

## **INDICE**

1.-INTRODUCCIÓN.....	- 2 -
1.2.-¿QUÉ ES LA VELOCIDAD LÍMITE? .....	- 3 -
2.-TEORÍA DEL TRABAJO .....	- 5 -
2.1.- ¿QUÉ SON LOS LÍQUIDOS? .....	- 5 -
2.2.-FLUIDOS UTILIZADOS .....	- 5 -
2.3.-PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES .....	- 6 -
2.4.-TEMPERATURA.....	- 7 -
2.5.-BIOGRAFIA DE STOKES.....	- 8 -
2.6.-FÓRMULA DE STOKES.....	- 9 -
2.7.-NÚMERO DE REYNOLDS .....	- 9 -
2.8.-DENSIDAD.....	- 10 -
2.9.-TENSIÓN SUPERFICIAL .....	- 10 -
2.10.-VISCOSIDAD .....	- 11 -
2.11.-PRESIÓN .....	- 11 -
3.-EXPERIMENTO DEL TRABAJO .....	- 12 -
3.1.-MATERIA UTILIZADO .....	- 12 -
3.2.-PROCEDIMIENTO.....	- 14 -
3.3.- PRÁCTICA 1: .....	- 18 -
3.4.-PRÁCTICA 2: .....	- 20 -
3.5.-PRACTICA 3: .....	- 22 -
3.6.-PRÁCTICA 4: .....	- 24 -
3.7.-PRÁCTICA 5: .....	- 26 -
3.8.-PRÁCTICA 6: .....	- 28 -
4.-OTROS CALCULOS .....	- 30 -
4.1.-VELOCIDAD ALCANZADA POR EL CUERPO ANTES DE CONTACTAR CON EL FLUIDO .....	- 30 -
4.2.-ERROR EN LA VELOCIDAD.....	- 30 -
4.3.-CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS .....	- 31 -
4.4.-CALCULO DEL VALOR DE LA VELOCIDAD LÍMITE TEORICAMENTE..	- 32 -
32 -	
5.-CONCLUSIONES.....	- 32 -
6.-BIBLIOGRAFÍA.....	- 33 -

## 1.-INTRODUCCIÓN

Este es un trabajo de experimentación sobre la caída de cuerpos en fluidos, donde se hará un estudio de las posibles variaciones que pueda sufrir la velocidad límite que alcanza el cuerpo dentro de un fluido.

La realización de este trabajo comenzó a mediados de noviembre del año 2001.

Me he centrado en este trabajo de experimentación motivado principalmente por la curiosidad y el interés hacia este tema y mis objetivos en este trabajo son los siguientes:

- a) Hacer de la dinámica de fluidos un tema de interés general, y si esto no puede ser, darlo a conocer a toda aquella persona que no lo conozca.
- b) Descubrir a través de la experimentación algún efecto que comporte una variación en la velocidad límite de un cuerpo en un fluido.

Mi interés inicial parte de dos hipótesis, que son las siguientes:

“¿Comporta alguna variación en la velocidad límite la distancia de contacto de un cuerpo sobre un fluido?”

“¿Comporta alguna variación en la velocidad límite la utilización de distintos tipos de fluidos?”

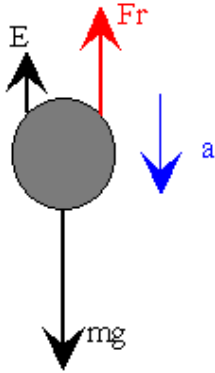
Mis intereses personales son los siguientes:

Mi interés personal sería conocer más a fondo el tema de la dinámica de fluidos a través de la experimentación, ya que creo que lo que aprenda durante la realización de este trabajo me puede servir para la realización de estudios posteriores o simplemente para la vida cotidiana. Aunque el tema que he seleccionado es un tema muy específico creo que sería interesante saber sobre este tema. Creo que a pesar de que este trabajo se centra en una reducida parte del tema de la dinámica de fluidos me ha servido de excusa para resolver otros muchos interrogantes que tenía sobre este tema.

## 1.2-¿QUÉ ES LA VELOCIDAD LÍMITE?

Para poder responder a esta pregunta se hará mención de factores que influyen en ésta para una mejor comprensión.

Cuando un cuerpo se desplaza a través de un fluido viscoso actúan sobre éste las siguientes fuerzas:



- Su propio peso.
- El empuje según nos dice el principio de Arquímedes.
- La fuerza de rozamiento al estar el cuerpo sumergido en el fluido.

Una vez dichas las fuerzas resultantes del movimiento de una esfera dentro de un fluido, pasare ha hacer una definición de las fórmulas que nos permiten calcular el valor de estas fuerzas.

El peso es el producto de la masa (m) por la aceleración de la gravedad (g). La masa es el producto de la densidad del material ( $\rho_m$ ) por el volumen de la esfera (v).

$$mg = \rho_e \frac{4}{3} \pi R^3 g$$

El volumen de la esfera es:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Para la realización del cálculo de la densidad del material utilizaremos la siguiente formula:

$$\rho m = \frac{m}{V}$$

De acuerdo con el *principio de Arquímedes\**, el empuje que experimenta el cuerpo sumergido en el fluido es igual al producto de la densidad del fluido por el volumen del cuerpo sumergido, y por la aceleración de la gravedad.

$$E = \rho_f \frac{4}{3} \pi R^3 g$$

La tercera fuerza como he dicho anteriormente es la fuerza de rozamiento, y viene dada por la siguiente ecuación:

$$F_r = 6 \pi R \eta v$$

Esta expresión se denomina *ley de Stokes\**.

La ecuación de movimiento de la caída del cuerpo en el fluido será, por lo tanto:

$$ma = mg - E - F_r$$

Una vez explicados los factores que influyen en la velocidad límite pasaré a definir el concepto de velocidad límite.

**La velocidad límite es la velocidad del cuerpo cuando su aceleración es 0, es decir, cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre la esfera es 0.**

Para la obtención de la ecuación de la velocidad límite tengo de despejar la velocidad de las ecuaciones de las que anteriormente ya he mencionado, por lo tanto, podemos decir que:

$$mg = E + Fr$$

Como anteriormente ya hemos tratado que estos valores pasaremos a substituirlos por cada una de sus ecuaciones.

$$\rho_m v g = \rho_f v g + 6 \pi R \eta V$$

De la ecuación anterior podemos despejar la velocidad.

$$V = \frac{\rho_m v g - \rho_f v g}{6 \pi R \eta}$$

Una vez aislada la velocidad solo nos queda arreglar el contenido de la ecuación.

$$V_l = \frac{(\rho_m - \rho_f) \frac{4}{3} \pi R^3 g}{6 \pi R \eta}$$

Una vez arreglado el contenido de la ecuación, llegamos a la ecuación de la velocidad límite.

$$v_l = \frac{2g(\rho_s - \rho_f)R^2}{9\eta}$$

*El símbolo (\*) indica que el concepto notificado esta explicado en la teoría del trabajo.*

## **2.-TEORÍA DEL TRABAJO**

### **2.1.- ¿QUÉ SON LOS LÍQUIDOS?**

Es una sustancia en un estado de la materia intermedio entre los estados sólido y gaseoso. Las moléculas de los líquidos no están tan próximas como las de los sólidos, pero están menos separadas que las de los gases. Los estudios de líquidos con rayos X han demostrado la existencia de un cierto grado de regularidad molecular que abarca unos pocos diámetros moleculares. En algunos líquidos, las moléculas tienen una orientación preferente, lo que hace que el líquido presente propiedades anisotrópicas (propiedades, como el índice de refracción, que varían según la dirección dentro del material). En condiciones apropiadas de temperatura y presión, la mayoría de las sustancias pueden existir en estado líquido. A presión atmosférica, sin embargo, algunos sólidos se subliman al calentarse; es decir, pasan directamente del estado sólido al estado gaseoso. La densidad de los líquidos suele ser algo menor que la densidad de la misma sustancia en estado sólido. Algunas sustancias, como el agua, son más densas en estado líquido.

Los líquidos se caracterizan por una resistencia al flujo llamada viscosidad. La viscosidad de un líquido disminuye al aumentar la temperatura y aumenta al crecer la presión. La viscosidad también está relacionada con la complejidad de las moléculas que constituyen el líquido: es baja en los gases inertes licuados y alta en los aceites pesados. La presión de un vapor en equilibrio con su forma líquida, la llamada *presión de vapor*, sólo depende de la temperatura; su valor a una temperatura dada es una propiedad característica de cada líquido. También lo son el punto de ebullición, el punto de solidificación y el calor de vaporización (esencialmente, el calor necesario para transformar en vapor una determinada cantidad de líquido). En ciertas condiciones, un líquido puede calentarse por encima de su punto de ebullición; los líquidos en ese estado se denominan supercalentados. También es posible enfriar un líquido por debajo de su punto de congelación.

### **2.2.-FLUIDOS UTILIZADOS**

#### **Agua:**

Se le asigna el nombre “Agua” al compuesto en estado líquido formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El agua la podemos encontrar en los tres estados de la materia. En estado líquido la podemos encontrar en lagos, ríos, mares, océanos..., en estado sólido podemos encontrarla en glaciares, cascos polares... y en estado gaseoso la encontramos en forma de vapor, niebla...

Todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, por lo que es considerada el disolvente universal.

El agua pura es un líquido inodoro e insípido, adapta un color o matiz azul que solo es detectable a grandes profundidades. El agua a presión atmosférica (760 mm de mercurio) tiene un punto de ebullición de 100 °C y un punto de congelación de 0 °C.

A diferentes temperaturas el agua varía su densidad. La densidad máxima se alcanza a la temperatura de 4 °C. El agua existe en estado sobre enfriado, es decir, puede permanecer en estado líquido por debajo de su punto de congelación (0 °C), pero con solo agitarla, descendiendo mas su temperatura o añadiendo partículas de hielo, podemos conseguir su congelación.

### **Aceite de girasol:**

El aceite de girasol juntamente con otros alimentos participa en la formación de la llamada dieta mediterránea. El aceite de girasol es un aditivo para las comidas, utilizado frecuentemente para el preparado de los alimentos, esa viene a ser su principal utilidad.

Sus propiedades proporcionan al consumidor una serie de beneficios, siempre que éste se tomado en pequeñas raciones, como por ejemplo, una mejora de la circulación sanguínea.

El aceite de girasol es un líquido que por sus características es más viscoso que el agua. Para evitar enturbecimientos en el aceite de girasol es preferible mantenerlo fuera del alcance de la luz y mantenerlo a temperaturas que oscilen entre los 15 °C y 20 °C.

### **Vaselina líquida:**

La vaselina líquida la podemos encontrar fácilmente en la vida cotidiana, ya que por ejemplo, es un componente fundamental en una gran variedad de medicamentos (gracias a su propiedad lubricante), también es un compuesto utilizado para el cuidado de la piel (gracias a su propiedad hidratante).

La viscosidad de la vaselina líquida es inferior a otro tipo de líquidos, como por ejemplo, el aceite.

La vaselina líquida es mayoritariamente utilizada en la industria de los preservativos.

## **2.3.-PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES**

El principio de Arquímedes afirma que *“todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado”*.

La explicación del principio de Arquímedes consta de dos partes:

### **1) El estudio de las fuerzas sobre una porción de fluido en equilibrio con el resto del fluido.**

Consideremos, en primer lugar, las fuerzas sobre una porción de fluido en equilibrio con el resto de fluido. La fuerza que ejerce la presión del fluido sobre la superficie de separación es igual a  $p \cdot dS$ , donde  $p$  solamente depende de la profundidad y  $dS$  es un elemento de superficie.

Puesto que la porción de fluido se encuentra en equilibrio, la resultante de las fuerzas debidas a la presión se debe anular con el peso de dicha porción de fluido. A esta resultante la denominamos empuje y su punto de aplicación es el centro de masa de la porción de fluido, denominado centro de empuje.

De este modo, para una porción de fluido en equilibrio con el resto se cumple

$$\text{Empuje} = \text{peso} = r_f \cdot g \cdot V$$

El peso de la porción de fluido es igual al producto de la densidad del fluido  $r_f$  por la intensidad de la gravedad  $g$  y por el volumen de dicha porción  $V$ .

## **2) La sustitución de dicha porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones.**

Si sustituimos la porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones. Las fuerzas debidas a la presión no cambian, por tanto, su resultante que hemos denominado empuje es el mismo, y actúa sobre el mismo punto, es decir, sobre el centro de empuje.

Lo que cambia es el peso del cuerpo y su punto de acción que es su propio centro de masa que puede o no coincidir con el centro de empuje.

Por tanto, sobre el cuerpo actúan dos fuerzas el empuje y el peso del cuerpo, que no tienen en principio el mismo valor ni están aplicadas en el mismo punto.

En los casos más simples, supondremos que el sólido y el fluido son homogéneos y por tanto coinciden el centro de masa del cuerpo con el centro de empuje.

## **2.4.-TEMPERATURA**

De una manera cualitativa, nosotros podemos describir la temperatura de un objeto como aquella determinada por la sensación de tibio o frío al estar en contacto con él.

Esto es fácil de demostrar cuando dos objetos se colocan juntos (los físicos lo definen como contacto térmico), el objeto caliente se enfría mientras que el más frío se calienta hasta un punto en el cual no ocurren más cambios, y para nuestros sentidos, ambos tienen el mismo grado de calor. Cuando el cambio térmico ha parado, se dice que los dos objetos (los físicos los definen más rigurosamente como sistemas) están en *equilibrio térmico*. Entonces podemos definir la temperatura de un sistema diciendo que la temperatura es aquella cantidad que es igual para ambos sistemas cuando ellos están en equilibrio térmico.

Si nuestro experimento fuese hecho con más de dos sistemas, encontraríamos que muchos sistemas pueden ser llevados a equilibrio térmico simultáneamente; el equilibrio térmico no depende del tipo de objeto usado. Pero siendo más preciso:

*Si dos sistemas están separadamente en equilibrio térmico con un tercero, entonces ellos deben estar en equilibrio térmico entre sí.*

Y ellos tienen la misma temperatura sin tomar en cuenta el tipo de sistema que sea.

Lo expresado en letras itálicas es llamado *Ley Cero de la Termodinámica* y puede ser escrita más formalmente como:

Si tres o más sistemas están en contacto térmico entre sí y todos en equilibrio al mismo tiempo, entonces cualquier par que se tome separadamente están en equilibrio entre sí.

Ahora uno de los tres sistemas puede ser calibrado como un instrumento para medir temperatura, definiendo así un termómetro. Cuando uno calibra un termómetro, este se pone en contacto con el sistema hasta que alcanza el equilibrio térmico, obteniendo así una medida cuantitativa de la temperatura del sistema. Por ejemplo, un termómetro clínico de mercurio es colocado bajo la lengua del paciente y se espera que alcance el equilibrio térmico con su boca. Podemos ver como el líquido plateado (mercurio) se expande dentro del tubo de vidrio y se puede leer en la escala del termómetro para saber la temperatura del paciente.

## **2.5.-BIOGRAFIA DE STOKES**

Nació el 13 de agosto de 1819 en Skreen, Condado de Sligo (Irlanda) y murió el 1 de febrero de 1903 en Cambridge (Inglaterra).



Su padre y madre tuvieron seis hijos de un matrimonio entre un pastor protestante y la hija de un pastor, de ahí se puede entender la educación tan religiosa que recibió George Stokes. Estudió en Skreen hasta los 13 años, después continuó estudiando en la escuela del reverendo R.H. Wall en Dublín. A los dieciséis años se trasladó a Inglaterra para estudiar en Bristol, dos años más tarde ingresó en Embroque Collage de Cambridge.

Siguiendo el consejo de Hopkins, su director en Cambridge, Stokes se dedicó a estudiar la hidrodinámica, obtuvo importantes ecuaciones para el movimiento de fluidos incompresibles que tenían dentro fricción interna. A partir del año 1846 Stokes publicó algunos trabajos sobre otros campos, incluidos la aberración de la luz.

En 1849 Stokes obtuvo una licenciatura de matemáticas en Cambridge, es reconocido en varias galas honoríficas y elegido secretario de Royal Society en 1854. A partir del año de su casamiento (1857), Stokes cambia su principal actividad, dejando en gran medida la investigación teórica y dedicándose a asuntos administrativos y de trabajo experimental. En el año 1885 fue elegido Presidente de Royal Society, cargo que desempeñó hasta 1890.

## **2.6.-FÓRMULA DE STOKES**

Cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido viscoso la resistencia que presenta el medio depende de la velocidad relativa y de la forma del cuerpo. Cuando la velocidad relativa es inferior a cierto valor crítico, el régimen de flujo continúa siendo laminar y la resistencia que ofrece el medio es debida casi exclusivamente a las fuerzas de la viscosidad, que se oponen al resbalamiento de unas capas de fluido sobre otras, a partir de la capa límite adherida al cuerpo. Se ha comprobado experimentalmente que la resultante de estas fuerzas es una función de la primera potencia de la velocidad relativa de la forma.

Par el caso de una esfera, la expresión de dicha fuerza se conoce como la fórmula de Stokes.

$$F_v = 6 \pi R \eta v$$

Donde  $R$  es el radio de la esfera,  $v$  su velocidad y  $h$  la viscosidad del fluido. Decir, que la formula de Stokes permite cálculos de la  $F_r$  cuando las velocidades son relativamente bajas. Dicha formula solo es valida si el numero de Reynolds es inferior al valor de 1.

## **2.7.-NÚMERO DE REYNOLDS**

El número de Reynolds es un número que se obtiene mediante el cálculo de una serie de constantes. Este numero nos indicara se la ley de Stokes es válida, ya que solo es válida si el numero de Reynolds es menor que 1.

El número de Reynolds es un número sin unidades, que depende del experimento y solo es válido para esferas.

El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot R}{h}$$

Donde ( $\rho$ ) es la densidad del líquido, ( $v$ ) es la velocidad obtenida experimentalmente, ( $R$ ) es el radio de la esfera y ( $\eta$ ) es la viscosidad del líquido.

## 2.8.-DENSIDAD

La densidad se define como el cociente entre la masa y el volumen de un cuerpo.

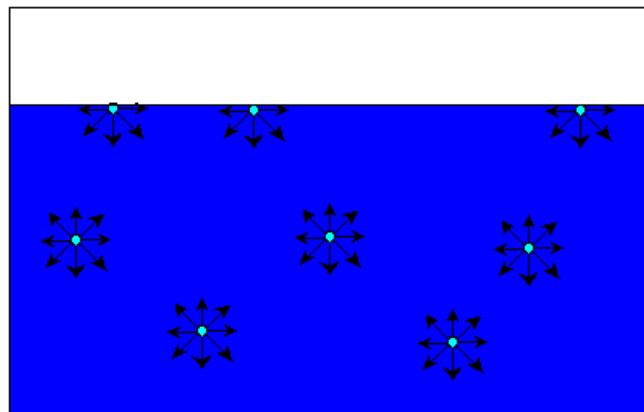
$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde la letra m adopta el significado de masa y la v de volumen.

## 2.9.-TENSIÓN SUPERFICIAL

La tensión superficial es la condición existente en la superficie libre de un líquido, semejante a las propiedades de una membrana elástica bajo tensión. La tensión es el resultado de las fuerzas moleculares que ejercen una atracción no compensada hacia el interior del líquido sobre las moléculas individuales de la superficie; esto se refleja en la considerable curvatura en los bordes donde el líquido está en contacto con la pared del recipiente. Concretamente, la tensión superficial es la fuerza por unidad de longitud de cualquier línea recta de la superficie líquida que las capas superficiales situadas en los lados opuestos de la línea ejercen una sobre otra.

La tendencia de cualquier superficie líquida es hacerse lo más reducida posible como resultado de esta tensión, como ocurre con el mercurio, que forma una bola casi redonda cuando se deposita una cantidad pequeña sobre una superficie horizontal. La forma casi perfectamente esférica de una burbuja de jabón, que se debe a la distribución de la tensión sobre la delgada película de jabón, es otro ejemplo de esta fuerza. La tensión superficial es suficiente para sostener una aguja colocada horizontalmente sobre el agua.

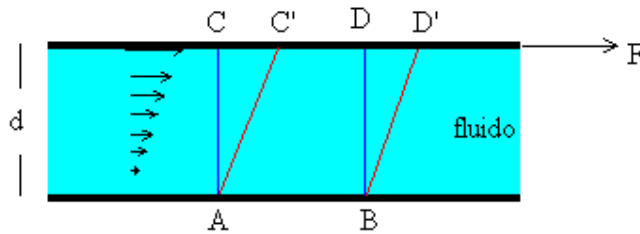


Este dibujo nos muestra las moléculas del interior de un líquido.

## 2.10.-VISCOSIDAD

La viscosidad es el rozamiento interno entre las capas de fluido. A causa de la viscosidad, es necesario ejercer una fuerza para obligar a una capa de fluido a deslizarse sobre otra.

En la figura, se representa un fluido comprendido entre una lámina inferior fija y una lámina superior móvil.



La capa de fluido en contacto con la lámina móvil tiene la misma velocidad que ella, mientras que la adyacente a la pared fija está en reposo. La velocidad de las distintas capas intermedias aumenta uniformemente entre ambas láminas tal como sugieren las flechas. Un flujo de este tipo se denomina laminar.

Como consecuencia de este movimiento, una porción de líquido que en un determinado instante tiene la forma  $ABCD$ , al cabo de un cierto tiempo se deformará adquiriendo la forma  $ABC'D'$ .

Mediante expresiones matemáticas la fórmula de la viscosidad se puede definir así:

$$f/S = \eta (v/y)$$

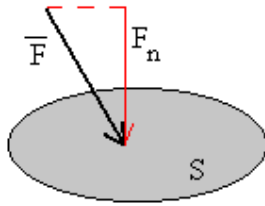
A continuación despejamos la viscosidad de la ecuación anterior:

$$\eta = (f/S) \cdot (y/v)$$

La viscosidad en el sistema internacional no tiene nombre aunque se suele expresar en  $N \cdot s / m^2$ . En el sistema cegesimal la unidad de viscosidad se denomina poise (P).

## 2.11.-PRESIÓN

Se define como la fuerza ejercida perpendicularmente por unidad de superficie. Si nos interesa hallar la presión en un punto se deberá tomar el cociente entre la fuerza normal aplicada sobre una superficie que contenga este punto y el valor de la superficie, siendo ésta tan pequeña que tienda a ser nula.



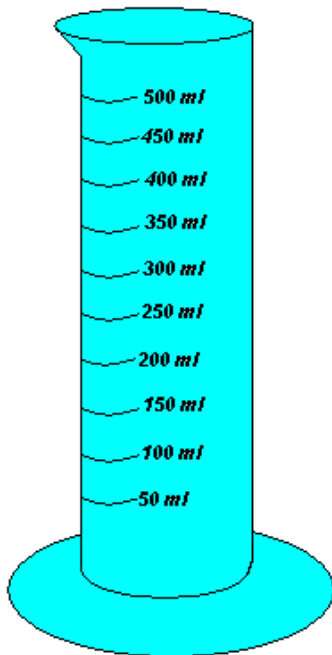
La presión media ejercida sobre una superficie no es más que el cociente de dividir la fuerza total por la superficie de aquella.

$$p = \frac{F}{S}$$

Donde F adopta el significado de fuerza y S de la superficie. La unidad de medida de la presión recibe el nombre de Pascal (Pa).

### **3.-EXPERIMENTO DEL TRABAJO**

#### **3.1.-MATERIA UTILIZADO**



Probeta de cristal (500ml)



Bola de plástica



Embudo de cristal



Balanza de precisión



Cronometro



Cepillo



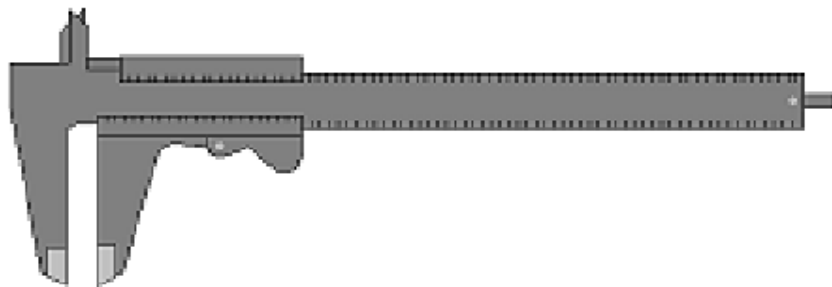
Agua



Aceite de girasol



Vaselina líquida



Pie de rey



Regla

### 3.2.-PROCEDIMIENTO

En este apartado se redactan los pasos a seguir para la realización de la *practica 1*.

- 1) Cojo una probeta de 500 ml y con una regla graduada en centímetros divido la probeta en intervalos de 5 cm, hasta obtener 5 intervalos de 5 cm cada uno de ellos.
- 2) Relleno la probeta de agua hasta sobrepasar 2.5 cm respecto al punto 0, para que los efectos de superficie de los fluidos no afecten al tiempo de varias medidas en las mismas circunstancias en el primer intervalo.
- 3) Sujeto la esfera de plástico a una altura de 2.5 cm respecto al fluido, dejándola caer y calculando el tiempo transcurrido desde que pasa por el punto 0 hasta que llega al final del primer intervalo (5cm), mediante un cronometro. Esta operación se repetirá 5 veces para que conseguir un valor más exacto.
- 4) El procedimiento 3 se repetirá con los siguientes intervalos:
  - 0cm / 10cm.
  - 0cm / 15cm.
  - 0cm / 20cm.
  - 0cm / 25cm.
- 5) Una vez obtenidos los tiempos correspondientes a cada intervalo ya puedo calcular el valor medio, que se realiza a partir de la siguiente formula:

$$\text{Valor medio} = \frac{M + M + M + M + M}{N^{\circ} M}$$

Donde M representa cada una de las cinco medidas obtenidas y N° M representa el numero de medidas introducidas en la formula, que en mi caso son 5 medidas.

- 6) Una vez obtenidos los valores medios de los diferentes intervalos ya puedo calcular la velocidad en la que cae la esfera de plástico en cada uno de los intervalos a través de la siguiente formula:

$$V = \frac{\Delta X}{\Delta T} = \frac{X_f - X_o}{T_f - T_o}$$

Donde la posición final menos la posición inicial de cada uno de los intervalos dividida por el tiempo final menos el tiempo inicial de cada uno de los intervalos nos permitirá el cálculo de la velocidad que alcanza la esfera en ese intervalo.

- 7) Una vez obtenidos los tiempos y las velocidades puedo pasar a la realización de graficas que muestren el comportamiento de la velocidad.

8) Para finalizar, he recogido y limpiado el material utilizado durante el experimento, para posteriormente poder realizar la siguiente practica. Este apartado redacta los pasos a seguir para la realización de la *practica 2*.

- 1) Cojo una probeta de 500 ml y con una regla graduada en centímetros divido la probeta en intervalos de 5 cm, hasta obtener 5 intervalos de 5 cm cada uno de ellos.
- 2) Relleno la probeta de agua hasta sobrepasar 2.5 cm respecto al punto 0, para que los efectos de superficie de los fluidos no afecten al tiempo de varias medidas en las mismas circunstancias en el primer intervalo.
- 3) Sujeto la esfera de plástico a una altura de 5 cm respecto al fluido, dejándola caer y calculando el tiempo transcurrido desde que pasa por el punto 0 hasta que llega al final del primer intervalo (5cm), mediante un cronometro. Esta operación se repetirá 5 veces para que conseguir un valor más exacto.
- 4) El procedimiento 3 se repetirá con los siguientes intervalos:
  - 0cm / 10cm.
  - 0cm / 15cm.
  - 0cm / 20cm.
  - 0cm / 25cm.

Los puntos 5, 6, 7, 8, redactados en el primer apartado son los mismos pasos a seguir para todos los apartados restantes.

En este apartado se redactan los pasos a seguir para la realización de la *practica 3*.

- 1) Cojo una probeta de 500 ml y con una regla graduada en centímetros divido la probeta en intervalos de 5 cm, hasta obtener 5 intervalos de 5 cm cada uno de ellos.
- 2) Relleno la probeta de vaselina líquida hasta sobrepasar 2.5 cm respecto al punto 0, para que los efectos de superficie de los fluidos no afecten al tiempo de varias medidas en las mismas circunstancias en el primer intervalo.
- 3) Sujeto la esfera de plástico a una altura de 2.5 cm respecto al fluido, dejándola caer y calculando el tiempo transcurrido desde que pasa por el punto 0 hasta que llega al final del primer intervalo (5cm), mediante un cronometro. Esta operación se repetirá 5 veces para que conseguir un valor más exacto.
- 4) El procedimiento 3 se repetirá con los siguientes intervalos:
  - 0cm / 10cm.
  - 0cm / 15cm.
  - 0cm / 20cm.
  - 0cm / 25cm.

Los puntos 5, 6, 7, 8, redactados en el primer apartado son los mismos pasos a seguir para todos los apartados restantes.

Este apartado redacta los pasos a seguir para la realización de la *practica 4*.

- 1) Cojo una probeta de 500 ml y con una regla graduada en centímetros divido la probeta en intervalos de 5 cm, hasta obtener 5 intervalos de 5 cm cada uno de ellos.
- 2) Relleno la probeta de vaselina líquida hasta sobrepasar 2.5 cm respecto al punto 0, para que los efectos de superficie de los fluidos no afecten al tiempo de varias medidas en las mismas circunstancias en el primer intervalo.
- 3) Sujeto la esfera de plástico a una altura de 5 cm respecto al fluido, dejándola caer y calculando el tiempo transcurrido desde que pasa por el punto 0 hasta que llega al final del primer intervalo (5cm), mediante un cronometro. Esta operación se repetirá 5 veces para que conseguir un valor más exacto.
- 4) El procedimiento 3 se repetirá con los siguientes intervalos:
  - 0cm / 10cm.
  - 0cm / 15cm.
  - 0cm / 20cm.
  - 0cm / 25cm.

Los puntos 5, 6, 7, 8, redactados en el primer apartado son los mismos pasos a seguir para todos los apartados restantes.

Este apartado redacta los pasos a seguir para la realización de la *practica 5*.

- 1) Cojo una probeta de 500 ml y con una regla graduada en centímetros divido la probeta en intervalos de 5 cm, hasta obtener 5 intervalos de 5 cm cada uno de ellos.
- 2) Relleno la probeta de aceite de girasol hasta sobrepasar 2.5 cm respecto al punto 0, para que los efectos de superficie de los fluidos no afecten al tiempo de varias medidas en las mismas circunstancias en el primer intervalo.
- 3) Sujeto la esfera de plástico a una altura de 2.5 cm respecto al fluido, dejándola caer y calculando el tiempo transcurrido desde que pasa por el punto 0 hasta que llega al final del primer intervalo (5cm), mediante un cronometro. Esta operación se repetirá 5 veces para que conseguir un valor más exacto.
- 4) El procedimiento 3 se repetirá con los siguientes intervalos:
  - 0cm / 10cm.
  - 0cm / 15cm.
  - 0cm / 20cm.
  - 0cm / 25cm.

Los puntos 5, 6, 7, 8, redactados en el primer apartado son los mismos pasos a seguir para todos los apartados restantes.

Este apartado redacta los pasos a seguir para la realización de la *practica 6*.

- 1) Cojo una probeta de 500 ml y con una regla graduada en centímetros divido la probeta en intervalos de 5 cm, hasta obtener 5 intervalos de 5 cm cada uno de ellos.
- 2) Relleno la probeta de aceite de girasol hasta sobrepasar 2.5 cm respecto al punto 0, para que los efectos de superficie de los fluidos no afecten al tiempo de varias medidas en las mismas circunstancias en el primer intervalo.
- 3) Sujeto la esfera de plástico a una altura de 5 cm respecto al fluido, dejándola caer y calculando el tiempo transcurrido desde que pasa por el punto 0 hasta que llega al final del primer intervalo (5cm), mediante un cronometro. Esta operación se repetirá 5 veces para que conseguir un valor más exacto.
- 4) El procedimiento 3 se repetirá con los siguientes intervalos:
  - 0cm / 10cm.
  - 0cm / 15cm.
  - 0cm / 20cm.
  - 0cm / 25cm.

Los puntos 5, 6, 7, redactados en el primer apartado son los mismos pasos a seguir en este apartado.

Una vez concluidos todas las prácticas se produce a la limpieza de todo el material utilizado.

### **3.3.- PRÁCTICA 1:**

Temperatura- 25°C

Fluido- agua

Cuerpo- bola plástico

Peso bola- 0.12g

Diámetro bola- 5.90 mm

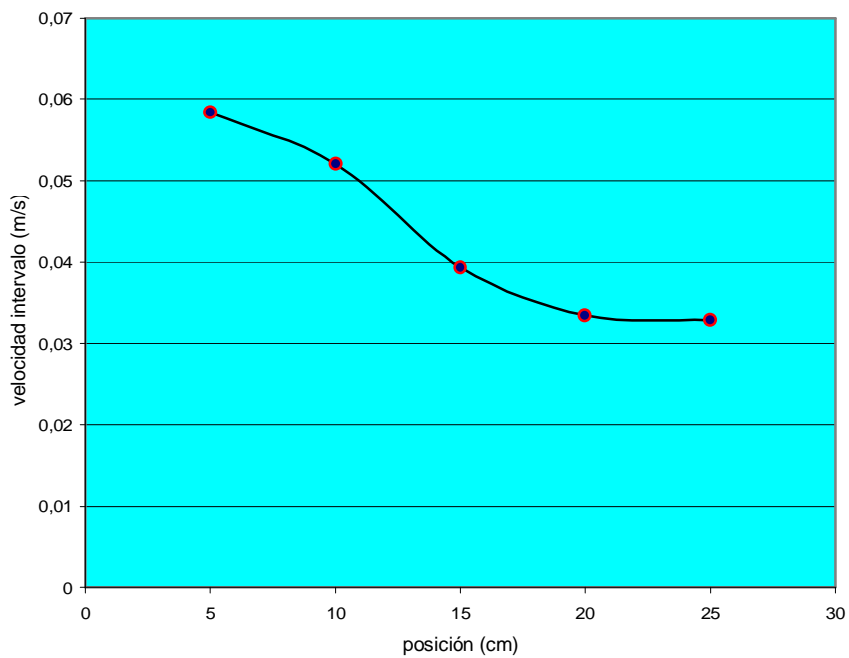
**Distancia contacto bola/fluido- 2.5cm**

<i>Distancia recorrida</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>Valor medio</i>
0cm-5cm	0,90	0,79	0,95	0,80	0,84	0,856
0cm-10cm	1,78	1,90	1,81	1,72	1,87	1,816
0cm-15cm	3,00	3,07	3,13	3,07	3,16	3,086
0cm-20cm	4,35	4,52	4,53	4,82	4,68	4,580
0cm-25cm	6,08	5,97	6,28	6,14	6,05	6,104

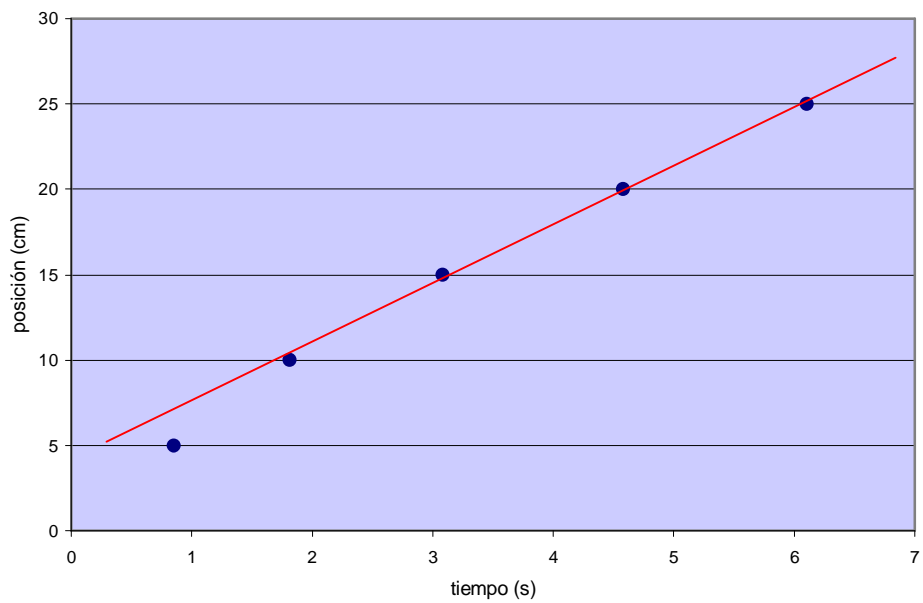
<i>Intervalo</i>	<i>Velocidad intervalo (m/s)</i>
0cm-5cm	0,05841
5cm-10cm	0,05208
10cm-15cm	0,03937
15cm-20cm	0,03346
20cm-25cm	0,03289
10cm-25cm	0,03481

**Velocidad límite = 0.035 m/s**

### Posición-velocidad intervalo



### Tiempo-posición



### **3.4.-PRÁCTICA 2:**

Temperatura- 25°C

Fluido- agua

Cuerpo- bola plástico

Peso bola- 0.12g

Diámetro bola- 5.90 mm

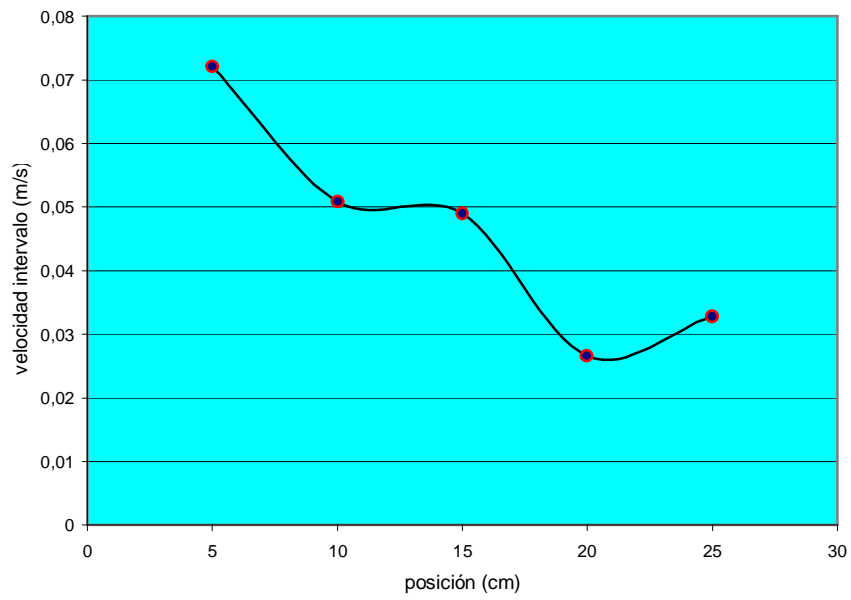
**Distancia contacto bola/fluido- 5cm**

<i>Distancia recorrida</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>Valor medio</i>
0cm-5cm	0.78	0.64	0.76	0.62	0.67	0.694
0cm-10cm	1.70	1.64	1.60	1.72	1.73	1.678
0cm-15cm	2.51	2.69	2.67	2.80	2.83	2.700
0cm-20cm	4.85	4.62	4.53	4.32	4.58	4.580
0cm-25cm	6.08	5.97	6.28	6.14	6.05	6.104

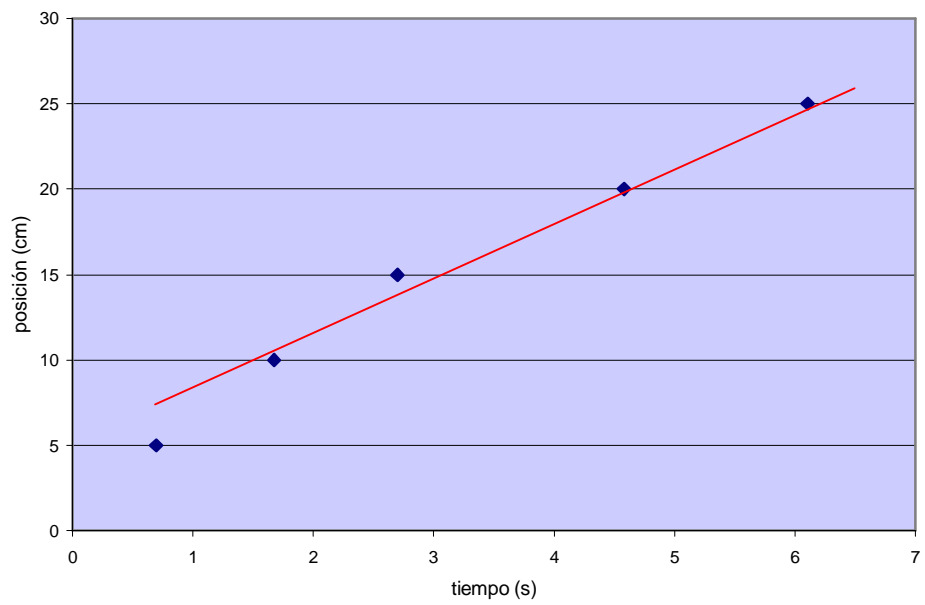
<i>Intervalo</i>	<i>Velocidad intervalo (m/s)</i>
0cm-5cm	0.07204
5cm-10cm	0.05081
10cm-15cm	0.04892
15cm-20cm	0.02659
20cm-25cm	0.03280
10cm-25cm	0.03389

**Velocidad límite = 0.034 m/s**

### Posición-velocidad intervalo



### Tiempo-posición



### **3.5.-PRACTICA 3:**

Temperatura- 25°C

Fluido- Vaselina liquida

Cuerpo- bola plástico

Peso bola- 0.12g

Diámetro bola- 5.90 mm

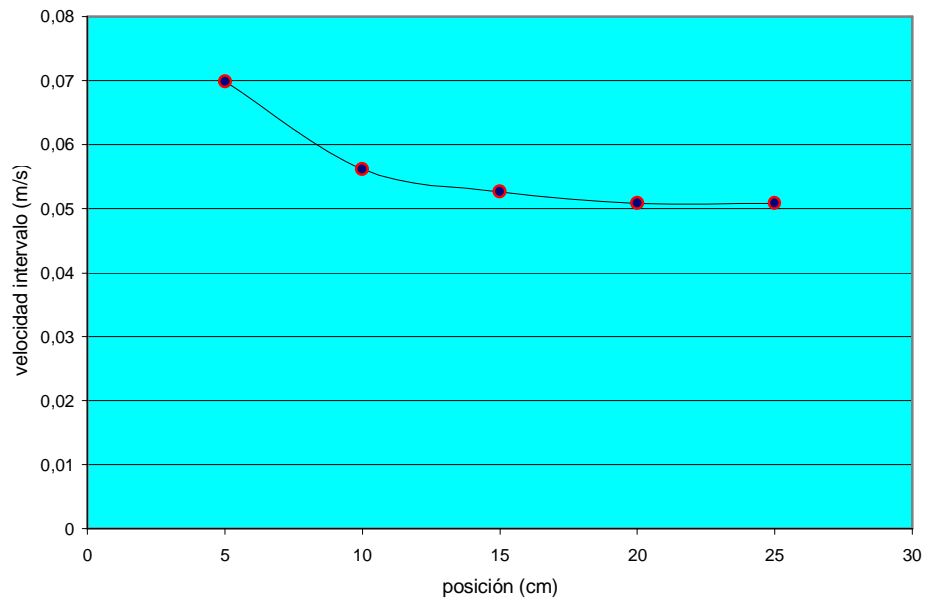
**Distancia contacto bola/fluido- 2.5cm**

<i>Distancia recorrida</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>Valor medio</i>
0cm-5cm	0.74	0.73	0.71	0.68	0.72	0.716
0cm-10cm	1.62	1.58	1.63	1.62	1.58	1.606
0cm-15cm	2.49	2.61	2.52	2.54	2.62	2.556
0cm-20cm	3.51	3.58	3.55	3.56	3.50	3.540
0cm-25cm	4.54	4.56	4.49	4.53	4.50	4.524

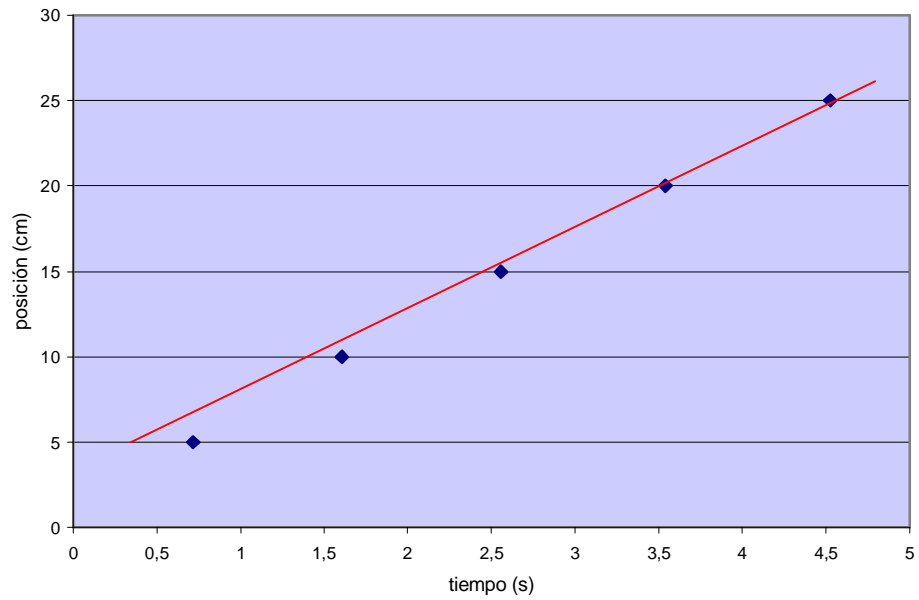
<i>Intervalo</i>	<i>Velocidad intervalo (m/s)</i>
0cm-5cm	0.06983
5cm-10cm	0.05617
10cm-15cm	0.05263
15cm-20cm	0.05081
20cm-25cm	0.05081
10cm-25cm	0.05140

**Velocidad límite = 0.051 m/s**

### Posición-velocidad



### Tiempo-posición



### **3.6.-PRÁCTICA 4:**

Temperatura- 25°C

Fluido- Vaselina liquida

Cuerpo- bola plástico

Peso bola- 0.12g

Diámetro bola- 5.90 mm

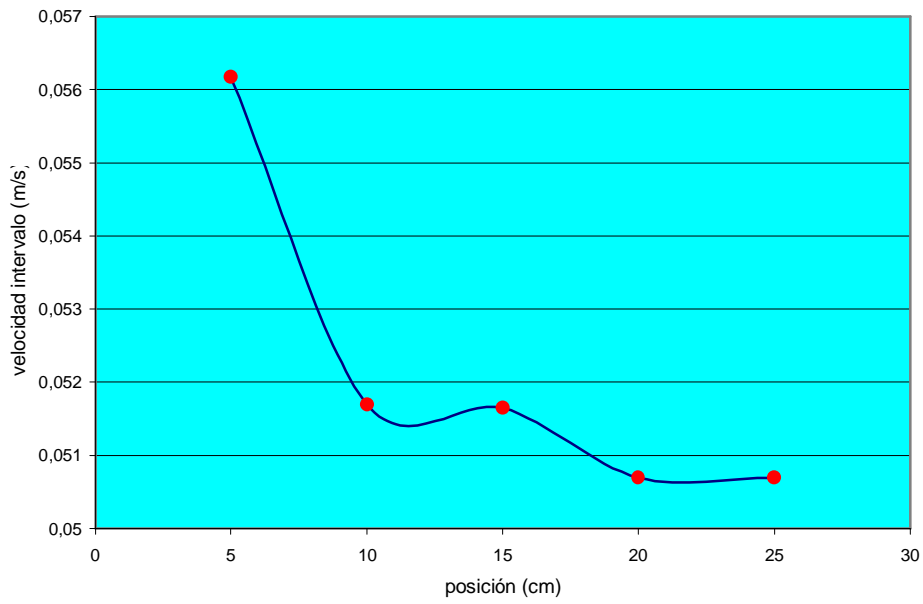
**Distancia contacto bola/fluido- 5cm**

<i>Distancia recorrida</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>Valor medio</i>
0cm-5cm	0.89	0.85	0.95	0.89	0.87	0.890
0cm-10cm	1.87	1.84	1.80	1.91	1.86	1.856
0cm-15cm	2.80	2.82	2.81	2.81	2.88	2.824
0cm-20cm	3.83	3.83	3.82	3.79	3.78	3.810
0cm-25cm	4.80	4.89	4.73	4.75	4.81	4.796

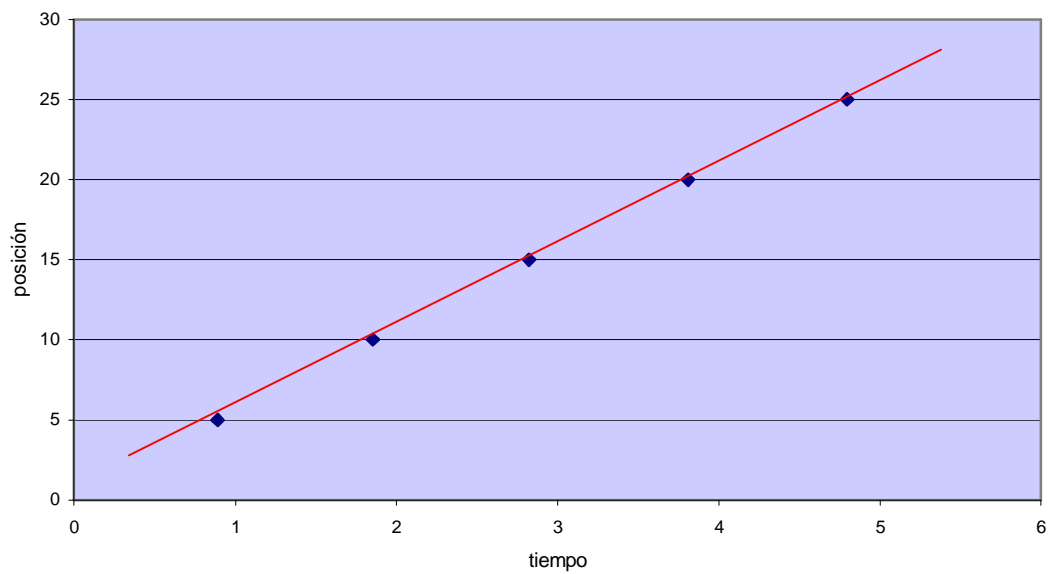
<i>Intervalo</i>	<i>Velocidad intervalo (m/s)</i>
0cm-5cm	0.05617
5cm-10cm	0.05170
10cm-15cm	0.05165
15cm-20cm	0.05070
20cm-25cm	0.05070
10cm-25cm	0.05102

**Velocidad límite = 0.051 m/s**

### Posición-velocidad intervalo



### Tiempo-posición



### **3.7.-PRÁCTICA 5:**

Temperatura- 25°C

Fluido- aceite girasol

Cuerpo- bola plástico

Peso bola- 0.12g

Diámetro bola- 5.90 mm

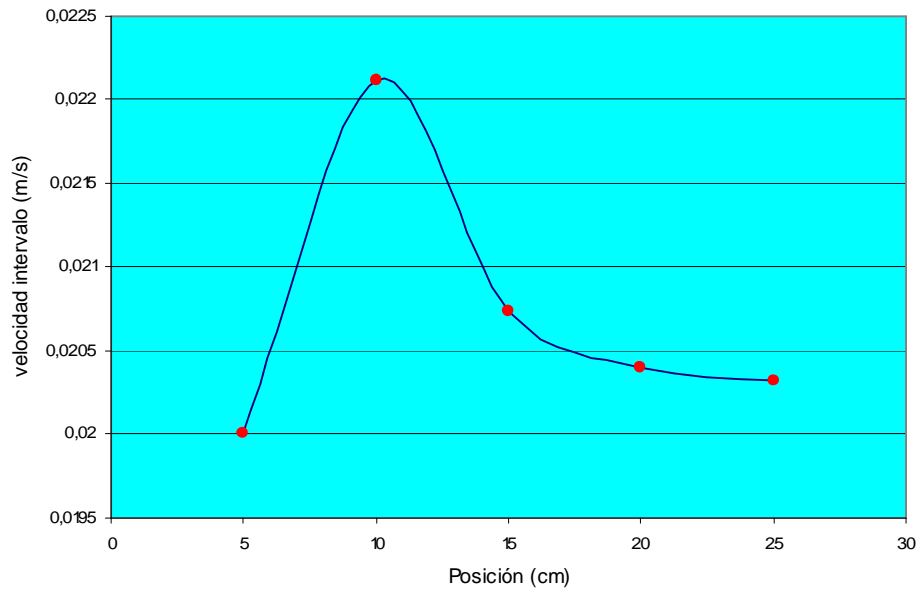
**Distancia contacto bola/fluido- 2.5cm**

<i>Distancia recorrida</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>Valor medio</i>
0cm-5cm	2.46	2.55	2.49	2.49	2.51	2.500
0cm-10cm	4.77	4.75	4.69	4.78	4.81	4.760
0cm-15cm	7.10	7.21	7.17	7.23	7.14	7.170
0cm-20cm	9.58	9.56	9.65	9.61	9.70	9.620
0cm-25cm	12.18	12.04	11.94	12.11	12.13	12.080

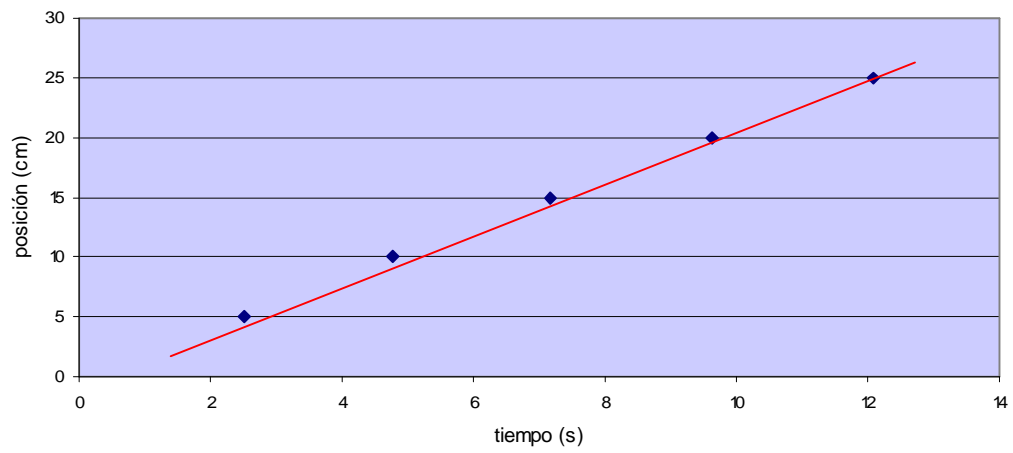
<i>Intervalo</i>	<i>Velocidad intervalo (m/s)</i>
0cm-5cm	0.02000
5cm-10cm	0.02212
10cm-15cm	0.02074
15cm-20cm	0.02040
20cm-25cm	0.02032
10cm-25cm	0.02049

**Velocidad límite = 0.020 m/s**

### Posición-velocidad intervalo



### Tiempo-posición



### **3.8.-PRÁCTICA 6:**

Temperatura- 25°C

Fluido- aceite girasol

Cuerpo- bola plástico

Peso bola- 0.12g

Diámetro bola- 5.90 mm

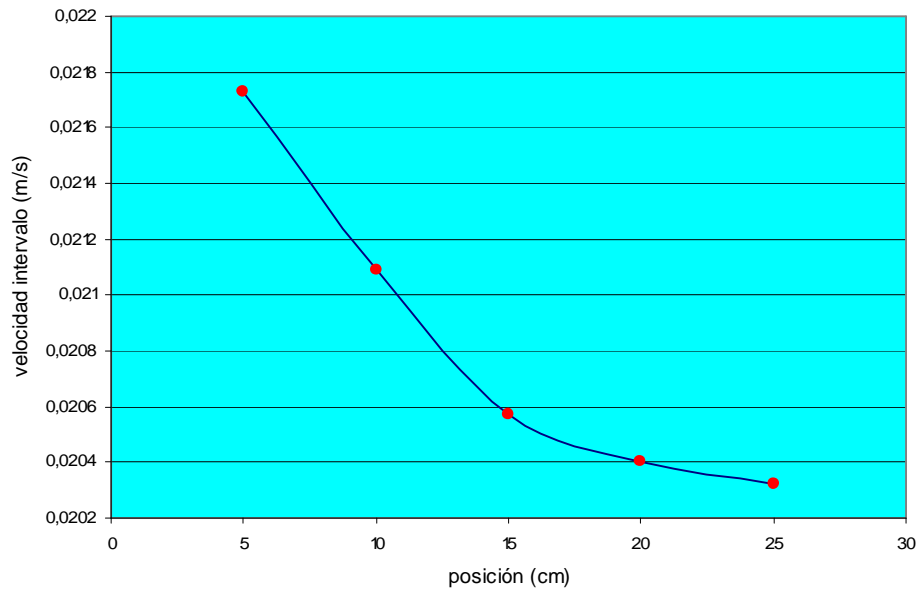
**Distancia contacto bola/fluido- 5cm**

<i>Distancia recorrida</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>Valor medio</i>
0cm-5cm	2.32	2.36	2.25	2.31	2.26	2.300
0cm-10cm	4.62	4.72	4.68	4.65	4.68	4.670
0cm-15cm	7.15	7.13	7.06	7.11	7.05	7.100
0cm-20cm	9.61	9.56	9.55	9.47	9.56	9.550
0cm-25cm	11.96	12.03	11.98	12.06	12.02	12.010

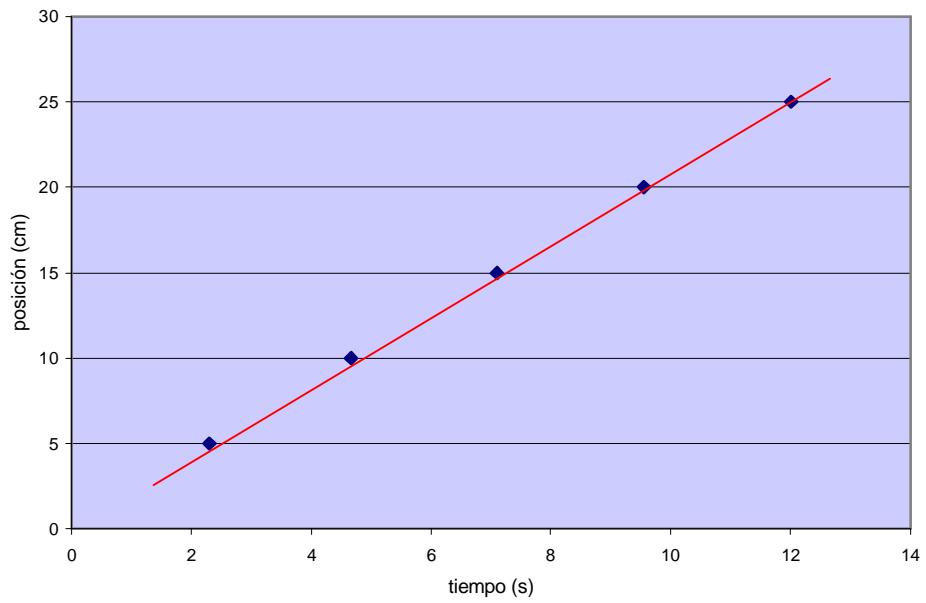
<i>Intervalo</i>	<i>Velocidad intervalo (m/s)</i>
0cm-5cm	0.02173
5cm-10cm	0.02109
10cm-15cm	0.02057
15cm-20cm	0.02040
20cm-25cm	0.02032
10cm-25cm	0.02043

**Velocidad límite = 0.020 m/s**

### Posición-velocidad intervalo



### Tiempo-posición



## **4.-OTROS CALCULOS**

### **4.1.-VELOCIDAD ALCANZADA POR EL CUERPO ANTES DE CONTACTAR CON EL FLUIDO**

Para la realización del cálculo de la velocidad que lleva la bola antes de contactar con el fluido utilizaremos la llamada *ley de Torricelli*, la ecuación que nos facilita esta ley nos permite la obtención de la velocidad que alcanza un objeto dejándolo caer desde una altura  $h$ .

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Donde (g) es la aceleración de la gravedad y (h) es la altura en la que se deja caer el objeto.

Posteriormente pasare a la realización de las substituciones en la formula de Torricelli para la obtención de los valores de las velocidades en las practicas realizadas.

Distancia 2,5cm (practica 1, 3, 5.):

$$v = \sqrt{2 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2) \cdot 0.025\text{m}} = 0.70 \text{ m/s}$$

La velocidad alcanzada por la bola en las practicas 1, 3, 5, es de 0.70 m/s.

Distancia 5cm (practica 2, 4, 6.):

$$v = \sqrt{2 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2) \cdot 0.05\text{m}} = 0.98 \text{ m/s}$$

La velocidad alcanzada por la bola en las prácticas 2, 4, 6, es de 0.98 m/s.

### **4.2.-ERROR EN LA VELOCIDAD**

Para la obtención del margen de error de las velocidades obtenidas experimentalmente, usaré la siguiente formula:

$$\Delta v = v \cdot \frac{\Delta e}{e} + \frac{\Delta t}{t}$$

Mediante las operaciones notificadas en la ecuación anterior, donde ( $v$ ) es la velocidad, ( $\Delta$ ) es el error, ( $e$ ) es el espacio y ( $t$ ) el tiempo, se realizará la tabla siguiente:

Nº Practica	Espacio (cm)	Tiempo(s)	Velocidad(m/s)	Error velocidad ( m/s)
1	15	4.288	0.03481	0.0003
2	15	4.426	0.03389	0.0003
3	15	2.918	0.05140	0.0005
4	15	2.940	0.05102	0.0005
5	15	7.32	0.02049	0.0002
6	15	7.34	0.02043	0.0002
1	5	1.524	0.03289	0.0009
2	5	1.524	0.03280	0.0009
3	5	0.984	0.05081	0.001
4	5	0.984	0.05070	0.001
5	5	2.46	0.02032	0.0005
6	5	2.46	0.02032	0.0005

El error en el tiempo se han seleccionado de una forma optimista, es decir, como el cronometro tiene una precisión de 0.01 centésimas de segundo se ha considerado que el error del tiempo es de 0.01 centésimas de segundo.

El error en el espacio se ha seleccionado como en el caso del tiempo, de una manera optimista, considerando que el error en el espacio es de 0.1 centímetros, ya que era esta la precisión de la regla.

Decir que no se ha tenido en cuenta el error óptico para la realización del cálculo de los errores.

Como se puede ver en la tabla el margen de error en las velocidades es de diez milésimas, esto nos indica que los decimales de mas que hayamos cogido para la expresión de la velocidad no tienen sentido, por lo que ya podemos hallar el valor aproximado de cada practica.

#### **4.3.-CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS**

Para la obtención de dicho número utilizaré la fórmula asignada al número de Reynolds, que es la siguiente:

$$Re = \frac{l.v.R}{h}$$

Substituyendo los valores en la fórmula el número obtenido es de 94.4.

#### **4.4.-CALCULO DEL VALOR DE LA VELOCIDAD LÍMITE TEORICAMENTE**

Para hacer una comparación de los resultados obtenidos experimentalmente en la velocidad límite con los teóricos, utilizaré la fórmula de la velocidad límite descrita en la introducción, donde con solo sustituir las constantes que la definen y realizar el cálculo me proporcionará el resultado teórico de la velocidad límite.

La ecuación de la velocidad límite es la siguiente:

$$v_l = \frac{2g(\rho_s - \rho_f)R^2}{9\eta}$$

Los valores substituidos para el cálculo son los obtenidos en la práctica 1.

El resultado de la velocidad límite es de 2.09 m/s, que es 100 veces mayor al obtenido, esto es debido a que para este cálculo necesitaríamos un viscosímetro para obtener un resultado de la viscosidad en la temperatura en la que se ha realizado la práctica.

#### **5.-CONCLUSIONES**

Después de haber realizado el trabajo y de haber analizado el comportamiento de la caída de un cuerpo en fluidos, he podido observar que el comportamiento que tiene un cuerpo dejándolo caer en distintas alturas es diferente, ya que hay factores como la energía potencial que varían el comportamiento de la velocidad en los dos primeros intervalos o incluso solo en el primero (dependiendo de la viscosidad del fluido), es decir, en los dos primeros intervalos hay una aceleración del cuerpo, pero a partir de el tercer intervalo se produce una desaceleración hasta llegar al valor de 0 en la aceleración que nos indica que el cuerpo ha llegado a su velocidad límite en ese fluido.

La tensión superficial juntamente con la energía potencial justifica la cuantía de la desaceleración del cuerpo en el fluido, ya que si el cuerpo lo dejamos caer de una altura pequeña la tensión superficial ejerce una resistencia mayor que si el cuerpo es dejado caer de una altura mayor.

He podido observar en los resultados que la velocidad límite se alcanza prácticamente a partir del tercer intervalo, es decir, la velocidad límite se alcanza en pocos segundos.

En un principio el comportamiento de la velocidad representado gráficamente me despistó, pero cuando calculé el error de la velocidad (0.0001 m/s) me orienté y pude ver con toda claridad que los errores producidos estaban dentro del margen de error.

Gracias al calculo del error he podido llegar a la conclusión de que el cuarto decimal en las velocidades no tiene sentido, y en algunas ocasiones incluso el tercero, ya que esta dentro de los errores y por lo tanto he podido hacer el redondeo correcto en las velocidades límites.

Como en la introducción bien he dicho mis hipótesis han sido resueltas después de experimentos realizados durante muchas horas de trabajo.

a) “¿Comporta alguna variación en la velocidad límite la distancia de contacto de un cuerpo sobre un fluido?”

La respuesta que he obtenido, ha sido negativa, ya que la altura en la que dejamos caer un cuerpo sobre un fluido no afecta a la velocidad límite.

b) “¿Comporta alguna variación en la velocidad límite la utilización de distintos tipos de fluidos?”

La respuesta que he obtenido, ha sido positiva. Podríamos decir con toda seguridad que la velocidad límite es específica para cada tipo de fluido, ya que cada fluido tiene unas características determinadas que serán las que determinen la velocidad límite.

Mi valoración final en este trabajo, es muy positiva. Ya que he podido responder a mis hipótesis planteadas después de la realización de los experimentos

Haber realizado este trabajo, para mi a sido una experiencia personal muy enriquecedora y satisfactoria, un estudio agradable y grato.

Me he dado cuenta de que no solo he obtenido respuesta para mis hipótesis, sino que además he podido responder también a otros interrogantes que tenía.

## **6.-BIBLIOGRAFÍA**

- Perucca, Eligio. “*Física general y experimental*”, Ed. Labor. s. a., Barcelona-Madrid, 1948, pagina 528.
- Alonso, Marcelo. “*Mecánica*”, Ed. Fondo educativo interamericano, s. a., Madrid, 1976, páginas 173, 174.
- Gutiérrez, Juan Luis. “*Física y Química*”, Ed. Nauta, s. a., Barcelona, 1992, paginas 52, 68.
- Jou, David. “*Física para ciencias de la vida*”, Ed. McGraw-Hill, España, 1986, paginas 85, 87,88.
- <http://www.castillayleon.com/cultura/cientificos/stokes.htm>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/stokes/stokes.html>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/stokes1/stokes1.htm>

- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/viscosidad/viscosidad.htm#F%C3%B3rmula%20de%20Stokes>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/tension/introduccion/introduccion.htm>
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/balanza/balanza.htm>
- [http://www.udc.es/gallega2000/gal/pers\\_stokes.htm](http://www.udc.es/gallega2000/gal/pers_stokes.htm)