

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	1/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Manual de prácticas del laboratorio de Biotermofluidos

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Carlos Palacios Morales			

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	2/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Índice de prácticas

PRÁCTICA 1. DENSIMETRÍA

PRÁCTICA 2. VISCOSIMETRÍA

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	3/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 1

## Densimetría

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	4/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

Instrumentos de vidrio	Riesgo de ruptura de los instrumentos de vidrio debido a un manejo inadecuado.
------------------------	--

## 2. Objetivo

- Obtener la densidad de diversos fluidos con un picnómetro.
- Obtener la densidad de algunos fluidos con un densímetro y comparar con la obtenida con el picnómetro.
- Repasar brevemente el concepto de tensión superficial y el fenómeno de capilaridad.

## 3. Concepto básicos y definiciones

La densidad es una propiedad física intensiva cuya magnitud indica la cantidad de masa existente en un determinado volumen y puede ser absoluta o relativa. Esta propiedad, varía directamente con la presión e inversamente con la temperatura (con la excepción de agua y el silicio para determinados rangos).

La densidad absoluta ( $\rho$ ) es la masa por unidad de volumen de una sustancia:

$$\rho_{sustancia} = \frac{m_{sustancia}}{v_{sustancia}} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

La densidad relativa ( $\delta$ ) es la relación entre la densidad de una sustancia respecto a una densidad de referencia, generalmente para líquidos se utiliza la densidad del agua a 1 atm y 4°C (1000 kg/m<sup>3</sup>) y para gases se emplea la densidad del aire (1.205 kg/m<sup>3</sup>). Es una cantidad adimensional y la expresión con la que se calcula es la siguiente:

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	5/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$\delta = \frac{\rho_{sustancia}}{\rho_{preferencia}} [1]$$

La densidad es una propiedad que depende de la presión y temperatura. El volumen de una sustancia aumenta proporcional al aumento de la temperatura y por lo que se tiene así una disminución en la densidad. Por otro lado, la densidad de los líquidos es prácticamente constante con la presión, por lo que se consideran incompresibles y solamente se toman en cuenta los cambios con respecto a la temperatura.

Según sea el estado de segregación de la sustancia será su densidad. Comúnmente la densidad de una sustancia en fase sólida es mayor que en fase líquida, que a su vez es mayor que la de la fase gaseosa.

La densidad de los gases presenta una gran variación con la temperatura y la presión y es casi lineal con respecto a esta última (White, 2011). En el caso del aire y otros gases, se consideran como gases ideales y se emplea la ecuación de densidad para gas ideal:

$$\rho = \frac{P}{RT} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

donde P es la presión, R es la constante del gas y T es la temperatura absoluta.

Existen diversas formas de medir la densidad de un líquido, entre las que se encuentran los siguientes instrumentos:

- Densímetro o aerómetro. se basa en el principio de Arquímedes.
- Picnómetro.
- Balanza hidrostática
- Balanza de Mohr
- Lactómetro
- Aerómetro, Salinómetro, sirve para medir la salinidad de una solución

De las herramientas anteriormente mencionadas, dos serán empleadas para esta práctica: el densímetro y el picnómetro.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	6/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El densímetro (*hydrometer* o *areometer*, en inglés) tiene la finalidad de medir la densidad relativa de un líquido sin que su masa y volumen sean previamente medidos. Consiste en tubo hueco de vidrio con una masa pesada en el fondo y graduado en su parte superior. Este dispositivo flota o no dependiendo de la densidad del fluido al que es introducido.



*Figura 1. Aerómetro utilizado en el laboratorio.*

El picnómetro, es un recipiente generalmente hecho de vidrio, su volumen está calibrado y junto con una balanza granataria permite obtener la masa del líquido dentro de él, y con ello, la densidad. Cuenta con un tapón esmerilado, que permite un ajuste perfecto al recipiente, además de un tubo capilar que permite la salida de las burbujas de aire que pudieran quedar atrapadas.

Permitir la medición de densidad de polvos, pinturas, recubrimientos y demás. Para líquidos muy viscosos o polvos, existen de otros tipos, tamaños de boquilla y materiales. La ASTM cuenta con varios documentos con el proceso a seguir para medir la densidad de líquidos comunes, pinturas, polvos o suelos, barnices, etcétera; ASTM D854 - 14, ASTM D1475 - 98, ASTM D1217 - 15, ASTM D1963 - 85.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	7/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



*Figura 2. Picnómetro utilizado en el laboratorio*

## 4. Equipo y Material

1. 2 densímetros o aerómetros
2. Probetas de 500 ml o 1 litro
3. Picnómetros de 25 ml
4. Balanza digital
5. Franela, papel para limpieza y secado.
6. Líquidos diversos (agua, aceite de cocina, glicerina pura, alcohol)
7. Recipientes
8. Termómetro

## 5. Actividades

### 5.1. Medición de densidad con el picnómetro

1. Lavar y secar perfectamente el picnómetro cuidando que no quede ningún residuo.
2. Ajustar a cero la balanza.
3. Colocar el picnómetro en la balanza; cuidar que no contenga ningún residuo ni huellas dactilares, que podrían variar el resultado. Registrar el valor de la masa del picnómetro vacío,  $m_p$ .
4. Llenar el picnómetro hasta el tope con el líquido a medir.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	8/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Colocar el tapón al picnómetro, las burbujas deberían salir por el tubo capilar, de no ser así, se debe retirar la tapa, vaciar un poco de líquido del recipiente, volver a llenar y tapar.
6. Secar la parte exterior del picnómetro cuidado no dejar residuos del material con que se realiza el secado.
7. Colocar nuevamente el picnómetro en la balanza y registrar la medida de la masa del picnómetro con el líquido,  $m_p+m_f$ .
8. Con ayuda del termómetro, registrar la temperatura del fluido de trabajo.
9. Vaciar y secar el picnómetro.
10. Repetir el procedimiento con otros de trabajo.

## 5.2 Medición de densidad con el densímetro

1. Limpiar y secar la probeta de 500 ml.
2. Llenar la probeta con el fluido de trabajo.
3. Escoger el densímetro graduado en la escala de densidad relativa esperada de cada líquido.
4. Colocar el densímetro con cuidado y siempre con la parte donde está concentrada la masa por debajo.
5. Esperar unos segundos a que deje de oscilar el instrumento y hacer la lectura de densidad relativa.
6. Registrar la temperatura, vaciar el fluido de trabajo a su contenedor, limpiar la probeta, secarla y repetir con algún otro fluido de trabajo.

## 6. Resultados

Reportar los valores obtenidos de la densidad para los fluidos de trabajo con el picnómetro y densímetro. Revisar en la literatura cuál es la densidad de cada uno de los líquidos analizados. Llenar la siguiente tabla:

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	9/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fluido	Picnómetro $m_p+m_f$	Densímetro S.G.	Temperatura (°C)	Densidad picnómetro (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Densímetro (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad líquido en la literatura (kg/m <sup>3</sup> )

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	10/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1. Mediciones

## 7. Cuestionario

1. ¿Qué tanto varía la densidad medida con ambos métodos y a qué se debe dicha variación?
2. ¿Cuándo se justificaría el uso del picnómetro para medir la densidad de una sustancia y cuándo el aerómetro? Justifica tu respuesta.
3. ¿Cómo podría llevar a cabo la medición de la densidad con el picnómetro a una temperatura diferente a la ambiental?

## 8. Bibliografía

- (2019). Instrumentosdemedicion.org. <https://instrumentosdemedicion.org/densidad/>
- White, Frank. *Mecánica de fluidos*. 7a edición. EUA: McGraw-Hill, 2015. 862 p. ISBN 978-607-32-3288-3.
- Çengel, Yunus; Cimbala, John. *Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones*. 3ra Ed. EUA: McGraw-Hill, 2020. ISBN- 9781456277703

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	11/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	12/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

# Práctica 2

## Viscosimetría 1

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	13/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 1. Seguridad en la ejecución

Fuente de riesgo	Riesgo asociado
Instrumentos de vidrio	Cortaduras debido a la ruptura de los instrumentos por un manejo inadecuado

## 2. Objetivos

- Obtener la viscosidad de diversos líquidos mediante el viscosímetro rotacional.
- Calcular la viscosidad de diversos líquidos mediante el viscosímetro de Stokes.
- Comparar los resultados obtenidos con ambos viscosímetros
- Observar la variación de la viscosidad con la temperatura
- Obtener las constantes de alguno de los modelos matemáticos existentes en la literatura a partir de los datos experimentales.

## 3. Conceptos básicos y definiciones

La viscosidad es una medida de la resistencia de los fluidos al movimiento y depende principalmente de los esfuerzos cortantes aplicados. Es la responsable de que sea más difícil moverse en el agua que en el aire. **En otras palabras, la viscosidad se manifiesta debido a la fricción entre capas de fluido cuando este se desplaza.**

La **viscosidad** de los fluidos puede variar considerablemente por muchos órdenes de magnitud. La viscosidad prácticamente no varía con la presión, pero sí con la temperatura. Debido a su naturaleza, la viscosidad es de vital importancia en cualquier aplicación en que haya flujo y afecta fuertemente su comportamiento pues representa la cantidad de fricción, siendo así, una

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	14/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

propiedad que se encarga de disipar energía. Las unidad con las que se mide la viscosidad con  $Pa.s$  en Sistema Internacional o también *Poise*, el cual equivale a  $0.1 Pa.s$ .

Se puede demostrar que la fuerza cortante aplicada a un fluido está relacionada con la rapidez con la que este se deforma. Matemáticamente, se tiene una relación entre el esfuerzo cortante aplicado a un fluido  $\tau$ , y la tasa o rapidez de deformación a la que se deforma debido a él,  $\gamma$ :

$$\tau = \mu\gamma$$

A esta relación lineal se le llama la “ley de viscosidad de Newton” y a los fluidos que la siguen se les conoce como newtonianos (agua, aire, miel, gasolina) y en ellos, la viscosidad no depende de la tasa de deformación. A los fluidos que no se comportan según esta ley se les llama fluidos no newtonianos. El viscosímetro de Stokes consiste en dejar caer una esfera pequeña en una columna de líquido viscoso. Al ser los esfuerzos viscosos relativamente grandes, la esfera no se acelera en su caída, sino que cae a velocidad constante. Si se conoce la velocidad de caída de la esfera puede calcularse la viscosidad del líquido con la siguiente ecuación

$$\mu = \frac{2gR^2}{9v} (\rho_b - \rho_f)$$

Donde  $\rho_b$  es la densidad de la esfera,  $\rho_f$  es la densidad del fluido,  $v$  es la velocidad de caída de la esfera,  $R$  es el radio de la esfera y  $\mu$  es la viscosidad del fluido.

El viscosímetro rotacional es un instrumento que mide la viscosidad del fluido haciéndolo girar dentro de un vaso. El instrumento tiene un motor que mueve un agitador o impulsor de manera circular. Existen diferentes geometrías dependiendo de qué tan viscoso sea el fluido. En general entre más viscoso sea un fluido, se tiene que usar una geometría con menos área. El motor tiene acoplado un medidor de par o torquímetro. Ese torquímetro nos dará una medida de la fuerza o esfuerzo necesario para girar el impulsor a cierta velocidad (rpm) dentro de un líquido viscoso. Dicha fuerza aplicada es directamente proporcional a la viscosidad.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	15/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 4. Equipo y Material

- Viscosímetro rotacional
- Probetas de diferentes tamaños
- Esferas de diferentes tamaños
- Balanza
- Densímetro o picnómetro
- Cinta adhesiva
- Cronómetro
- Termómetro
- Parrilla eléctrica
- Pinzas
- Guantes de carnaza
- Líquidos a trabajar
- Vernier

## 5. Actividades

### 5.1. Viscosímetro de Stokes

1. Medir la densidad del líquido de trabajo con el picnómetro y la balanza granataria.
2. Medir el diámetro (con el calibrador vernier) y la masa (con la balanza) de las esferas a utilizar para calcular la densidad de estas.
3. Llenar la probeta **de 500 ml** con el fluido a estudiar, preferentemente hasta el tope.
4. Seleccionar uno de los balines que se encuentren en la lista de materiales.
5. Se recomienda realizar el experimento con, al menos, dos esferas diferentes para observar cómo varía el resultado de la viscosidad a diferentes números de Reynolds.
6. Identificar dos puntos, cuya distancia sea conocida, la cual determinará la distancia recorrida por la esfera.
7. Soltar una esfera y, con la ayuda del cronómetro, medir el tiempo que tarda la esfera en recorrer la distancia considerada para obtener la velocidad de caída.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	16/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Se recomienda repetir al menos cuatro veces el experimento y tomar el promedio de las lecturas.
9. Si el fluido no es totalmente transparente, se puede utilizar una luz puesta al fondo para que se pueda observar el movimiento de la esfera.
10. Medir la temperatura del fluido con ayuda del termómetro de alcohol.
11. Realizar el experimento con cada uno de los fluidos recomendados.

**Llenar la siguiente tabla:**

Experimento	Material esfera	Diámetro (mm)	Tiempo caída (s)	Temperatura (°C)
1				
2				
3				
4				

Tabla 1. Datos experimentales.

## 5.2 Viscosímetro rotacional

1. Conectar el viscosímetro a la alimentación eléctrica por medio del eliminador.
2. Nivelar el viscosímetro, utilizar para ello los tornillos que se encuentran en la base del dispositivo.
3. Elevar hasta la altura máxima el viscosímetro girando la perilla que se encuentra en la parte posterior del viscosímetro.
4. Llenar uno de los vasos metálicos del viscosímetro con el fluido de estudio.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	17/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Elegir un husillo, colocarlo en el viscosímetro, colocar el vaso bajo el cabezal y bajar el cabezal con el husillo.
6. Verificar que el fluido de estudio cubra la marca del husillo, de no ser así, agregar más fluido del mismo para que lo haga.
7. Encender el viscosímetro, configurar los parámetros de velocidad, tiempo y el número de husillo, oprimir la opción “next” y “run” y esperar unos segundos (entre 15 y 30 dependiendo del fluido de trabajo y la velocidad de rotación) a que pase el estado transitorio.
8. Leer el factor de corrección, si la lectura es lejana a 50% presionar el botón “stop” y modificar la velocidad de rotación; si el problema continúa, cambiar el medidor. Si el factor de corrección es correcto, realizar la lectura de viscosidad y temperatura.
9. Para medir el efecto del cambio de viscosidad con la temperatura, calendar el líquido a diferentes temperaturas, por ejemplo: 20, 30, 40, 50 y 60 °C.
10. Repetir los pasos 7-8 para las diferentes temperaturas

Llenar la siguiente tabla:

Temperatura líquido (°C)	Viscosidad en (Pa.s)
T amb	
30	
40	
50	
60	

Tabla 2. Datos experimentales, líquido a diferentes temperaturas.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	18/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 6. Resultados

Con las mediciones obtenidas, llenar la siguiente tabla:

Experimento	Velocidad caída (mm/s)	Viscosidad Exp. Caída libre	Reynolds

Tabla 3. Resultados

**Grafique la viscosidad en función de la temperatura**

## 7. Cuestionario

1. ¿Cuál es la importancia de la viscosimetría? Investiga los diferentes métodos que existen para medir la viscosidad de las sustancias, explicando en que se basan cada uno de ellos
2. ¿Con qué medirías la viscosidad de un shampoo, de vaselina, de salsas, etcétera? ¿Se puede utilizar un viscosímetro como los utilizados en el laboratorio? Justifica tu respuesta.
3. ¿Cómo se comporta la viscosidad con respecto a la temperatura y a qué se debe dicho comportamiento en líquidos y en gases?
4. ¿Cómo influye la temperatura en el comportamiento de la viscosidad en procesos como el bombeo de sustancias a lo largo de una tubería o en la extrusión de plásticos o algún otro proceso? Justifica tu respuesta de manera lógica.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Biotermofluidos</b>	Código:	MADO-100
		Versión:	01
		Página	19/19
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	5 de agosto de 2024
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. ¿Qué importancia tiene el conocer el comportamiento de la viscosidad con respecto a la temperatura en, por ejemplo, los aceites para lubricación de motor o máquinas?
6. ¿Qué debes tener en cuenta para que el viscosímetro de bola en caída libre genere resultados confiables y por qué?

## 8. Bibliografía

Fuentes básicas

- White F. M. (2011). *Mecánica de fluidos*. 7a edición. EUA: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A. y Cimbala, J. M. (2019). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. 4ª edición en español. McGraw-Hill México.