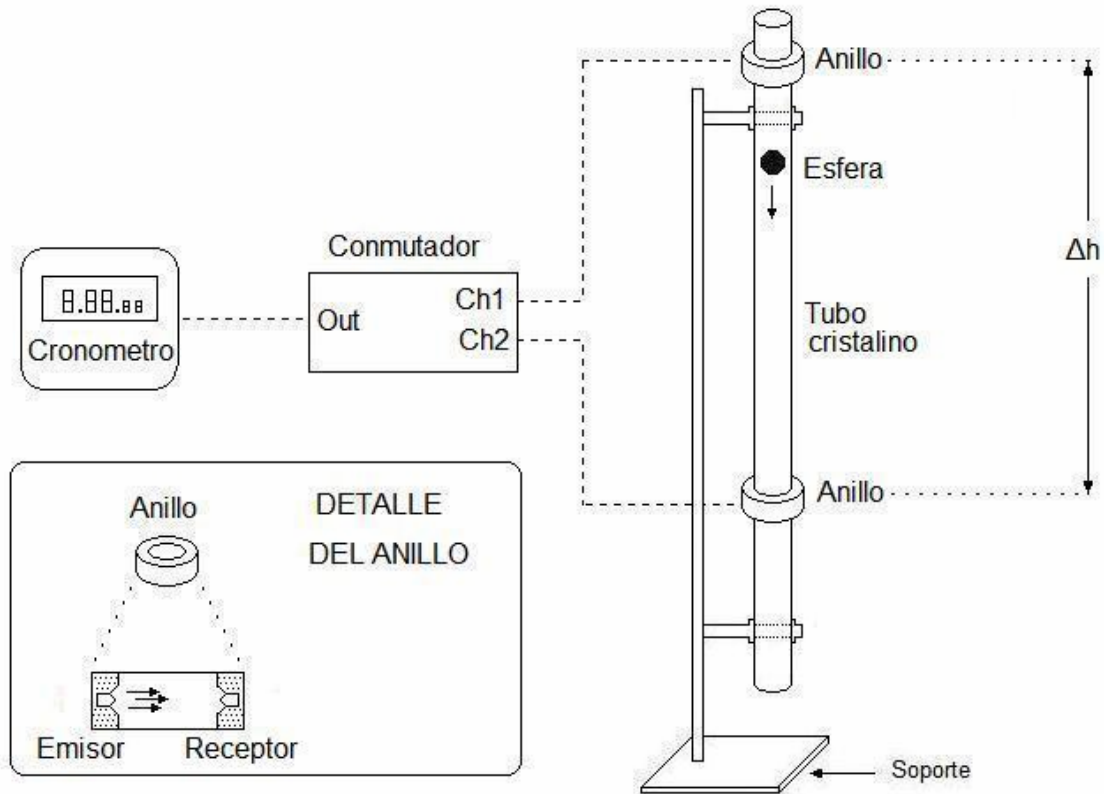


Figura # 4.5. Montaje experimental para caída libre.

En la figura # 4.6 se muestra el esquema de la construcción de un anillo de madera de 2,5 cm de diámetro interno y 5 cm de diámetro externo. El emisor y el Sensor IR están instalados en la parte mas cercana del diámetro interno del anillo y lo mas paralelo uno del otro, esto hace que el rayo del LED IR incida perpendicularmente sobre la superficie del Sensor IR.

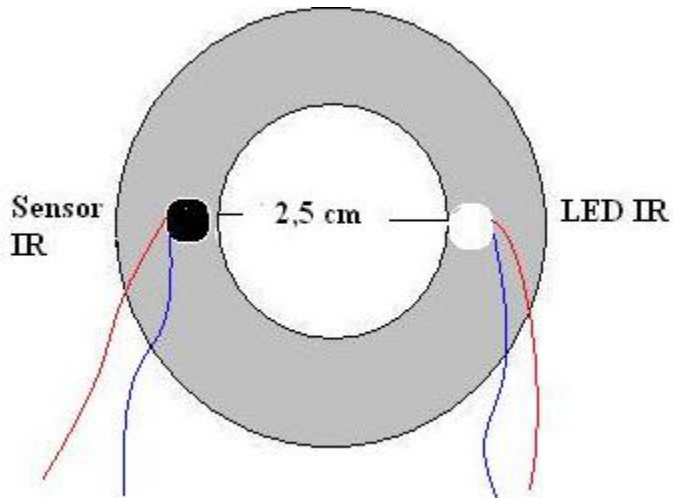


Figura # 4.6. Esquema del corte transversal del montaje del LED y del Sensor IR sobre el anillo de madera.

La figura # 4.7 presenta el LED IR y el diagrama esquemático.



Figura # 4.7.a. Fotografía de LED IR comerciales utilizados en el experimento.



Figura # 4.7.b. Símbolo del LED IR indicando su polaridad.

Para determinar el ánodo y cátodo en el LED IR nos guiamos por:

- El alambre más largo es el ánodo y el más corto es el cátodo.

Otra forma es:

- El electrodo más pequeño dentro del bulbo es el ánodo y el electrodo mas grande dentro del bulbo es el cátodo.

A continuación, la figura # 4.8, presenta el Sensor IR y el diagrama esquemático.



Figura # 4.8.a. Fotografía del Sensor IR utilizado

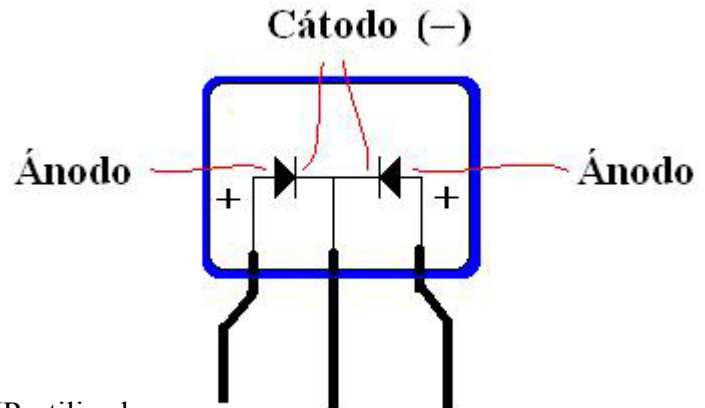


Figura # 4.8.b. Diagrama esquemático de la Configuración interna del Sensor IR

En la figura # 4.8.b se puede apreciar que este componente posee 2 sensores IR internamente, pero en nuestro propósito utilizaremos solo uno y no existe diferencia en usar cualquiera de los dos.

En la figura # 4.9 se muestra el LED IR y el Sensor IR montado sobre el cilindro de madera, este cilindro de madera tiene 2 cm de espesor.

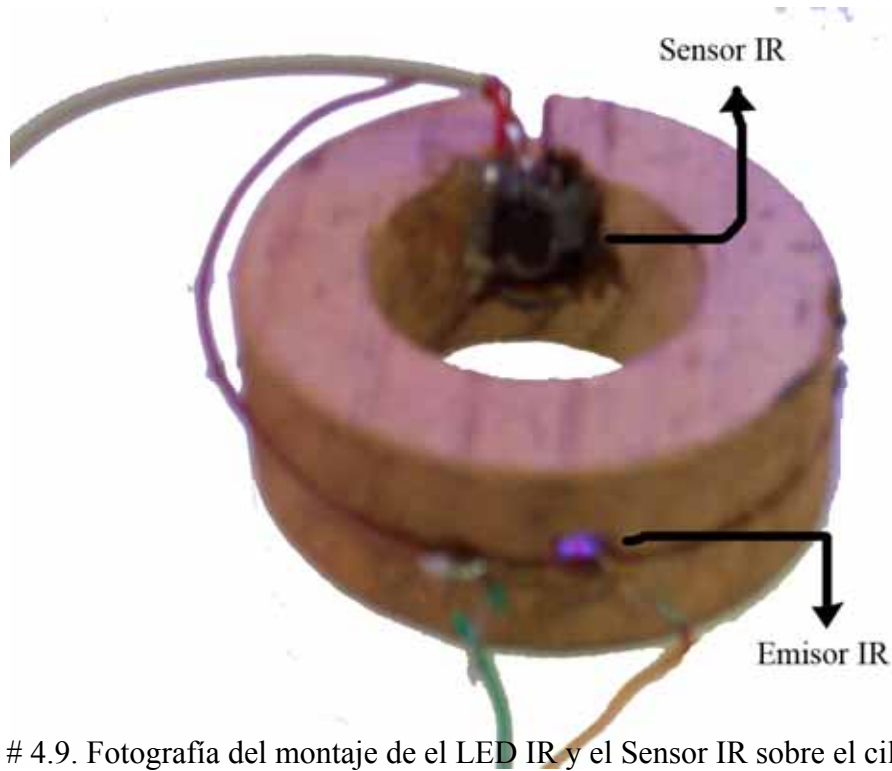


Figura # 4.9. Fotografía del montaje de el LED IR y el Sensor IR sobre el cilindro de madera.

En la figura # 4.10, se muestra los dos cilindros de madera montados sobre un tubo de vidrio de un diámetro un poco más pequeño que el diámetro interno del cilindro de madera, de tal manera que los cilindros de madera entren ajustados al tubo de vidrio. El tubo de vidrio que se usó para las pruebas tiene un diámetro externo de 2,43 cm y el diámetro interno es de 2,13 cm. La longitud del tubo es de 60 cm.

Este montaje es con el fin de que al momento de lanzar la partícula, se obligue a pasar por la parte interna de los cilindros de madera.



Figura # 4.10. Montaje de los dos cilindros de madera sobre el tubo de vidrio.

En la figura # 4.11 se muestra una fotografía del cronómetro utilizado en el diseño experimental. Las características son las siguientes:

Marca: JUNSO

Lectura mínima: (1) Una centésima de segundo



Figura # 4.11. Cronómetro utilizado en el diseño.

Capítulo 5.

Resultados experimentales.

Después de realizar los montajes respectivos del circuito indicado anteriormente junto con los emisores y sensores IR procedimos a montar los anillos de madera en el tubo de vidrio que descansaba en el soporte.

Variando la distancia entre los anillos desde 10 cm hasta 60 cm procedimos a lanzar a través del tubo de vidrio, una partícula de 2 cm de diámetro aproximadamente para estudiar la reacción del cronómetro. Se observó que para distancias pequeñas entre los dos anillos, el cronómetro funciona de manera errática. Creemos que es debido a que el pulso generado en el sensor cuando la partícula pasa por éste es menor a 6 milisegundos, y el cronómetro se activa con un pulso mínimo de 10 milisegundos.

En caída libre, se ha obtenido que la distancia mínima entre los anillos para un funcionamiento confiable es de 50 cm.

Se ha probado exitosamente en el movimiento retardado por un líquido viscoso M.R.U.

Pueden modificarse el montaje de los sensores para colocarlos en una rampa y estudiar el M.U.V.

El experimentador encontrará un sinnúmero de aplicaciones y montajes de este sistema óptico, versátil, elegante y económico.

Capítulo 6. Bibliografía.

1. Física Elemental. Alberto P Maiztegui y Guillermo Boido. Editorial Kapelusz.
2. <http://es.wikipedia.org/wiki/Cron%C3%B3metro>
3. <http://www.educar.org/inventos/cronometro.asp>
4. <http://es.wikipedia.org/wiki/Cron%C3%B3metro>
5. <http://www.elmundo.es/salud/2000/372/00366.html>
6. <http://www.canastad3.com/baloncesto/entrenamiento/preparacion%20fisica/velocidad.shtml>
7. <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EplIEFkEkyiENwassg.php>