

MONOGRAFÍA EN FÍSICA

“RELACIÓN TEMPERATURA – VELOCIDAD DE CAÍDA EN UN FLUIDO NEWTONIANO CON RÉGIMEN LAMINAR.”

***¿Cómo la temperatura afecta a la velocidad terminal de un objeto en un
fluido newtoniano con régimen laminar?***

Número de palabras: 2993

"Science is a way of thinking much more than it is a body of
knowledge"

Carl Sagan

Dedico esta monografía a mi familia, mis profesores y mis amigos más
ceranos, quienes me ayudaron a crecer como estudiante y persona,
exigiéndome y apoyándome durante todo este proceso.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	7
1. FLUIDOS.....	7
1.1 Concepto	7
1.2 Propiedades.....	7
1.3 Fluidos Newtonianos	8
2. MOVIMIENTO DE UN CUERPO EN UN FLUIDO	8
2.1 Viscosidad	8
2.2 Fuerza resistente	9
2.3 Ley de Stokes.....	9
2.4 Principio de Arquímedes.....	9
3. NÚMERO DE REYNOLDS.....	10
3.1 Flujo laminar	10
3.2 Número de Reynolds	10
4. RELACIÓN VISCOSIDAD – VELOCIDAD	11
4.1 DCL de un objeto en un fluido laminar.....	11
4.2 Graficas Viscosidad – Velocidad	12
4.3 Método de obtención de Viscosidad.....	13
5. RELACIÓN TEMPERATURA – VISCOSIDAD	14
5.1 Ecuación de Arrhenius.....	14
5.2 Grafica Temperatura – Viscosidad	14
6. RELACIÓN TEMPERATURA – VELOCIDAD	15
6.1 Desarrollo Matemático	15
CAPÍTULO II: DISEÑO EXPERIMENTAL	17
1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	17
3. HIPÓTESIS.....	17
4. MATERIALES Y EQUIPOS.....	18
5. MONTAJE EXPERIMENTAL	20

6. CONTROL DE VARIABLES	21
7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	22
8. MEDIDAS DE SEGURIDAD	22
CAPÍTULO III: DATOS EXPERIMENTALES.....	23
1. FLUIDO A: MIEL	23
1.1 Tiempo de caída de la esfera a distintas temperaturas	23
2. FLUIDO B: GLICERINA.....	24
2.1 Tiempo de caída de la esfera a distintas temperaturas	24
CAPÍTULO IV PROCESAMIENTO DE DATOS	25
1. CALCULO DE LA VELOCIDAD DE CAÍDA	25
1.1 Fluido A: Miel	25
1.2 Fluido B: Glicerina	25
2. CALCULO DE LA VISCOSIDAD	26
2.1 Fluido A: Miel	26
2.2 Fluido B: Glicerina	26
3. CALCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS	27
3.1 Fluido A: Miel	27
3.2 Fluido B: Glicerina	27
4. PROPAGACIÓN DE INCERTIDUMBRES.....	28
4.1 Tiempo de caída promedio	28
4.1.1 Miel	28
4.1.2 Glicerina.....	29
4.2 Velocidad de caída	29
4.2.1 Miel	29
4.2.2 Glicerina.....	30
4.3 Viscosidad del fluido	30
4.3.1 Miel	30
4.3.2 Glicerina.....	31
4.4 Número de Reynolds	31
4.4.1 Miel	32
4.4.2 Glicerina.....	32
5. RESULTADOS PROCESADOS	33
5.1 Tiempo de caída	33

5.2 Velocidad de caída	34
5.3 Viscosidad del fluido	35
5.4 Número de Reynolds	36
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE DATOS.....	37
1. RESULTADO NÚMERO DE REYNOLDS	37
2. RELACIÓN TEMPERATURA – VISCOSIDAD	37
3. RELACIÓN VISCOSIDAD – VELOCIDAD	39
4. RELACIÓN TEMPERATURA – VELOCIDAD	40
CONCLUSIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	46

INTRODUCCIÓN

La Mecánica de Fluidos posee una gran variedad de aplicaciones en distintas industrias, tales como la aeronáutica, la minera, la alimenticia, en el uso de maquinarias en general. Comprender las propiedades en la interacción entre objetos y fluidos, agregada con la creatividad, es fundamental para la resolución de distintos problemas. Uno de estos es la optimización del tiempo de transporte de objetos utilizando dichos fluidos.

El objetivo de la presente monografía es responder a la pregunta ***¿Cómo la temperatura afecta a la velocidad terminal de un objeto en un fluido newtoniano con régimen laminar?***

Para responder a la siguiente interrogante, se utilizan conceptos teóricos para entender las distintas relaciones presentes en el movimiento, y en base a esto se plantea matemáticamente una ecuación la cual modele el comportamiento del objeto en base a su velocidad, realizando cambios de temperatura. Dicha función será utilizada como hipótesis del método.

Posteriormente se experimentará analizando los tiempos de caída de un objeto esférico dentro de una tubería donde se cumple un régimen laminar, en distintos fluidos a distintas temperaturas, y en base a estos resultados determinar el impacto entre la temperatura y la velocidad de un objeto, para comprobar la hipótesis planteada.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

1. Fluidos

1.1. Concepto

Se define como fluido a una sustancia en estado líquido o gaseoso, diferenciándose de los sólidos al tener poca resistencia para cambiar su forma frente a un esfuerzo cortante externo. (Çengel & Cimbala, 2006)

1.2. Propiedades

Estas se clasifican en dos tipos, las propiedades intensivas y las propiedades extensivas. Dentro del primer grupo se encuentran la temperatura, la densidad y la presión; mientras que en el segundo esta la masa y el volumen. La Imagen N°1 simula un fluido, explicando las propiedades del mismo.

(Çengel & Cimbala, 2006)

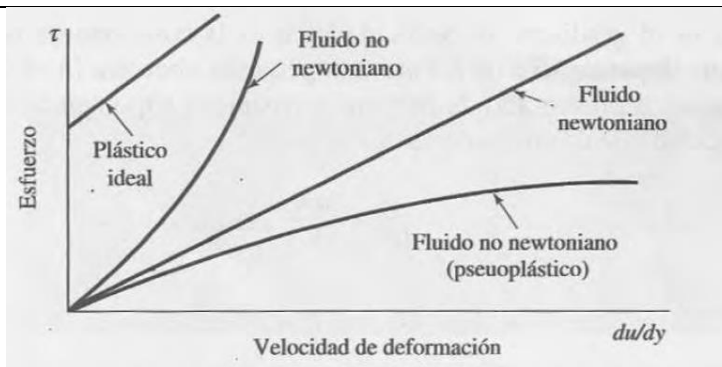
Imagen N°1: Propiedades de los fluidos		
$\frac{1}{2} m$	$\frac{1}{2} m$	} Propiedades extensivas
$\frac{1}{2} V$	$\frac{1}{2} V$	
T	T	} Propiedades intensivas
P	P	
ρ	ρ	

Extraído de: Çengel & Cimbala. (2006.). *Introducción a los fluidos*. Recuperado de *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*.

1.3. Fluidos Newtonianos

Existen distintos comportamientos entre los fluidos frente al esfuerzo cortante, permitiéndose su clasificación. Los fluidos newtonianos son los cuales es proporcional la deformación con el esfuerzo cortante. En la imagen N°2 observamos las diferencias en los distintos fluidos en base a dos variables, la velocidad de deformación ($\frac{du}{dy}$) y el esfuerzo (τ), siendo el primero dependiente del segundo. El único fluido donde el esfuerzo y la velocidad de deformación es directamente proporcional es en Newtoniano, explicado anteriormente y evidenciado de manera gráfica con la presente imagen.

Imagen N°2: Graficas de Velocidad de deformación –Esfuerzo en los distintos tipos de fluidos.



Extraído de: Çengel & Cimbala. (2006.). *Fluidos Newtonianos*. Recuperado de *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*.

2. Movimiento de un cuerpo en un fluido

2.1. Viscosidad

Representa la resistencia interna de un fluido al movimiento y genera una fuerza resistente, siendo expresada gráficamente como la pendiente de la deformación

y esfuerzo cortante. Existen dos tipos de viscosidad, la viscosidad cinemática μ y la viscosidad dinámica $\lambda = \mu/\rho$.

(Çengel & Cimbala, 2006)

2.2. Fuerza resistente

En fluidos no ideales, existe una fuerza que se opone al movimiento, definiéndose como fuerza resistente, es directamente proporcional a la velocidad del objeto, la forma del objeto y la viscosidad del fluido.

(Çengel & Cimbala, 2006)

2.3. Ley de Stokes

En el movimiento de una esfera en un medio viscoso, se puede explicar la fuerza resistente, la cual iguala a $F_r = 6\pi\mu r v$.

(Serway & Vuille, 2012)

2.4. Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes establece que cualquier objeto sumergido a un fluido, recibe una fuerza ascendente de igual magnitud al peso del fluido desplazado.

La fuerza de empuje se puede expresar de la siguiente manera: $\vec{E} = \rho V g$

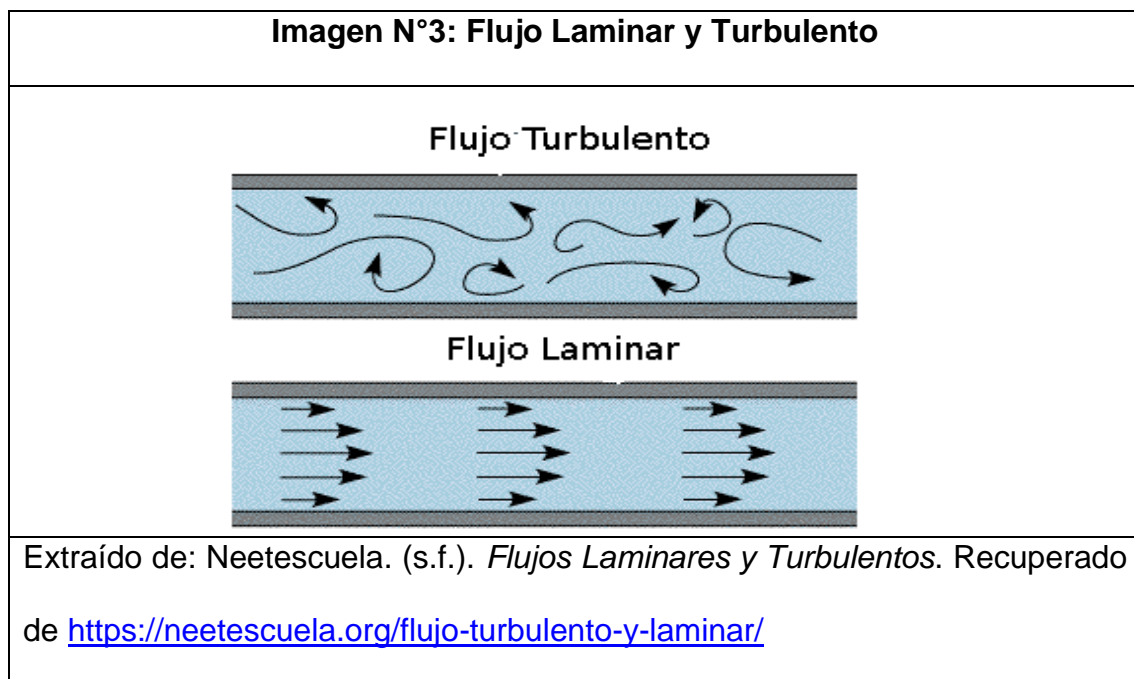
(Serway & Vuille, 2012)

3. Número de Reynolds

3.1. Flujo laminar

Son los fluidos cuales realizan movimiento intenso de una manera ordenada, siendo caracterizado por capas no alteradas del fluido. La imagen N°3 muestra las diferencias entre el flujo turbulento y laminar, siendo cada vector la dirección del flujo.

(Çengel & Cimbala, 2006)



3.2. Numero de Reynolds

Osborne Reynolds descubrió que el régimen del fluido es dependiente de la razón entre las fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido, siendo esta razón el número de Reynolds; este número permite determinar el régimen del movimiento del fluido y objetos dentro de una tubería circular. Para obtener el número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{v\rho D}{\mu} = \frac{vD}{\lambda}$$

Donde v es la velocidad, ρ es la densidad del fluido, D es el diámetro de la tubería, μ es la viscosidad dinámica y λ la viscosidad cinemática. El número de Reynolds en el cual el fluido pasa de ser laminar a turbulento se ubica entre 2000-2300.

(Çengel & Cimbala, 2006)

4. Relación Viscosidad – Velocidad

4.1. DCL de un objeto en un fluido laminar

Se realiza un diagrama de cuerpo libre con las fuerzas pertenecientes al movimiento de cuerpo esférico sobre un fluido, cuales son el peso, la fuerza de empuje y la fuerza viscosa.

En un fluido newtoniano laminar, se obtiene una velocidad terminal debido al equilibrio dinámico, por lo cual se establece la relación $F.Viscosidad = Peso - F.Empuje$ para obtener la relación entre la velocidad terminal y la viscosidad, desarrollando la expresión se obtiene que:

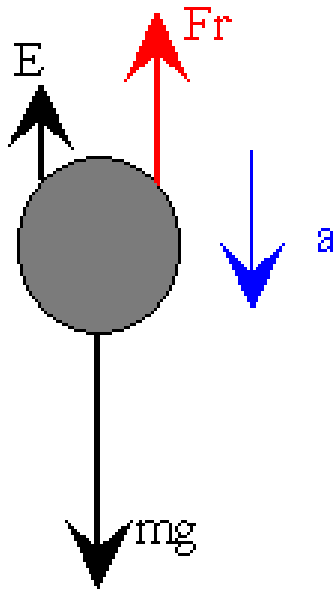
$$6\pi r\mu v = \rho_c Vg - \rho_l Vg$$

$$\mu \times v = \frac{2}{9} r^2 g (\rho_c - \rho_l)$$

Siendo ρ_c la densidad del cuerpo, ρ_l la densidad del líquido, r el radio de la esfera y g la aceleración debido a la gravedad. La relación presente entre ambas variables es una hipérbola, obteniéndose que $v \propto \mu^{-1}$.

En la imagen N°4 observamos dinámicamente la caída del objeto esférico, teniendo a la fuerza de resistencia (F_r) y la fuerza de empuje (E) en dirección opuesta al desplazamiento, mientras que la aceleración (a) y el peso (mg) en dirección al desplazamiento del objeto.

Imagen N°4: Diagrama de cuerpo libre de la caída de un objeto esférico.



Extraído de: García, A. (2009). *Movimiento de una esfera en un fluido viscoso*.

Recuperado de:

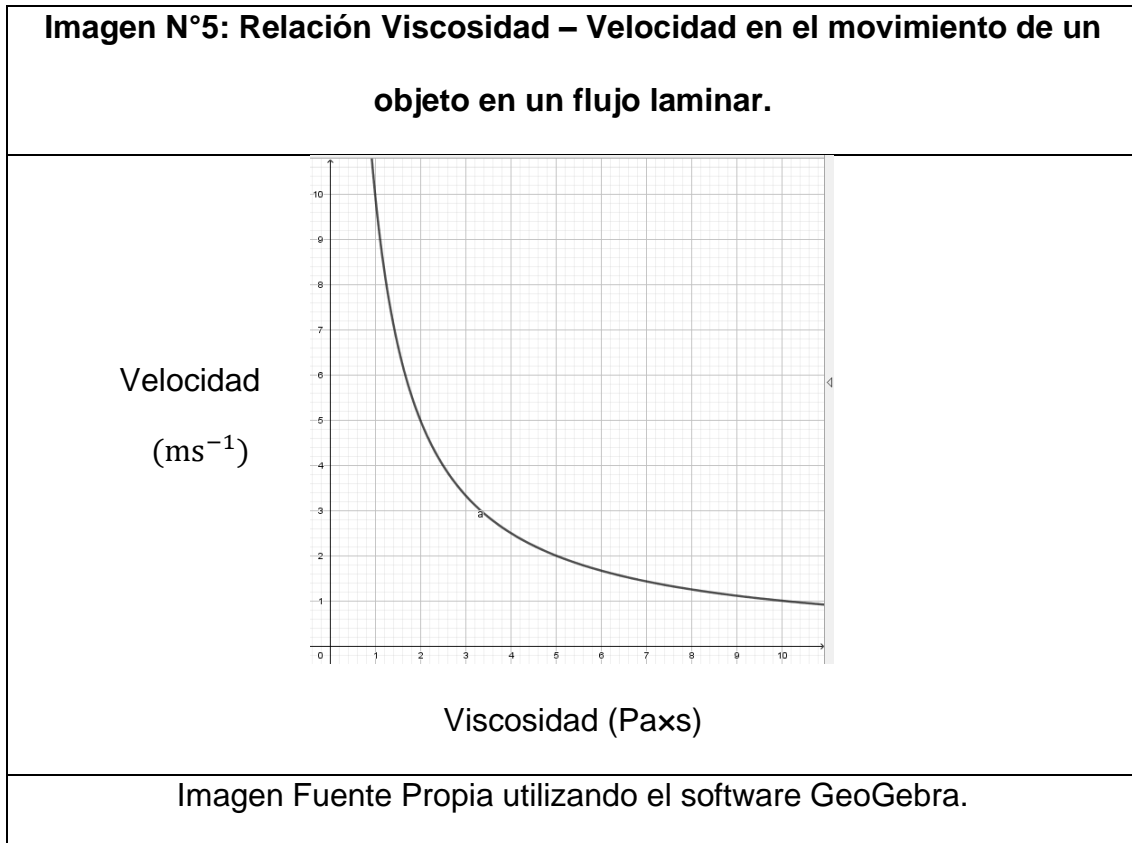
http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/_dinamica/fluidos/stokes/stokes.html

4.2. Graficas Viscosidad – Velocidad

La relación formada entre ambas es un producto, el cual se puede simplificar con $\mu \times v = C$, siendo C una constante dependiente del radio y densidad del cuerpo, y de la densidad del fluido, presentándose como ejemplo el valor constante utilizado para la caída de una esfera en un movimiento laminar.

$$C = \frac{2}{9} r^2 g (\rho_c - \rho_l)$$

La imagen N°5 muestra la relación hiperbólica entre la viscosidad y la velocidad del movimiento de un objeto en un flujo laminar, en la cual se observa que la velocidad depende de la viscosidad del fluido. La velocidad esta expresada en ms^{-1} , unidad fundamental del SI; mientras que la viscosidad se expresa en $\text{Pa} \times \text{s}$, unidad derivada del SI.



4.3. Método de obtención de Viscosidad

En fluidos laminares, se puede obtener la viscosidad determinando el valor constante y la velocidad de manera experimental utilizando un objeto esférico. De igual manera existe un dispositivo llamado viscosímetro, el cual determina la viscosidad frente a un esfuerzo cortante realizado de manera controlada durante su medición, sin embargo el método empírico es el más accesible.

5. Relación Temperatura – Viscosidad

5.1. Ecuación de Arrhenius

Se establece una relación inversamente proporcional entre la viscosidad y la temperatura para los fluidos de la siguiente forma:

$$\mu = Ae^{\frac{B}{T}}$$

$$\ln \mu = \ln A + \frac{B}{T}$$

Siendo A y B constantes de la ecuación.

(Universidad de Alicante, 2018)

5.2. Gráfica Temperatura – Viscosidad

La imagen N°6 nos muestra la gráfica de la Temperatura y la Viscosidad utilizando la Ecuación de Arrhenius, tomando como ejemplo los valores para el agua, podemos observar que la curva de color azul es exponencial, siguiendo la forma $\mu = Ae^{(B/T)}$; mientras que la curva de color rojo es su respectiva linealización utilizando logaritmo natural de la forma $\ln \mu = \ln A + B/T$.

Imagen N°6: Gráfica Temperatura – Viscosidad con la Ecuación de Arrhenius

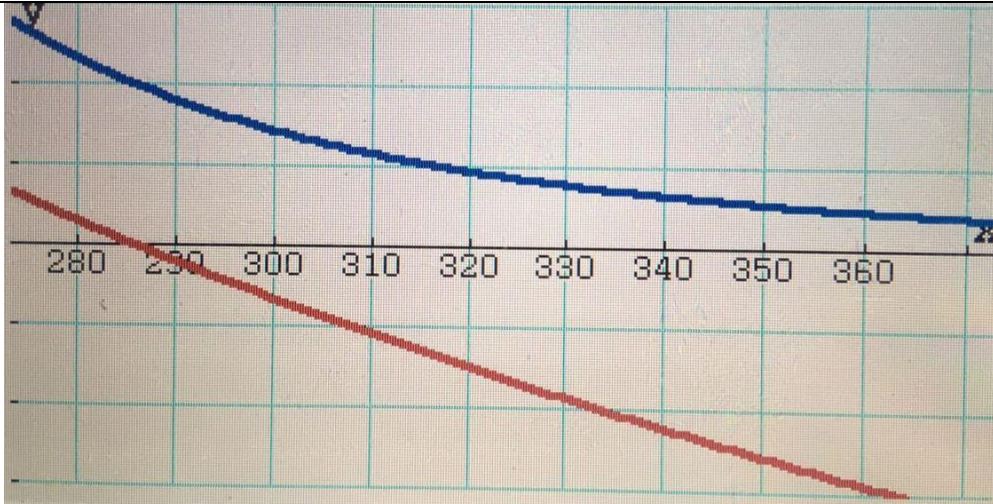


Imagen Fuente Propia utilizando la calculadora gráfica Casio CG20.

6. Relación Temperatura – Velocidad

6.1. Desarrollo Matemático

Conociéndose las ecuaciones previas para la obtención de viscosidad al saber la velocidad y la temperatura, para obtener la relación entre ambas variables en un fluido laminar se realiza el siguiente planteamiento.

La relación Viscosidad - Velocidad se puede expresar de manera logarítmica, para posteriormente realizar la sustitución de la viscosidad utilizando la Ecuación de Arrhenius, obteniéndose lo siguiente:

$$\ln \mu + \ln v = \ln C$$

$$A + \frac{B}{T} = \ln C - \ln v$$

Posteriormente se reacomoda la ecuación para expresarse la velocidad en función de la temperatura, lo cual se busca en la presente investigación.

$$\ln v = \ln C - \ln A - \frac{B}{T}$$

Se agrega un valor constante D para simplificar las operaciones:

$$D = \ln \frac{C}{A}$$

Para obtener la relación de manera directa frente a las dos variables.

$$\ln v = D - \frac{B}{T}$$

$$v = \frac{e^D}{e^{B/T}}$$

La última ecuación nos expresa de manera directa el impacto de la temperatura, debido a la temperatura estar expresada en Kelvin, los valores promedio son entre 300-350K. A medida que el valor T aumenta, la velocidad de caída aumenta debido a la reducción del valor proveniente de $e^{B/T}$.

CAPÍTULO II: DISEÑO EXPERIMENTAL

1. Pregunta de Investigación

¿Cómo la temperatura afecta a la velocidad terminal de un objeto en un fluido newtoniano con régimen laminar?

2. Identificación de Variables

- **Variable independiente:** Temperatura del líquido (K)
- **Variable dependiente:** Velocidad terminal de caída.
- **Variables controladas:** Presión del líquido, masa y volumen del fluido, radio de la tubería; densidad y volumen del objeto.

3. Hipótesis

La relación entre la velocidad y la temperatura es exponencial creciente, a mayor temperatura existe una mayor velocidad de caída debido a la viscosidad.

4. Materiales y Equipos

Material o Equipo	Cantidad	Descripción	Función
Baño María con termómetro	1	Incertidumbre: $\pm 0.1\text{K}$ Área de Operación: Desde 0.1K hasta 99.9K. Marca: StableTemp	Se utilizará para mantener la temperatura de las sustancias experimentales.
Cronómetro	1	Incertidumbre: $\pm 0.001\text{s}$ Área de Operación: Desde 0.01s hasta 9h 59m 59.99s Marca: CASIO	Medir el tiempo de desplazamiento del objeto, para obtener su velocidad.
Miel	4	Densidad: $1413.04 \text{ kg} \times \text{m}^{-3} \text{ (295.5K)}$ Volumen: $26.2\text{mL} = 2.62 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	Se utilizara como fluido experimental.
Glicerina	4	Densidad: $1256.37 \text{ kg} \times \text{m}^{-3} \text{ (295.5K)}$ Volumen: $26.2\text{mL} = 2.62 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	Se utilizara como fluido experimental.
Termómetro	1	Incertidumbre: $\pm 0.1\text{K}$ Área de Operación: Desde 0.1K hasta 99.9K. Marca: HANNA	Se utilizará para medir la temperatura del fluido.

Tubo de ensayo	8	Dimensiones: $0.015\text{m} \times 0.15\text{m}$ Volumen Máximo: $26.5\text{mL} = 2.65 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ Marca: PYREX	Contendrá los fluidos durante la experimentación.
Regla Metálica	1	Incertidumbre: $\pm 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}$ Área de Operación: Desde $2.5 \times 10^{-4} \text{ m}$ hasta 0.3m Marca: STAINLESS	Medir la longitud del desplazamiento del objeto dentro del fluido.
Balanza Analítica	1	Incertidumbre: $\pm 1 \times 10^{-7} \text{ kg}$ Área de Operación: Desde $1 \times 10^{-7} \text{ kg}$ hasta $2.2 \times 10^{-1} \text{ kg}$ Marca: Sartorius	Medir la masa de los fluidos para calcular la densidad y el volumen.
Pinzas	1	Marca: STAINLESS	Se utilizará como soporte.

5. Montaje Experimental

Imagen N°7: Diseño del montaje experimental

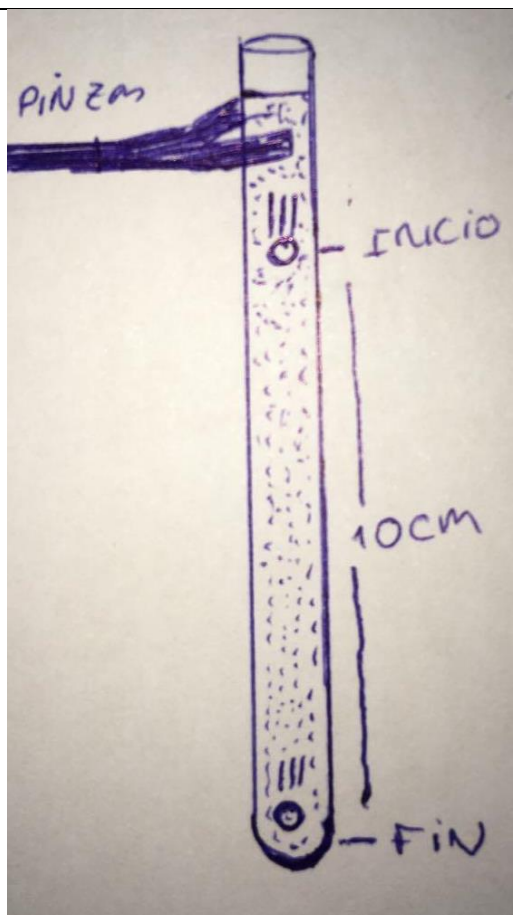


Imagen Fuente Propia

Podemos observar el punto de inicio y fin del tubo de ensayo, a una distancia de 10cm, con pinzas para sostenerlo debido a las amplias temperaturas. El recorrido del objeto se mide desde esos dos puntos, no desde su lanzamiento, reduciendo el error.

6. Control de Variables

<u>Variable</u>	<u>Método de Control</u>
Diámetro de la tubería (m)	Se utilizará el mismo modelo de tubo de ensayo para todos los fluidos.
Densidad del fluido (ρ)	La variación en la densidad del fluido debido a la temperatura tiene una magnitud despreciable.
Velocidad de caída del objeto (v)	El objeto viajará a velocidad constante debido a que se traslada en un fluido con régimen laminar, satisfaciéndose el Número de Reynolds.
Densidad del objeto (ρ)	El objeto metálico no será afectado por las condiciones externas.
Temperatura del fluido (K)	La temperatura se mantendrá en la medida necesaria durante la experimentación.

7. Procedimiento Experimental

Experimentación: <i>Medición de velocidad de caída de un objeto esférico dentro de un fluido newtoniano con un régimen laminar cambiando la temperatura del fluido.</i>	
1	Señalar con marcador indeleble la distancia a desplazarse (10cm) en cada tubo de ensayo a utilizar.
2	Ubicar los tubos de ensayo en el soporte dentro del Baño María
3	Verter en los tubos de ensayo 26.2ml del respectivo fluido.
4	Encender el Baño María hasta la temperatura deseada.
5	Introducir la bola metálica dentro del tubo de ensayo y grabar el comportamiento con velocidad $\times 0.25$. A dicha velocidad la incertidumbre del cronometro se reduce de $\pm 0.001s$ a $\pm 0.00025s$
6	Repetir el paso #4 con una temperatura diferente para continuar la experimentación. El aumento de temperatura se realiza en intervalos de 5K
7	Medir el tiempo de las distintas grabaciones en cámara lenta y graficar los resultados.

8. Medidas de Seguridad

Para la presente experimentación se utilizará uniforme de laboratorio y pinzas para evitar el contacto directo con los tubos de ensayo durante la experimentación. Es pertinente tener cuidado especialmente en las ultimas repeticiones al ser temperaturas altas.

CAPÍTULO III: DATOS EXPERIMENTALES

1. Fluido A: Miel

1.1. Tiempo de caída de la esfera a distintas temperaturas

Fluido A: Miel Incertidumbres: Temperatura (K) $\pm 0.1\text{K}$ / Tiempo (s) $\pm 0.001\text{s}$. Distancia Desplazada: $10^{-1}\text{m} \pm 2.5 \times 10^{-4}\text{m}$								
N°	Temperatura ($\pm 0.1\text{ K}$) – Tiempo ($\pm 0.001\text{s}$)							
Repetición	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
1	36.938	22.708	17.228	9.738	7.613	4.763	2.814	2.238
2	37.164	22.838	16.825	9.750	7.636	5.325	2.939	2.279
3	36.925	22.900	16.960	9.825	7.714	4.798	2.868	2.328
4	36.763	23.150	17.034	9.813	7.763	5.008	2.904	2.259
5	36.813	22.927	17.096	9.738	7.691	4.910	2.871	2.353
6	37.000	23.245	16.870	9.913	7.536	5.031	2.814	2.276
7	36.938	23.347	16.988	9.822	7.646	4.980	2.864	2.367
8	36.995	23.126	17.155	9.764	7.640	5.080	2.763	2.277
9	37.088	22.804	17.386	9.704	7.601	4.855	2.931	2.220
10	36.963	22.963	17.182	9.736	7.667	4.993	2.751	2.307

2. Fluido B: Glicerina

2.1. Tiempo de caída de la esfera a distintas temperaturas

Fluido B: Glicerina								
Incertidumbres: Temperatura (K) $\pm 0.1\text{K}$ / Tiempo (s) $\pm 0.001\text{s}$.								
Distancia Desplazada: $10^{-1}\text{m} \pm 2.5 \times 10^{-4}\text{m}$								
N° Repetición	Temperatura ($\pm 0.1\text{ K}$) – Tiempo ($\pm 0.001\text{s}$)							
	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
1	6.388	4.588	3.350	2.313	1.788	1.438	1.151	0.988
2	6.425	4.625	3.297	2.275	1.775	1.388	1.213	0.963
3	6.401	4.613	3.275	2.250	1.813	1.401	1.200	0.938
4	6.310	4.563	3.367	2.276	1.813	1.450	1.176	0.951
5	6.338	4.663	3.263	2.263	1.813	1.451	1.201	0.925
6	6.301	4.538	3.266	2.258	1.838	1.413	1.188	0.938
7	6.326	4.613	3.275	2.263	1.761	1.400	1.163	0.913
8	6.413	4.606	3.288	2.250	1.800	1.400	1.238	0.901
9	6.372	4.613	3.338	2.247	1.813	1.475	1.226	0.926
10	6.398	4.638	3.265	2.325	1.838	1.388	1.188	0.913

CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS

1. Calculo de la velocidad de caída

Para la obtención de la velocidad se necesita el promedio del tiempo de caída y la distancia recorrida, la cual es 0.1m.

$$v = \frac{0.1}{t}$$

1.1. Fluido A: Miel

Velocidad límite de la esfera: Fluido A Miel.								
T°(K) – (±0.1K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
t (s)	36.96	23.00	17.07	9.78	7.65	4.97	2.85	2.29
v (10 ⁻³ × ms ⁻¹)	2.71	4.35	5.86	10.23	13.07	20.12	35.09	43.67

1.2. Fluido B: Glicerina

Velocidad límite de la esfera: Fluido B Glicerina.								
T°(K) – (±0.1K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
t (s)	6.37	4.61	3.30	2.27	1.81	1.42	1.19	0.94
v (10 ⁻² × ms ⁻¹)	1.57	2.17	3.03	4.41	5.52	7.04	8.40	10.64

2. Calculo de la viscosidad

Para obtener la viscosidad se utiliza la siguiente formula presentada en el primer capítulo.

$$\mu \times v = \frac{2}{9} r^2 g (\rho_c - \rho_l)$$

2.1. Fluido A: Miel

Viscosidad del Fluido A: Miel								
T°(K) – (±0.1K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
v (10 ⁻³ × ms ⁻¹)	2.71	4.35	5.86	10.23	13.07	20.12	35.09	43.67
μ (Pa · s)	12.92	8.04	5.97	3.42	2.67	1.74	1.00	0.80

2.2. Fluido B: Glicerina

Viscosidad del Fluido B: Glicerina								
T°(K) – (±0.1K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
v (10 ⁻² × ms ⁻¹)	1.57	2.17	3.03	4.41	5.52	7.04	8.40	10.64
μ (Pa · s)	2.28	1.65	1.18	0.81	0.65	0.51	0.43	0.33

3. Calculo del número de Reynolds

Para obtener el número de Reynolds se utiliza la siguiente formula presentada en el primer capítulo.

$$Re = \frac{v\rho D}{\mu}$$

3.1. Fluido A: Miel

Número de Reynolds del Fluido A: Miel								
T°(K) – (±0.1K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
n°(Re)	0.00 ¹	0.01	0.02	0.06	0.10	0.25	0.75	1.16

3.2. Fluido B: Glicerina

Número de Reynolds del Fluido C: Glicerina								
T°(K) – (±0.1K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
n°(Re)	0.15	0.28	0.54	1.15	1.82	2.93	4.15	6.77

¹ Valor existente de 0.00444

4. Propagación de Incertidumbres

4.1. Tiempo de caída promedio

En la experimentación se presentan 3 tipos de errores, el error instrumental, el error aleatorio y el error de reacción humano. Para obtener la incertidumbre absoluta se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta x = \sqrt{E_I^2 + E_A^2 + E_R^2}$$

En base al error de reacción humano, este es visual y es 0.250s, se realizan dos interacciones visuales al video, pero este está grabado en velocidad 0.25x. Por lo tanto se iguala 0.125 el error de reacción.

4.1.1. Miel

Incertidumbre del tiempo de caída: Fluido A Miel								
T°(K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
±0.1K								
t (s)	36.959	23.001	17.072	9.780	7.651	4.974	2.852	2.290
Δt	0.167	0.233	0.205	0.138	0.139	0.197	0.139	0.133
%Δt	0.452	1.013	1.201	1.411	1.817	3.961	4.874	5.808

4.1.2. Glicerina

Incertidumbre del tiempo de caída. Fluido B Glicerina								
T°(K) ±0.1K	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
t (s)	6.367	4.638	3.298	2.272	1.805	1.420	1.194	0.935
Δt	0.132	0.130	0.130	0.128	0.127	0.128	0.128	0.127
%Δt	2.073	2.803	3.942	5.634	7.036	9.014	10.720	13.583

4.2. Velocidad de caída

Para la incertidumbre de la velocidad, se utiliza la siguiente formula:

$$\frac{\Delta t}{\bar{t}} + \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta v}{v}$$

Siendo $\frac{\Delta d}{d} = 0.0025$, se obtiene lo siguiente:

4.2.1. Miel

Incertidumbre de la velocidad: Fluido A Miel								
T°(K) ±0.1K	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
Δv/v	0.007	0.012	0.014	0.016	0.020	0.042	0.051	0.060
	0	6	5	6	6	2	4	6
Δv × 10 ⁻⁴	0.190	0.549	0.851	1.701	2.695	8.475	18.02	26.44
							8	6

4.2.2. Glicerina

Incertidumbre de la velocidad: Fluido B Miel								
T°(K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
±0.1K								
Δv/v	0.023	0.030	0.042	0.058	0.073	0.092	0.109	0.138
	2	6	0	6	0	9	5	7
Δv × 10 ⁻³	0.365	0.665	1.273	2.581	4.043	6.539	9.158	14.83
								3

4.3. Viscosidad del fluido

Para determinar la incertidumbre de la viscosidad se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta \mu}{\mu}$$

4.3.1. Miel

Incertidumbre de la viscosidad: Miel $\left(\frac{\Delta \rho}{\rho} = 7.077 \times 10^{-5}\right)$								
T°(K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
±0.1K								
Δv/v	0.0070	0.0126	0.0145	0.0166	0.0206	0.0422	0.0514	0.0606
Δμ/μ	0.0071	0.0127	0.0146	0.0167	0.0207	0.0422	0.0515	0.0606
Δμ	0.0916	0.1020	0.0871	0.0571	0.0553	0.0734	0.0513	0.0485

4.3.2. Glicerina

Incertidumbre de la viscosidad: Glicerina $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho} = 7.959 \times 10^{-5}\right)$								
T°(K)	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
±0.1K								
$\Delta v/v$	0.0232	0.0306	0.0420	0.0586	0.0730	0.0929	0.1095	0.1387
$\Delta\mu/\mu$	0.0233	0.0307	0.0421	0.0587	0.0731	0.0929	0.1094	0.1388
$\Delta\mu$	0.0532	0.0506	0.0497	0.0478	0.0472	0.0473	0.0468	0.0465

4.4. Numero de Reynolds

Para determinar la incertidumbre del número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta \mu}{\mu} = \frac{\Delta Re}{Re}$$

Siendo $\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{60}$, se obtiene lo siguiente.

4.4.1. Miel

Incertidumbre del Número de Reynolds: Miel $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho} = 7.077 \times 10^{-5}\right)$								
T°(K) ±0.1K	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
$\Delta v/v$	0.0070	0.0126	0.0145	0.0166	0.0206	0.0422	0.0514	0.0606
$\Delta\mu/\mu$	0.0071	0.0127	0.0146	0.0167	0.0207	0.0422	0.0515	0.0606
ΔRe /Re	0.0309	0.0420	0.0459	0.0501	0.0580	0.1011	0.1196	0.1380
ΔRe	0.0001	0.0005	0.0010	0.0032	0.0060	0.0248	0.0892	0.1595

4.4.2. Glicerina

Incertidumbre del Número de Reynolds: Glicerina $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho} = 7.959 \times 10^{-5}\right)$ ``								
T°(K) ±0.1K	300K	305K	310K	315K	320K	325K	330K	335K
$\Delta v/v$	0.0232	0.0306	0.0420	0.0586	0.0730	0.0929	0.1095	0.1387
$\Delta\mu/\mu$	0.0233	0.0307	0.0421	0.0587	0.0731	0.0929	0.1094	0.1388
ΔRe /Re	0.0633	0.0781	0.1008	0.1341	0.1628	0.2026	0.2356	0.2943
ΔRe	0.0092	0.0218	0.0549	0.1538	0.2957	0.5943	0.9776	1.9911

5. Resultados Procesados

Realizando la propagación de incertidumbres, se obtienen los siguientes resultados finales:

5.1. Tiempo de caída

Tiempo de caída a la menor milésima de segundo.				
Temperatura	Miel		Glicerina	
$T^{\circ}(\text{K}) \pm 0.1\text{K}$	$t(\text{s}) \pm \Delta t$	$\% \Delta t$	$t(\text{s}) \pm \Delta t$	$\% \Delta t$
300	36.959 ± 0.167	0.45	6.367 ± 0.132	2.07
305	23.001 ± 0.233	1.01	4.638 ± 0.130	2.80
310	17.072 ± 0.205	1.20	3.298 ± 0.130	3.94
315	9.780 ± 0.138	1.41	2.272 ± 0.128	5.59
320	7.651 ± 0.139	1.82	1.805 ± 0.127	7.04
325	4.974 ± 0.197	3.96	1.420 ± 0.128	9.01
330	2.852 ± 0.139	4.87	1.194 ± 0.128	10.69
335	2.290 ± 0.133	5.81	0.935 ± 0.127	13.58

5.2. Velocidad de caída

Velocidad de caída a 3 cifras significativas				
Temperatura	Miel		Glicerina	
$T^{\circ}(\text{K}) \pm 0.1\text{K}$	$v(\text{m} \times \text{s}^{-1}) \pm \Delta v$	$\% \Delta v$	$v(\text{m} \times \text{s}^{-1}) \pm \Delta v$	$\% \Delta v$
300	0.00271 \pm 0.00002	0.70	0.0157 \pm 0.0004	2.32
305	0.00435 \pm 0.00005	1.26	0.0217 \pm 0.0007	3.06
310	0.00586 \pm 0.00009	1.45	0.0303 \pm 0.0013	4.20
315	0.01023 \pm 0.00017	1.66	0.0441 \pm 0.0026	5.86
320	0.01307 \pm 0.00027	2.06	0.0552 \pm 0.0040	7.30
325	0.02012 \pm 0.00085	4.22	0.0704 \pm 0.0065	9.29
330	0.03509 \pm 0.00180	5.14	0.0840 \pm 0.0092	10.95
335	0.04367 \pm 0.00264	6.06	0.1064 \pm 0.0148	13.87

5.3. Viscosidad del fluido

Viscosidad del fluido a 3 Cifras Significativas				
Temperatura	Miel		Glicerina	
$T^{\circ}(\text{K}) \pm 0.1\text{K}$	$\mu(\text{Pa} \times \text{s}) \pm \Delta\mu$	$\%\Delta\mu$	$\mu(\text{Pa} \times \text{s}) \pm \Delta\mu$	$\%\Delta\mu$
300	12.92 \pm 0.09	0.71	2.28 \pm 0.05	2.33
305	8.04 \pm 0.10	1.27	1.65 \pm 0.05	3.07
310	5.97 \pm 0.09	1.46	1.18 \pm 0.05	4.21
315	3.42 \pm 0.06	1.67	0.81 \pm 0.05	5.87
320	2.67 \pm 0.06	2.07	0.65 \pm 0.05	7.31
325	1.74 \pm 0.07	4.22	0.51 \pm 0.05	9.29
330	1.00 \pm 0.05	5.15	0.43 \pm 0.05	10.94
335	0.80 \pm 0.05	6.06	0.33 \pm 0.05	13.88

5.4. Número de Reynolds

Numero de Reynolds a la menor centésima de unidad				
Temperatura	Miel		Glicerina	
$T^{\circ}(K) \pm 0.1K$	$Re \pm \Delta Re$	$\% \Delta Re$	$Re \pm \Delta Re$	$\% \Delta Re$
300	0.00 \pm 0.00	3.09	0.15 \pm 0.01	6.33
305	0.01 \pm 0.00	4.20	0.28 \pm 0.02	7.81
310	0.02 \pm 0.00	4.59	0.54 \pm 0.05	10.08
315	0.06 \pm 0.00	5.01	1.15 \pm 0.15	13.41
320	0.10 \pm 0.01	5.80	1.82 \pm 0.30	16.28
325	0.25 \pm 0.02	10.11	2.93 \pm 0.59	20.26
330	0.75 \pm 0.09	11.96	4.15 \pm 0.98	23.56
335	1.16 \pm 0.16	13.80	6.77 \pm 1.99	29.43

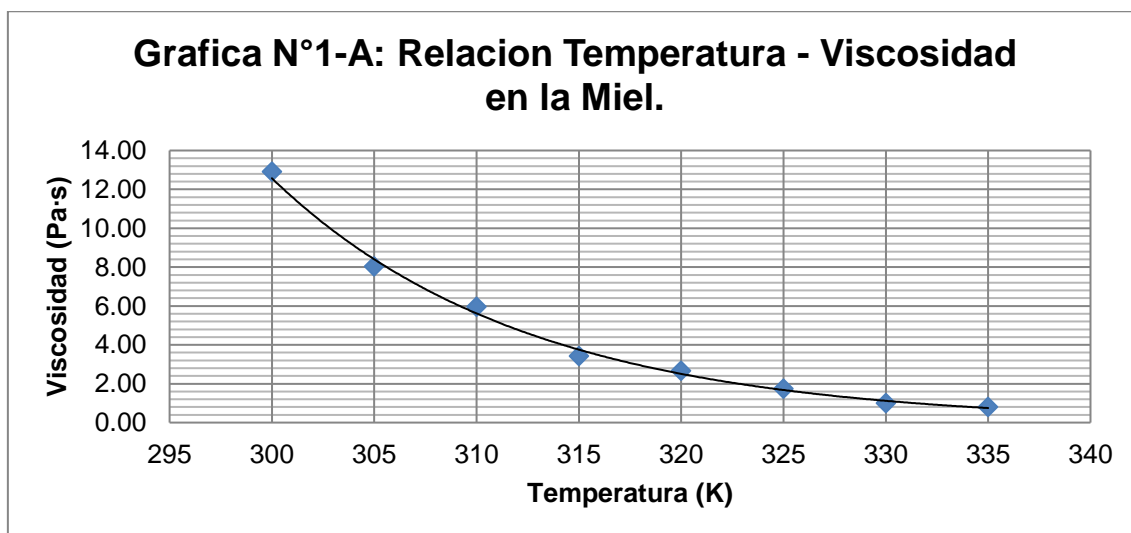
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE DATOS

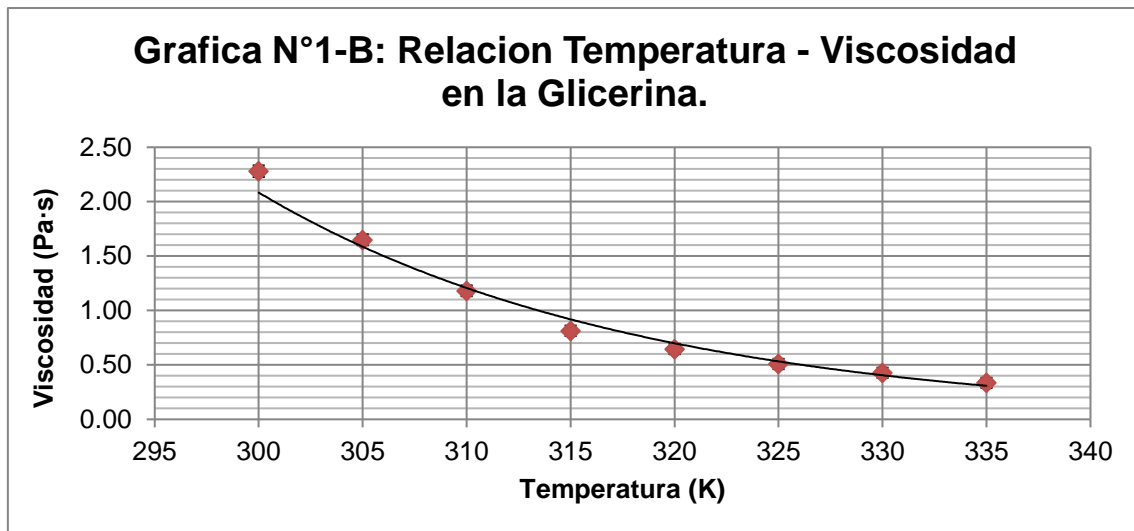
1. Resultados Numero de Reynolds

Se puede evidenciar en el *Punto N°5.4* del Procesamiento de Datos, que todas las repeticiones permitieron que el fluido tuviera un flujo laminar, contribuyendo a una mayor precisión en los resultados. Para ser un flujo laminar se necesita tener un valor menor a 2000, pero claramente se cumple dicho requisito, incluso pudiendo hablar de un flujo laminar ideal, que hace referencia a un valor en el Número de Reynolds muy mínimo.

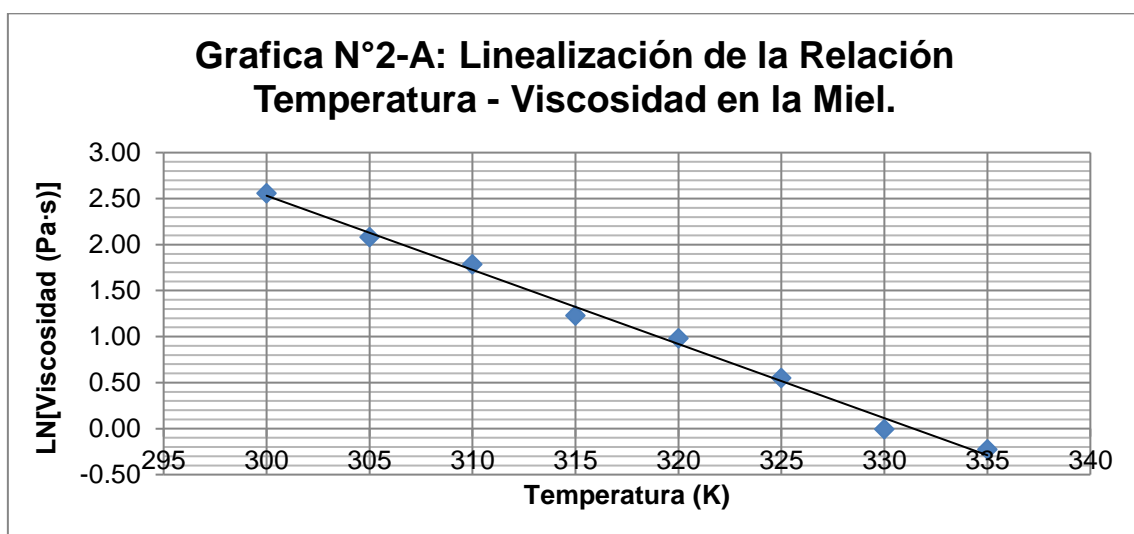
2. Relación Temperatura-Viscosidad

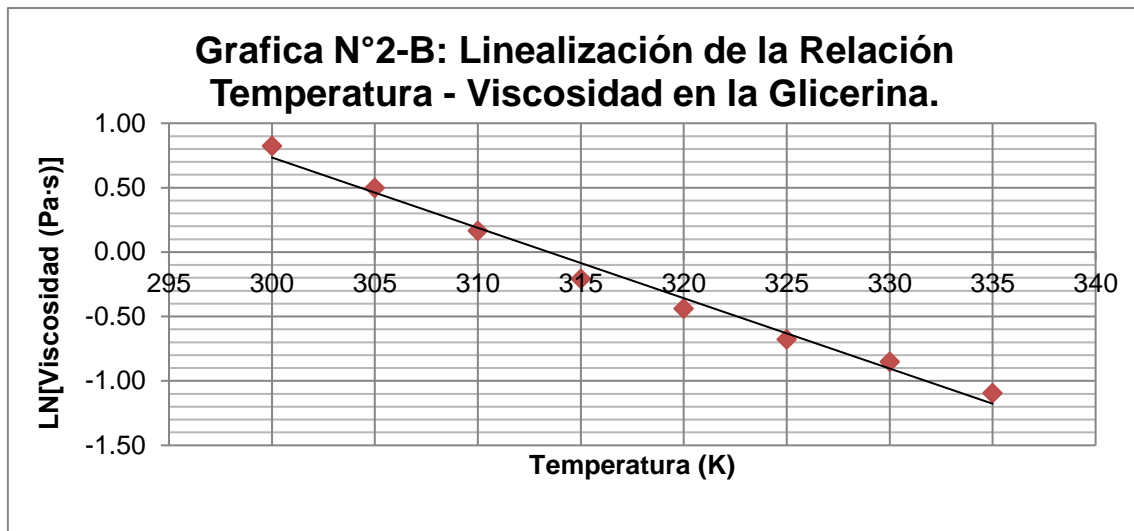
Acorde a los resultados en el *Punto N°5.3* del Procesamiento de Datos se obtienen las siguientes gráficas.





Se cumple la relación expresada en el *Punto N°5.2* del Marco Teórico acerca del impacto de la temperatura en la viscosidad del fluido. Siguiéndose a sí mismo la Ecuación de Arrhenius de manera exponencial. Se realizó la propagación de errores correspondiente pero estos no pueden ser visualizados en la gráfica, demostrando que son despreciables. En base a los presentes resultados podemos reconocer que la miel es más viscosa que la glicerina. A continuación se presentan las gráficas con su respectiva linealización utilizando logaritmo natural para la viscosidad en ambos fluidos.

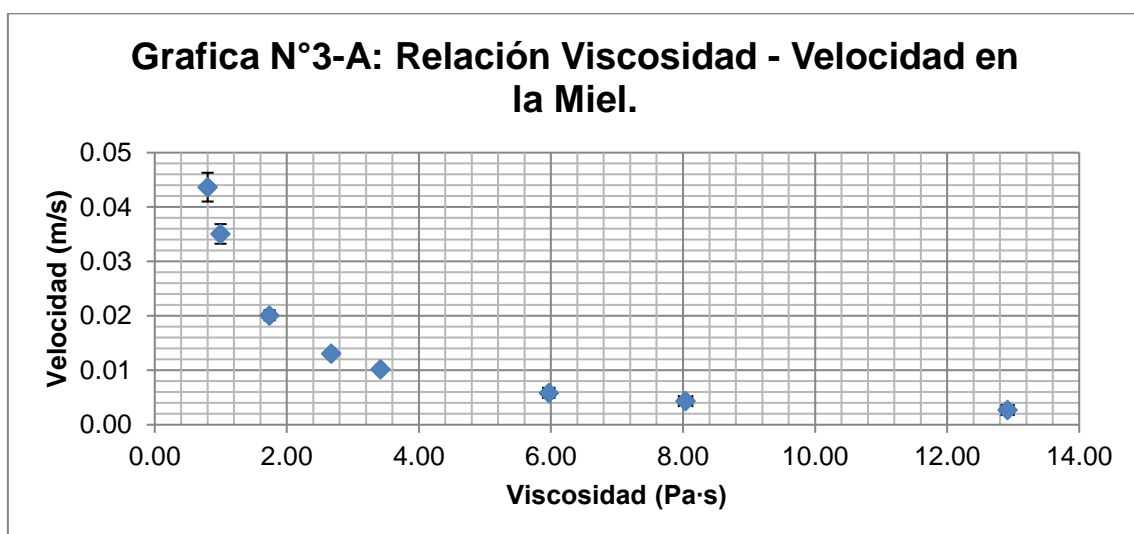


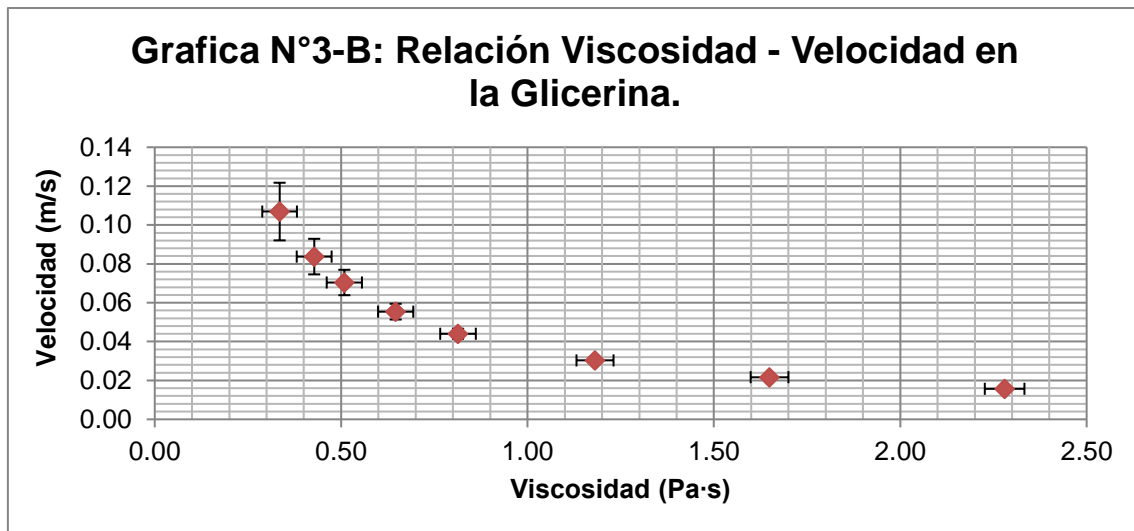


Podemos observar que existe una relación lineal decreciente entre ambas variables, cumpliéndose lo planteado en el Marco Teórico acerca de la Ecuación de Arrhenius. Al realizar la linealización se pierde precisión en los datos, sin embargo esto es debido al error experimental de estos.

3. Relación Viscosidad-Velocidad

Acorde a los resultados en el *Punto N°5.2* del Procesamiento de Datos se obtienen las siguientes gráficas.

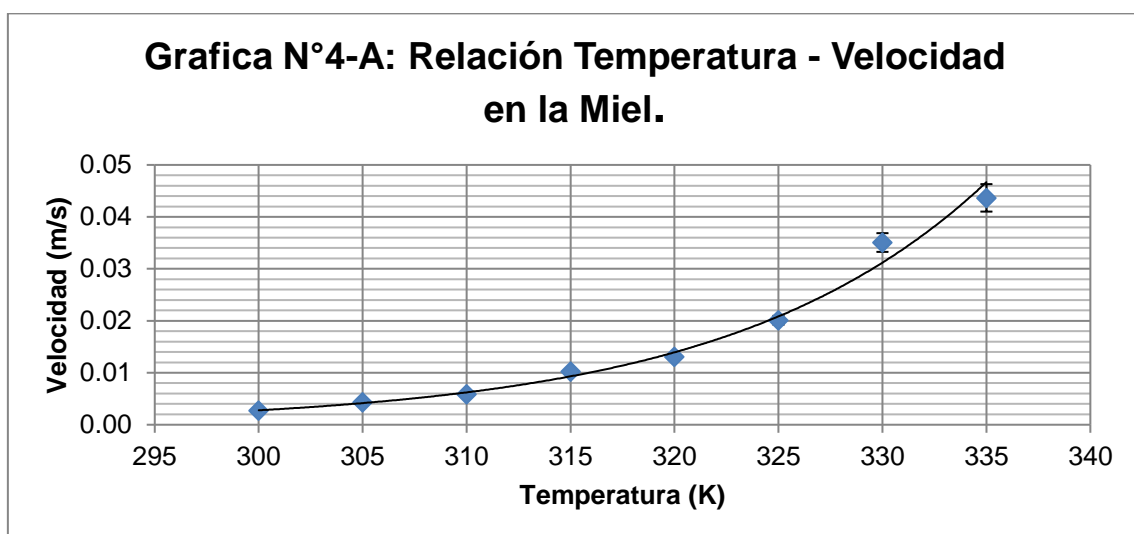




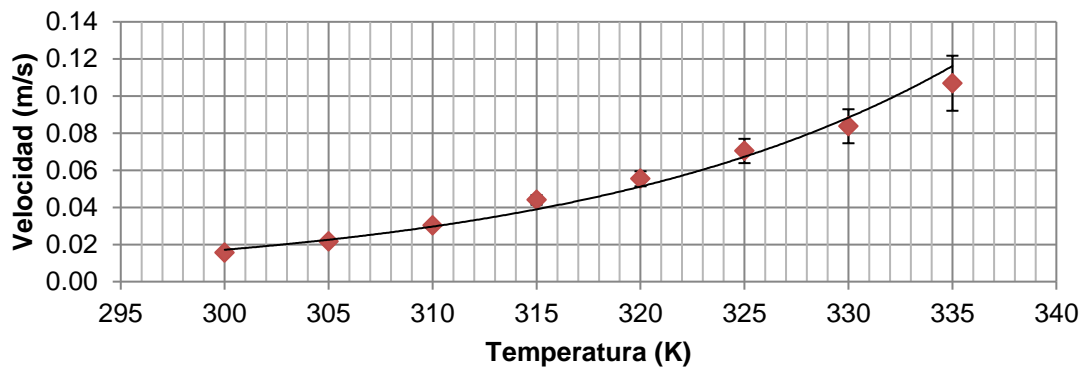
A simple vista podemos pensar que es una relación exponencial, pero entendemos que es una hipérbola, siendo ambas variables un producto constante. Realizada la propagación de incertidumbre, podemos darnos cuenta que el error está presente pero la relación mantiene su estructura.

4. Relación Temperatura-Velocidad

Se obtienen las siguientes gráficas, siendo utilizadas para comprobar la hipótesis planteada inicialmente.

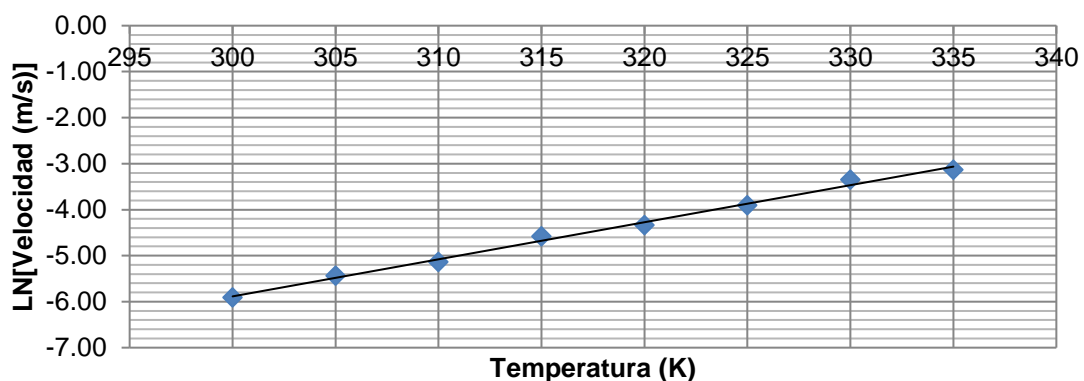


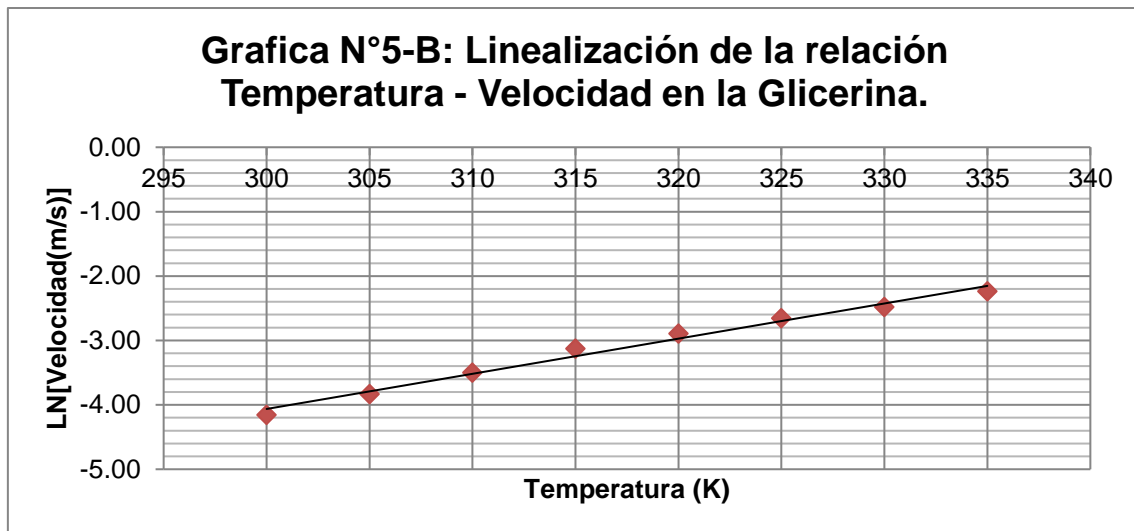
Grafica N°4-B: Relación Temperatura - Velocidad en la Glicerina.



Podemos observar el aumento de la velocidad de caída debido al aumento de la temperatura. Dicha relación sigue una estructura exponencial creciente expresada en el planteamiento de la hipótesis, teniéndose un valor ligeramente atípico en el caso de la Miel, pero dicho no afecta de manera significativa. La linealización se presenta utilizando el logaritmo natural de la velocidad, tal como se expresa a continuación.

Grafica N°5-A: Linealización de la relación Temperatura - Velocidad en la Miel.





Con las gráficas previas podemos comprobar la hipótesis planteada, la cual nos plantea el crecimiento exponencial de la velocidad con respecto a la temperatura y la linealización de dicha gráfica utilizando logaritmos. Estas últimas gráficas responden a mi pregunta de investigación, corroborando la validez de mi hipótesis y su planteamiento matemático.

CONCLUSIONES

La presente experimentación comprueba la hipótesis planteada acerca de la relación entre la temperatura y la velocidad de caída en fluidos newtonianos viscosos, la cual sustenta que a una mayor temperatura, existirá una mayor velocidad de caída. Los datos mostrados anteriormente y sus respectivas incertidumbres son muestra de una precisión en dicha relación para los fluidos utilizados

La metodología utilizada fue la adecuada para los valores utilizados, se necesitaría una mayor precisión instrumental y cantidad de repeticiones para la reducción de errores para temperaturas más altas o más bajas debido al porcentaje de error presentado. Mediante la utilización de ecuaciones pudimos determinar distintos valores sin la necesidad de utilizar instrumentos externos para dicho fin, tal como determinamos la velocidad o la viscosidad durante la experimentación. Pero este factor limita al aumentarse el error al ser dependiente de la experimentación inicial.

Este tema plantea muchos otros para futuras investigaciones. Con la metodología utilizada se puede aumentar la cantidad de datos utilizados enfocar todo a un solo fluido y determinar de manera experimental los valores constantes de la Ecuación de Arrhenius para un fluido conocido. De igual manera extender el rango de temperaturas utilizado daría resultado de dichas constantes de manera más exacta. Por otro lado, sería pertinente investigar acerca del cambio de la velocidad en otros tipos de fluidos, y explorar los fluidos no newtonianos, para comparar y contrastar dichos resultados con los fluidos newtonianos.

En síntesis, la experimentación comprueba la hipótesis de manera satisfactoria, con errores que no dificultan la obtención y comprensión de los resultados. Esta investigación es aplicada en el transporte de materiales en la industria alimenticia y minera, debido a que se estudia las propiedades de dichos fluidos y la capacidad de transporte con otros objetos. Estos resultados abren nuevas posibilidades de exploración en un futuro, permitiéndose la metodología hacer distintas variaciones para una variedad de descubrimientos.

Bibliografía

Libros:

1. Çengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*. México, D.F: McGraw-Hill.
2. Serway, R., & Vuille, C. (2012). *Fundamentos de Física*. Ciudad de México: Cengage Learning.
3. Universidad de Alicante. (2018). Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. Recuperado el 23 de Junio de 2018, de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3623/1/tema2RUA.pdf>

Imágenes:

1. Çengel & Cimbala. (2006.). *Introducción a los fluidos*. Recuperado de *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*.
2. Çengel & Cimbala. (2006.). *Fluidos Newtonianos*. Recuperado de *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*.
3. Neetescuela. (s.f.). *Flujos Laminares y Turbulentos*. Recuperado de <https://neetescuela.org/flujo-turbulento-y-laminar/>
4. García, A. (2009). *Movimiento de una esfera en un fluido viscoso*. Recuperado de: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/_dinamica/fluidos/stokes/stokes.html

Anexos

Imágenes de la experimentación realizada



Imagen fuente propia



Imagen fuente propia



Imagen fuente propia



Imagen fuente propia



Imagen fuente propia

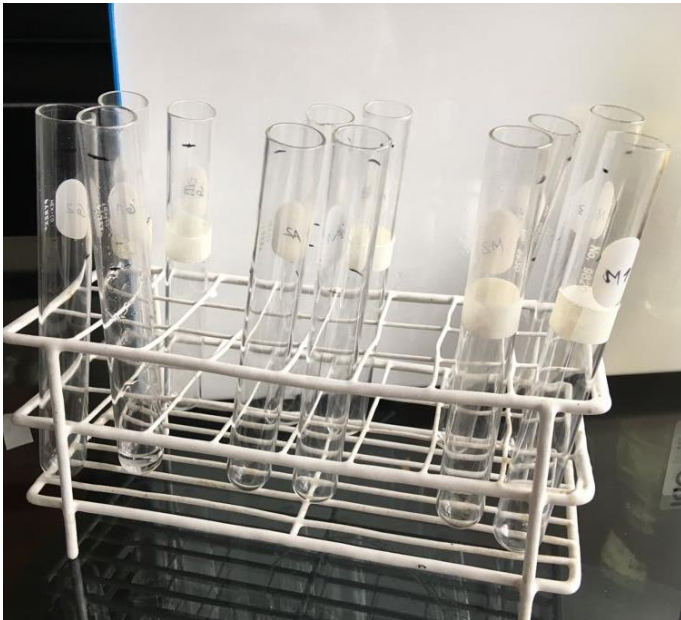


Imagen fuente propia

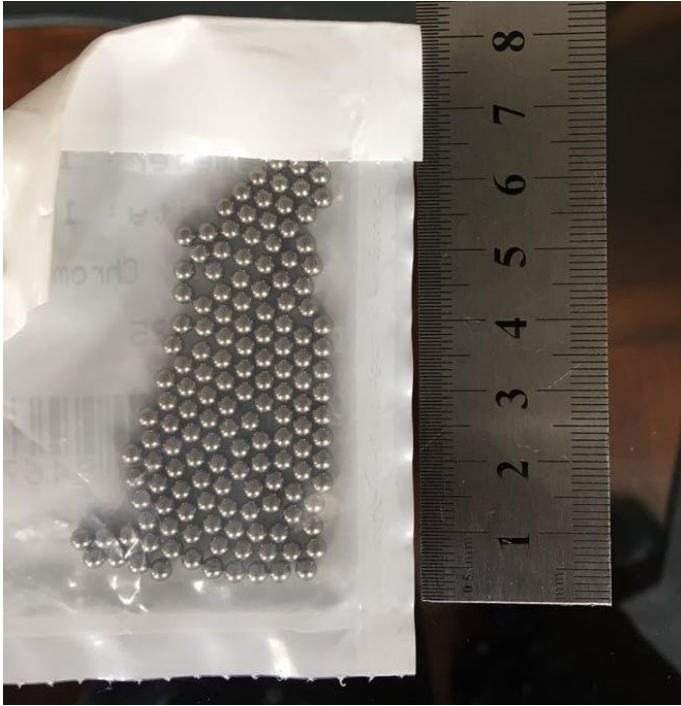


Imagen fuente propia



Imagen fuente propia



Imagen fuente propia

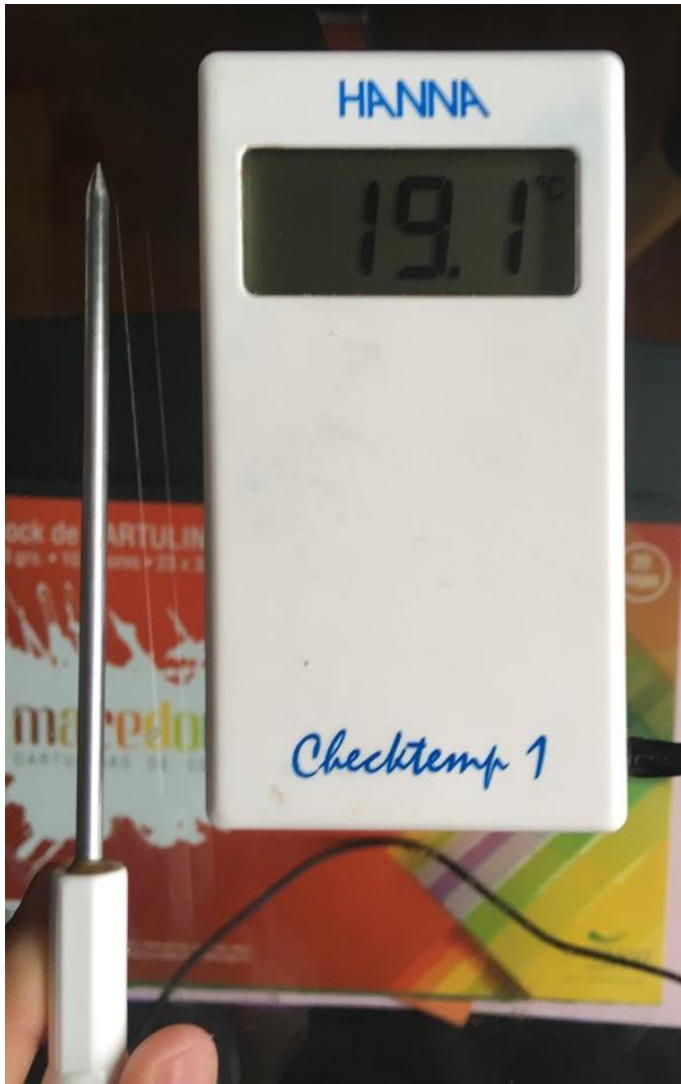


Imagen fuente propia



Imagen fuente propia