



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC  
DIRECCIÓN ACADÉMICA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

# Manual de Prácticas de Laboratorio integral 1 Sexto semestre

INGENIERÍA QUÍMICA

Octubre, 2021



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**





GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	1.125		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Flujo de fluidos.		
<b>TEMA(S)</b>	Caída de presión en lechos empacados.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	Diseñar, planear y desarrollar experimentos de flujo de fluidos.		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	1. "Caída de presión en lechos empacados". Prácticas Adicionales (Optativas)	<b>DURACION (HORAS)</b>	10



### ANTECEDENTES

- El alumno deberá solicitar a la laboratorista el manual del equipo correspondiente
- El alumno aprenderá a operar una columna empacada para determinar la caída de presión.
- El alumno deberá investigar y establecer diferentes alternativas de solución a planteamientos dados por el profesor. Estas serán discutidas en reuniones grupales.
- El alumno deberá planear, diseñar y ejecutar las actividades experimentales necesarias para la solución de problemas planteados por el profesor.
- El alumno deberá realizar informes de resultados obtenidos utilizando gráficas, diagramas y observaciones pertinentes a la caída de presión en lechos empacados.
- El alumno deberá investigar los siguientes conceptos previos a la realización de la práctica:
  - Ecuación de Ergun
  - Numero de Reynolds
  - Densidad promedio de un gas
  - Diámetro efectivo para un cilindro
  - Agregados de partículas y proceso de floculación
  - Circulación de fluidos a través de lechos porosos y tortas
  - Ley de Darcy
  - Circulación de gases y líquidos a través de lechos granulares
  - Lechos fluidizados
  - Velocidad terminal

### PREGUNTA GENERADORA

- ¿Qué datos experimentales debe obtener el alumno de una columna empacada?
- ¿qué tipos de funciones y aplicaciones son necesarias para su obtención?

### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Para determinar la caída de presión en un lecho empacado con la ecuación de ergun, el alumno deberá obtener los siguientes datos del laboratorio previos al desarrollo de la práctica, en la columna empacada con anillos rasching del laboratorio:

- Temperatura del aire °k
- Diámetro y Longitud de los anillos (m)
- Longitud del lecho empacado (m)
- Fracción de huecos en el lecho



## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



- Presión inicial del aire (Pa)
- Flujo másico por unidad de área  $\text{Kg}/\text{m}^2 \text{ s}$
- Viscosidad del aire de tablas en Pa-s
- Masa molecular el aire  $\text{Kg}/\text{mol}$

Una vez obtenida la información antes mencionada, los alumnos junto con su profesor acudirán el lugar del laboratorio donde se encuentra instalada la columna empacada y se procederá a su manipulación previa explicación proporcionada por su asesor y siguiendo las siguientes instrucciones.

- Llenar el tanque de alimentación hasta dos terceras partes de su capacidad
- Abra y cierre las válvulas que sean necesarias para establecer un circuito que incluya la tubería donde se determinará la caída de presión y que pase a través del rotámetro.
- Haga circular el fluido (abriendo la válvula de de control) por el sistema donde se encuentran instalado el rotámetro.
- Regule el flujo del agua y del aire por medio de la válvula respectiva
- Observe y registre las lecturas manométricas en la escala graduada y verifique que no se desborde el agua por la parte superior de la columna.
- Para cada relación aire / agua registra la caída de presión en la escala graduada y anótalas en su cuaderno de datos experimentales.

Opere el equipo y obtenga la información experimental necesaria y anótela en su cuaderno.

### REACTIVOS Y EQUIPO NECESARIOS.

- Agua
- Termómetro de  $-10$  a  $120$  °C
- Vernier
- Flexómetro
- Columna de empacada del equipo UOP7



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



### EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA

Una vez obtenida la información experimental desarrolle los cálculos pertinentes, empleando el cálculo de la densidad con la presión promedio, el No. De Reynols, Diámetro de partícula, su porosidad y sustituyendo estos datos en la ecuación de Ergun determine la caída de presión del lecho empacado en su mesa del laboratorio con su equipo de trabajo.

### INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.

### BIBLIOGRAFIA

C.J.Geankoplis/1995 Procesos de transporte y operaciones unitarias Ed. CECSA/  
3ª Edición

WELTY, 2001 Fundamentos de Transferencia de Calor, Momento y Masa Ed. IPN./ 2ª  
Edición

Ocón García, Joaquín y Gabriel Tojo Barreiro. Problemas de Ingeniería Química,  
Operaciones Básicas. Tomo II. Aguilar Ediciones, 1972.

Manual de Procedimiento UOP7 GAS ABSORPTION COLUMN –MASS TRANSFER  
EXERCISES.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	1.125		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Flujo de fluidos.		
<b>TEMA(S)</b>	Potencia de una bomba en un circuito hidráulico		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	Diseñar, planear y desarrollar experimentos de flujo de fluidos.		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	2.- Potencia de una bomba Prácticas Adicionales (Optativas)	<b>DURACION (HORAS)</b>	12

**ANTECEDENTES**

- El alumno deberá solicitar a la laboratorista el manual del equipo correspondiente.
- El alumno deberá investigar y establecer diferentes alternativas de solución a planteamientos dados por el profesor. Estas serán discutidas en reuniones grupales.
- El alumno deberá planear, diseñar y ejecutar las actividades experimentales necesarias para la solución de problemas planteados por el profesor.
- El alumno deberá realizar informes de resultados obtenidos utilizando gráficas, diagramas y observaciones pertinentes en la determinación de la potencia de una bomba en un circuito hidráulico.
- El alumno deberá investigar los siguientes conceptos previos a la realización de la práctica:
  - Gasto volumétrico
  - Número de Reynolds



- Factor de fricción para cada tubería.
- Perdidas por fricción para cada tubería
- Ecuación de Bernoulli
- La obtención de la potencia de una bomba para un circuito hidráulico.
- Las bombas centrifugas son generalmente divididas en tres categorías, investigue.
- Características de una bomba centrífuga.
- Partes de una bomba centrífuga.

#### PREGUNTA GENERADORA

- ¿Qué datos experimentales debe obtener el alumno de un arreglo de tuberías?
- ¿qué tipos de funciones y aplicaciones son necesarias para su obtención?

#### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- Verificar que la bomba contenga agua para poder encenderla
- Revisar que las llaves de paso estén abiertas
- Revisar la presión del agua en los diferentes puntos del circuito
- Medir la presión del agua de cada válvula del circuito
- Tomar el tiempo que tarda en recoger el agua en todo el circuito
- Al final del circuito poner una probeta para llenar 1 lt y medir el tiempo.
- Repetir el procedimiento 5 veces para tener diferentes mediciones y sacar promedio.
- Contar cada uno de los accesorios (codos, tes, tubería, válvulas etc.) del siguiente arreglo.

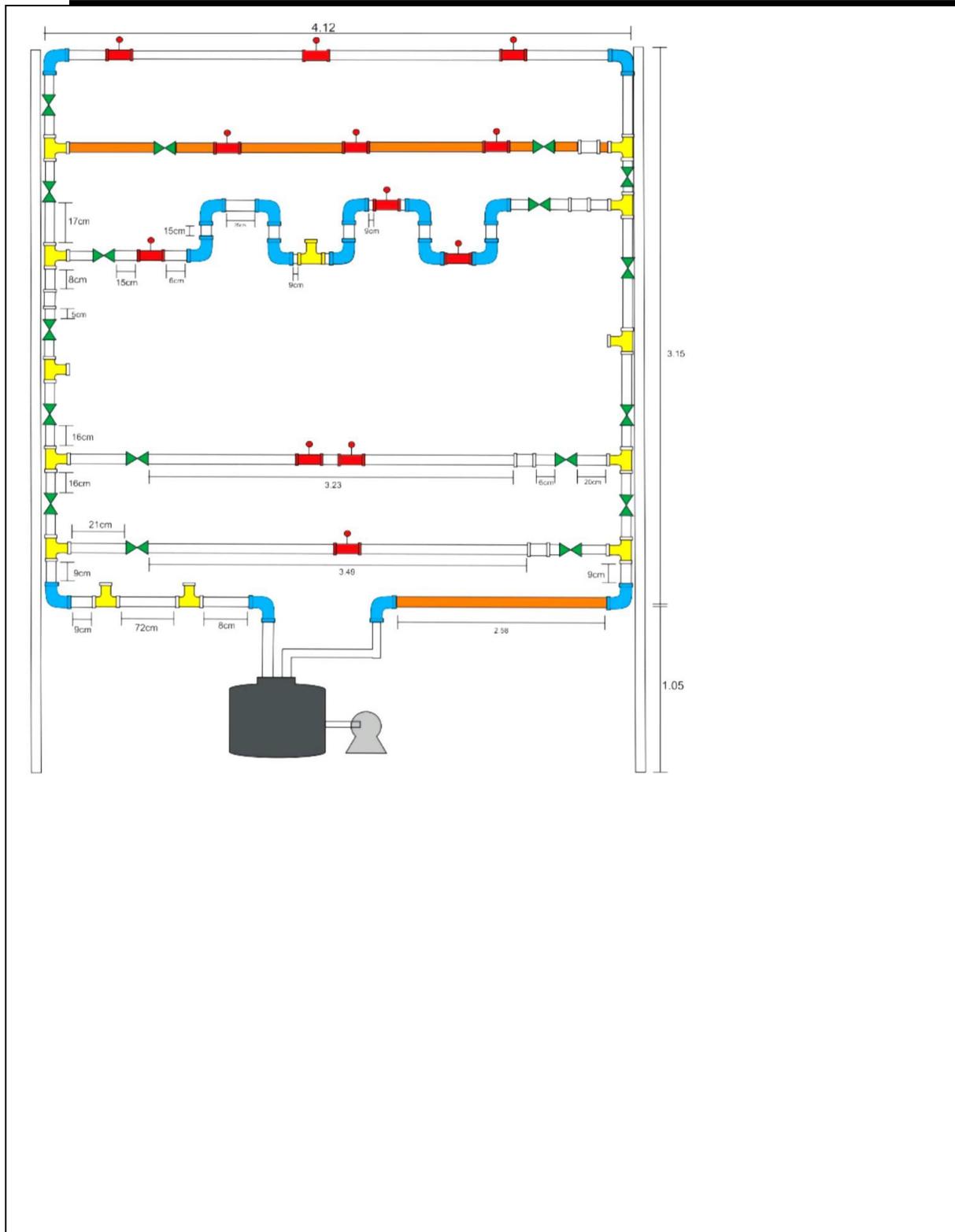


GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

# MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO

## Modelo por Competencias Profesionales

### Laboratorio Integral 1





**MATERIAL Y EQUIPO**

CANTIDAD	MATERIAL
1	BOMBA CENTRIFUGA
1	Probeta graduada de 1 lt
2	Mangueras de 10 mts
1	Cinta para medir
1	Vernier

**EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA**

Después de medir 5 veces el tiempo de llenado de la probeta de 1 Lt obtenga el tiempo promedio en (Lt/segundo) y los diámetros de las tuberías a considerar de 1 plg y 2 plg según se muestra en el diagrama de tuberías antes presentado. Se determinará:

- El gasto volumétrico
- El número de Reynolds
- El factor de fricción para cada tubería ( 1 y 2 plgs.)
- Las perdidas por fricción para cada tubería
- La aplicación de la Ecuación de Bernoulli
- La obtención de la potencia de una bomba para el arreglo de tuberías presentado anteriormente.

**INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)**

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio.

### BIBLIOGRAFIA

Flujo de fluidos e intercambio de calor . J. Costa López, Ed. Reverté, 1993.

Operaciones unitarias y reactores químicos. Muñoz Andrés Vicenta. Ed. UNED. 2013.

Cussler, E. L. Diffusion Mass Transfer in fluid systems. Cambridge University Press, USA, 1984.

Wankat, Phillip C. Ingeniería de los Procesos de Separación, 2a Edición. Prentice Hall Pearson, 2005.

Ocón García, Joaquín y Gabriel Tojo Barreiro. Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas. Tomo II. Aguilar Ediciones, 1972.

Manual de Procedimiento UOP7 GAS ABSORPTION COLUMN –MASS TRANSFER EXERCISES.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química.		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	0.75		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Manejo de Sólidos		
<b>TEMA(S)</b>	Reducción de tamaño y análisis granulométrico.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<p>Competencias específicas: Planea y desarrolla actividades practicas empleando el equipo de manejo de sólidos</p> <p>Genéricas: Capacidad de análisis, habilidades de gestión de información, trabajo en equipo, compromiso ético, habilidades de investigación, capacidad de aprender, habilidad de trabajar en forma autónoma, búsqueda de logro.</p>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	3.- Reducción de tamaño y análisis granulométrico Prácticas Adicionales (Optativas)	<b>DURACION (HORAS)</b>	10



#### ANTECEDENTES:

La probabilidad de paso de una partícula a través de un tamiz depende de la fracción de la superficie total representada por las aberturas, así como el tiempo de agitación en el tamiz vibratorio.

Conocer el funcionamiento de los diferentes tipos de molinos como a la vez familiarizarnos y observar la eficacia de cada uno según el material en la que estén expuestos.

En la industria en general, se utiliza un sin número de sustancias sólidas como materia prima en muchos procesos, y en algunos el producto es sólido.

“La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la obtención de diferentes productos. El tamiz consiste en una superficie con perforaciones uniformes en donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es necesario que exista una vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz.” (Operaciones básicas de ingeniería química, 1991)

La importancia de la operación de reducción de tamaño o desintegración de trozos, gránulos de partículas, no consiste solamente en obtener pedazos pequeños a partir de los grandes, sino que también se persigue tener un producto que posea determinado tamaño granular comprendido entre límites pre-establecidos; porque se da el caso que un sólido con un intervalo de tamaño satisfactorio para una operación determinada, puede resultar inconveniente para otra operación, aunque se trate de la misma sustancia.

El alumno deberá investigar previo la práctica los siguientes conceptos:

- Reducción de tamaño
- Separación mecánica
- Tamizado
- Tipos de tamices
- Mallas de Tyler
- Granulometría



### PREGUNTA GENERADORA

- 1.- ¿Qué es el tamizado y para qué sirve?
- 2.- ¿Qué entendemos por granulometría o análisis granulométrico de un agregado?
- 3.- ¿Qué entendemos por reducción de tamaño y para qué sirve?

### EQUIPO PRINCIPAL:

- Triturador de quijada Dodge
- Mallas para análisis granulométrico Tyler
- Bascula granataria
- Equipo vibrador de mallas
- Charolas de plástico

### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

#### Metodología:

Familiarizarse con el manejo del equipo reductor de tamaño Blacke y el tamizador de mallas Tyler.



Tener precaución al recoger el producto molido, el tiempo recomendado de molido es de 10 a 20 minutos.



Pesar la muestra del material que se va a analizar de preferencia 500 gr



Armar los tamices de tal manera que la malla con mayor abertura quede en la parte superior y la de menor abertura quede en la parte inferior.





Colocar la muestra en la parte superior de los tamices, cerrar y poner a funcionar el equipo por espacio de 15 minutos.

Pesar cada tamiz por separado para poder determinar la cantidad de material retenido y tamizado en cada malla.

#### MATERIAL Y EQUIPO

- Mallas de Tyler
- Agitador mecánico
- Muestra de arena de 500 gr
- Balanza granataria

#### NOTA IMPORTANTE:

Al terminar de pesar limpiar el equipo para entregar nuevamente al laboratorista.

#### EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA

1.- Anote todos los datos experimentales necesarios para determinar los gráficos explicados en la información previa de la práctica.



## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



2.- Calcule el peso en % retenido, la acumulación en % peso de menor tamaño y acumulación en % en peso de mayor tamaño.

3.- Realice los gráficos correspondientes al del comportamiento de la muestra para:

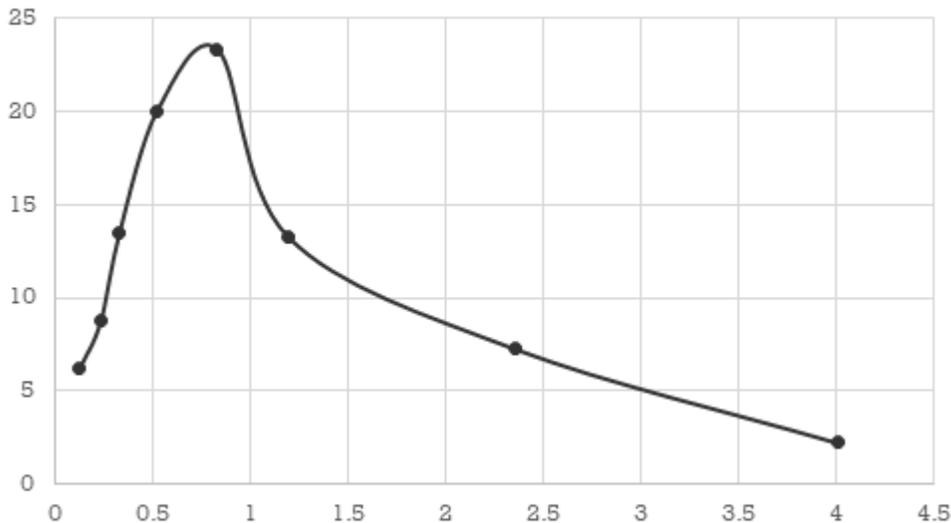
- a) Tamaño medio de partícula VS % de peso retenido
- b) Apertura del tamiz en micrones VS acumulación % en peso de mayor y Menor tamaños.
- c) Acumulación en peso de menor tamaño VS log de apertura de tamiz en micrones.

Se da a continuación un ejemplo:

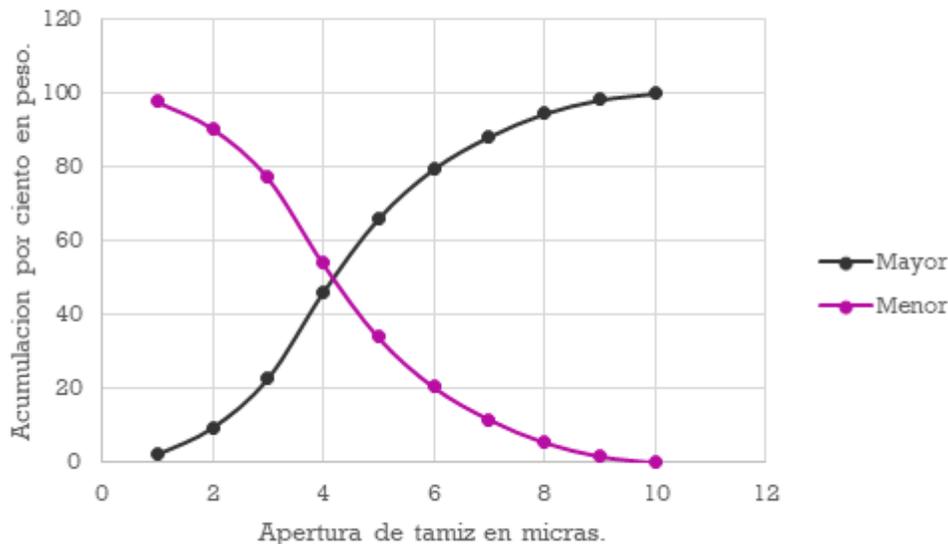
Mallas serie Tyler	Aperturas de mallas micrones	Tamaño medio de partículas de micrones	Peso % retenido	Acumulacion % mayor tamaño	Acumulacion % menor tamaño
Tamiz	gr				
4	9	0	2.25	2.25	97.75
6	29	4.013	7.25	9.5	90.5
12	53	2.362	13.25	22.75	77.25
16	93	1.194	23.25	46	54
25	80	0.832	20	66	34
40	54	0.521	13.5	79.5	20.5
50	35	0.3275	8.75	88.25	11.75
80	25	0.2305	6.25	94.5	5.5
200	15	0.1246	3.75	98.25	1.75
PAN	7		1.75	100	0
Total	400		100	607	393



### A) Frecuencia-Distribucion de tamaños.



### B) Acumulacion de tamaños-distribucion.



### INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

# MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO

## Modelo por Competencias Profesionales

### Laboratorio Integral 1



#### BIBLIOGRAFÍA

No.	Autor / Año	Título	Editorial / Edición
1	James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson / 1988	Fundamentos de transferencia de momento calor y masa.	Limusa /2 <sup>a</sup> edición
2	Robert W. Fox, Alan T. McDonald /1983	Introducción a la mecánica de fluidos	Interamericana/2 <sup>a</sup> edición
3	Mc Cabe Smithe HarriotMc Graw Hill 1991	Operaciones Unitarias en Ingeniería Química	McGraw Hill/ 7 <sup>a</sup> edición.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	1.125		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Separación Hidráulica		
<b>TEMA(S)</b>	Filtración: Evaluación de las constantes de filtración en un proceso a presión constante.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planea y desarrolla actividades prácticas empleando el equipo de manejo de sólidos.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <p>Capacidad de análisis, habilidades de gestión de información, trabajo en equipo, compromiso ético, habilidades de investigación, capacidad de aprender, habilidad de trabajar en forma autónoma, búsqueda de logro.</p>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	4.- Filtración	<b>DURACION (HORAS)</b>	12
	Prácticas Adicionales (Optativas)		

**ANTECEDENTES**

Que el alumno realice prácticas de laboratorio basadas en los conocimientos teóricos expuestos en las asignaturas de operaciones I. El objetivo de esta práctica es aprender las técnicas de filtración por medio de la retención de sólidos en suspensión en un medio líquido que en este caso será el agua, por medio del proceso de filtración en un filtro prensa.

La filtración es un método de separación física utilizado para separar sólidos a partir de fluidos (líquidos o gases) mediante la interposición de un medio permeable capaz de retener partículas sólidas que permiten únicamente el paso de líquidos.

La filtración, tanto en el laboratorio como industrialmente, se puede acelerar con el vacío y

también con la presión. Si se filtra atmosféricamente se utiliza embudo y papel de filtro. Si se hace al vacío, se emplea un embudo especial llamado embudo Büchner y un matraz Kitasato, por donde se hace el vacío. El vacío se puede producir mediante una trompa especial por donde hacemos pasar el agua del grifo a una cierta velocidad, o con bombas de vacío, que ahorran agua pero que tienen un coste superior.

### **En esta práctica se usará el filtro prensa**

- **Filtro prensa**

Los filtros prensa realizan filtraciones “mecánicas”, removiendo las partículas sólidas presentes al interior de líquidos de varia naturaleza.

Por medio de este tipo de filtración, el líquido no sufre alteraciones químicas. Se pueden realizar filtros idóneos para retener partículas sólidas de varia naturaleza y dimensión. Con este fin, la filtración puede tener lugar sobre tela filtrante en material sintético o sobre cartón filtrante (para partículas de dimensiones iguales a un milésimo de milímetro o inferiores).

El alumno deberá investigar los siguientes conceptos antes de iniciar la práctica:

- Filtración en la separación solido liquido
- Tipos de equipos de filtración
- Torta de filtrado
- Tela filtrante
- Placas lavadoras
- Marcos de filtrado
- Medios filtrantes
- Ayudas de filtración
- Caída de presión del fluido a través de la torta
- Resistencia del medio filtrante al flujo de filtración
- Resistencia especifica de la torta.

### **PREGUNTAS GENERADORAS**

- 1.- ¿Qué es y para que sirve la cal y el carbonato de calcio?
- 2.-¿Cuál es el uso de la cal y el carbonato de calcio?



## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



3.-¿Qué es la filtración y como es su mecanismo?

4.-¿Cuáles son los tipos de filtración?

### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

El alumno solicitará y se anotará en la bitácora del laboratorio antes de iniciar la experimentación, y así poder continuar con la ejecución de los siguientes pasos en el desarrollo de la práctica:

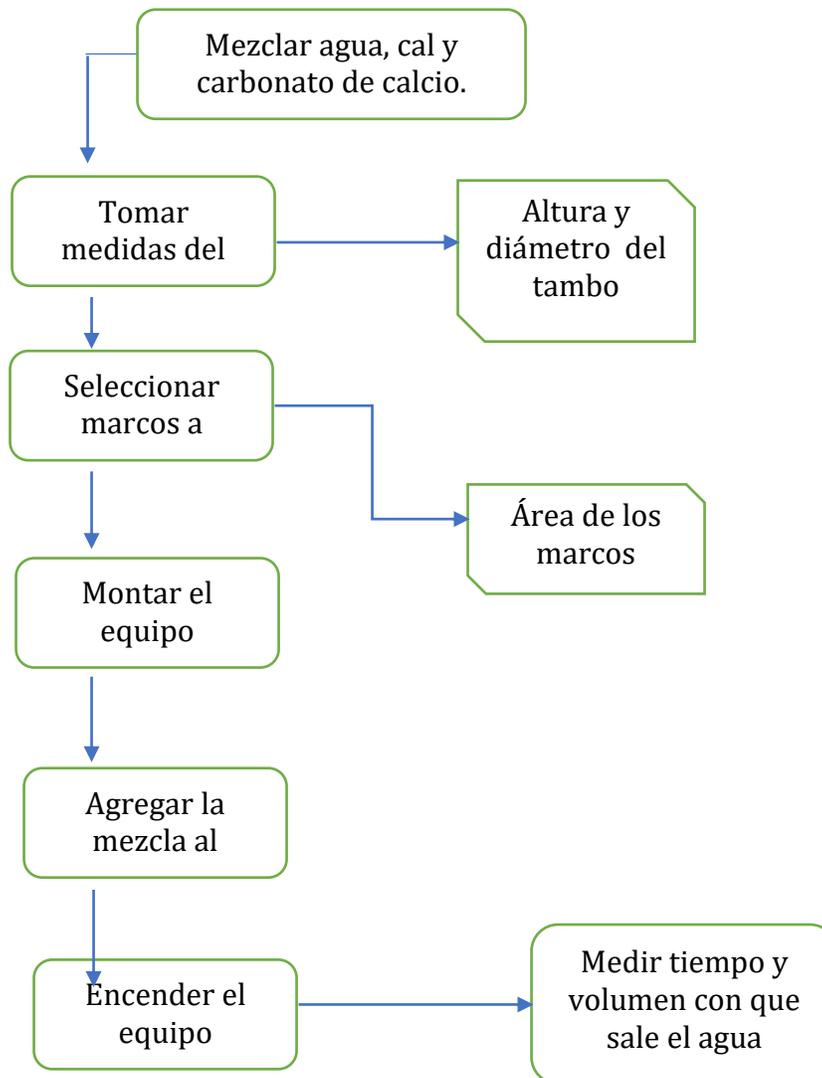
- 1: Mezclar agua, cal y carbonato de calcio en un recipiente.
- 2: Tomar medidas del equipo la altura y el diámetro del tambo.
- 3: Seleccionar los marcos de acuerdo a su área.
- 4: Montar el equipo.
- 5: Agregar la mezcla de agua, cal y carbonato de calcio al tinaco.
- 6: Encender y poner en funcionamiento el equipo.
- 7: Medir el tiempo y el volumen con que sale el agua.

### EQUIPO Y MATERIAL

- 1: Una probeta de 1 lt
- 2: Un agitador
- 3: Tinaco
- 4: Un cronómetro
- 5: Un vernier
- 6: Un flexómetro
- 7: Una balanza granataria
- 8: Equipo de filtración de prensa
- 9: Cal (CaO)
- 10: Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ )



### EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA



### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Realizar el cálculo de las constantes  $K_p$  y  $\alpha$ , y también la regresión lineal de los datos para determinar el tiempo necesario para la filtración.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



### **INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)**

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.

### **BIBLIOGRAFIA**

- GEANKOPLIS, PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS, 3ª EDICION, EDITORIAL CONTINENTAL
- Daniel C. Harris. (2007). Análisis Químico Cuantitativo. España: Reverte.
- M. Valcárcel Cases; A. Gómez Hens. (1988). Técnicas Analíticas de Separación. España: Reverte.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	1.125		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Separación Hidráulica		
<b>TEMA(S)</b>	Sedimentación		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planea y desarrolla actividades prácticas empleando el equipo de manejo de sólidos.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <p>Capacidad de análisis, habilidades de gestión de información, trabajo en equipo, compromiso ético, habilidades de investigación, capacidad de aprender, habilidad de trabajar en forma autónoma, búsqueda de logro.</p>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	5.- Sedimentación	<b>DURACION (HORAS)</b>	10
	Prácticas Adicionales (Optativas)		

**ANTECEDENTES**

Que el alumno realice prácticas de laboratorio basadas en los conocimientos teóricos expuestos en las asignaturas de operaciones I. Explicar el principio fundamental de procesos de sedimentación e identificar los parámetros que influyen en la rapidez de esta, así como la relación con el tipo de suspensión.

Determinar el tiempo de sedimentación de un sistema, con ayuda de una probeta; con diferentes soluciones como carbonato de calcio, sulfato de magnesio y arena de construcción, confirmar el clarificado y la producción de lodo cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo, así obtener los datos que proporcionen la velocidad de sedimentación.



## **Sedimentación**

Se trata de una operación de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión, más densas que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad. Es una operación controlada por la transferencia de cantidad de movimiento.

En algunos casos, como cuando existen fuerzas de interacción entre las partículas y éstas son suficientemente pequeñas (suspensiones de tipo coloidal), la sedimentación natural no es posible, debiendo antes proceder a la floculación o coagulación de las partículas.

Antes de iniciar la práctica el alumno deberá investigar los siguientes conceptos:

- Mecanismos de sedimentación
- Velocidad de precipitación
- Zonas de precipitación después de un tiempo determinado
- Equipo empleado para sedimentación y precipitación.

## **PREGUNTA GENERADORA**

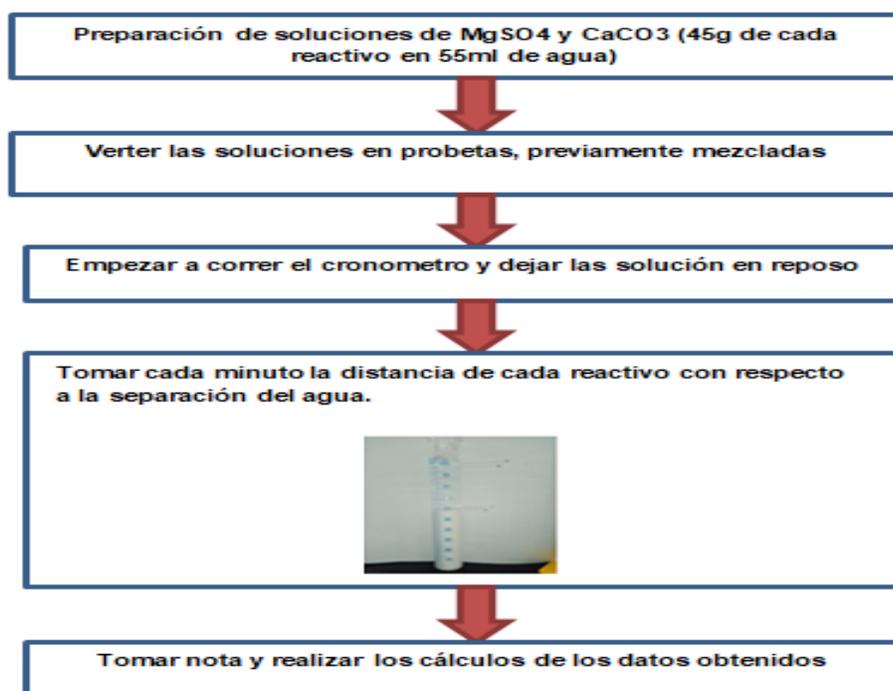
- ¿Qué es la sedimentación?
- ¿Cuáles son los tipos de sedimentación?
- ¿Qué es la sedimentación por gravedad?
- ¿Qué es la sedimentación natural?

## **EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA**

En las actividades de aprendizaje sugeridas se propone la formalización de los conceptos

a Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos partir de experiencias concretas; se busca que el alumno tenga contacto con el laboratorio en forma concreta y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que se dé la formalización; la resolución de problemas en la determinación de diferentes variables de equipos industriales.

El alumno solicitará el equipo del laboratorio antes de iniciar la experimentación, y así poder continuar con la ejecución de los siguientes pasos en el desarrollo de la práctica:



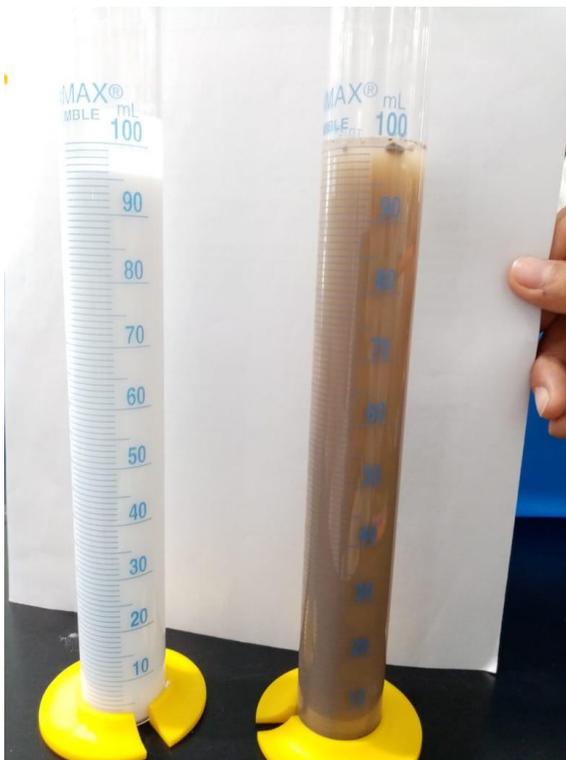
### EQUIPO Y MATERIAL

- 1: Una probeta
- 2: Un cronómetro
- 3: Arena de construcción
- 4: Agua



- 5: Un soporte universal
- 6: 2 pinzas de tres dedos
- 7: Una regla de 30 cm

Se da a continuación un ejemplo:



Arena	
t (min)	Altura (cm)
1	19.1
2	18.9
3	18.7
4	18.5
5	18.2
6	18.1
7	18
8	17.9
9	17.8
10	17.7
11	17.7
12	17.7
13	17.7
14	17.7

Realizar los cálculos con los datos obtenidos.

**INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)**



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales Laboratorio Integral 1



El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.

### BIBLIOGRAFIA

- GEANKOPLIS, PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS, 3ª EDICION, EDITORIAL CONTINENTAL
- Daniel C. Harris. (2007). Análisis Químico Cuantitativo. España: Reverte.
- M. Valcárcel Cases; A. Gómez Hens. (1988). Técnicas Analíticas de Separación. España: Reverte.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**  
**Laboratorio Integral 1**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería Bioquímica.		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	6.0		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Balances Microscópicos de Cantidad de Movimiento		
<b>TEMA(S)</b>	Medición de viscosidades.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	Competencias específicas: Aplicar los fenómenos de transporte involucrando los procesos de la transferencia de momentum. Caracterizar reológicamente un fluido Estimar la viscosidad de gases y líquidos y otras propiedades básicas del fluido		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	6...Determinación de la viscosidad con un viscosímetro capilar	<b>DURACION (HORAS)</b>	6

**ANTECEDENTES**

La **viscosidad** es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares. Todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. Un fluido que no tiene viscosidad se llama **fluido ideal**.

La viscosidad solo se manifiesta en líquidos en movimiento, se ha definido la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Esta viscosidad recibe el nombre de **viscosidad absoluta** o **viscosidad dinámica**. Generalmente se representa por la letra griega  $\mu$ .

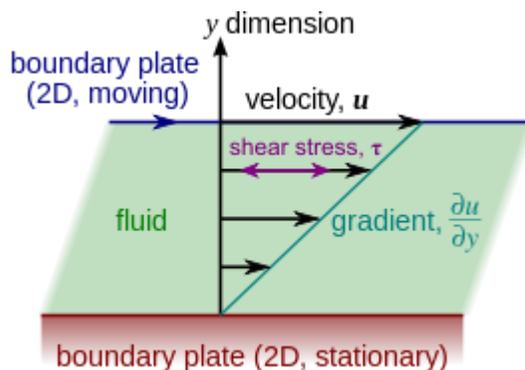
Se conoce también otra viscosidad, denominada **viscosidad cinemática**, y se representa por  $\nu$ . Para calcular la viscosidad cinemática basta con dividir la viscosidad dinámica por la densidad del fluido



Existen diversos modelos de viscosidad aplicables a sustancias que presentan comportamientos viscosos de diferente tipo.

El modelo o tipo de fluido viscoso más sencillo de caracterizar es el fluido newtoniano, que es un modelo lineal (entre el gradiente de velocidades y las tensiones tangenciales) pero también existen modelos no lineales con adelgazamiento o espesamiento por cortante o como los plásticos de Bingham.

### Fluido newtoniano



Esquema que permite entender la resistencia al avance de una placa horizontal sobre la superficie de un fluido newtoniano.

### Medidas de la viscosidad

La viscosidad de un fluido puede medirse por un parámetro dependiente de la temperatura llamado coeficiente de viscosidad o simplemente viscosidad:

- **Coeficiente de viscosidad dinámico**, designado como  $\eta$  o  $\mu$ . En unidades en el SI:  $[\mu] = [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$ ; otras unidades:  
 $1 \text{ poise} = 1 [\text{P}] = 10^{-1} [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [10^{-1} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]$
- **Coeficiente de viscosidad cinemático**, designado como  $\nu$ , y que resulta ser igual al cociente entre el coeficiente de viscosidad dinámica y la densidad del fluido.  $\nu = \mu/\rho$ . (En unidades en el SI:  $[\nu] = [\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}]$ . En el sistema cegesimal es el stokes —St

En el SI (Sistema Internacional de Unidades), la **unidad física de viscosidad** dinámica es el pascal-segundo (Pa·s), que corresponde exactamente a  $1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  o  $1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ .

La unidad CGS para la viscosidad dinámica es el poise ( $1 \text{ poise (P)} \equiv 1 \text{ g}\cdot(\text{s}\cdot\text{cm})^{-1} \equiv 1 \text{ dina}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-2} \equiv 0,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ), cuyo nombre homenajea al fisiólogo francés Jean Louis Marie Poiseuille (1799-1869). Se suele usar más su submúltiplo el centipoise (cP). El centipoise es más usado debido a que el agua tiene una viscosidad de  $1,0020 \text{ cP}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales



1 poise = 100 centipoise =  $1 \text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{s}) = 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$   
1 centipoise =  $1 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 0.01 \text{ poise}$

### PREGUNTAS GENERADORAS

- ¿Qué es la viscosidad y para qué sirve?
- ¿Cuáles son los tipos de viscosidad?
- ¿Cuáles son los tipos de fluidos que existen?
- ¿Cómo se estima la viscosidad de las sustancias líquidas conocidas cotidianamente?
- 

### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Se estimará la viscosidad de un líquido, utilizando el viscosímetro de Oswald o Cannon-Fenske

### EQUIPO PRINCIPAL

El viscosímetro de Oswald consta de un tubo capilar inclinado con dos bulbos superiores en serie aguas arriba (bulbos A y B) y un bulbo aguas abajo (bulbo C); El líquido se introduce por el extremo amplio hasta llenar unas  $\frac{3}{4}$  partes del bulbo inferior. Con una perilla se succiona el líquido por el extremo de los dos bulbos en serie hasta que su nivel superior se encuentra llenando el bulbo A, en tanto que su nivel en el bulbo inferior (C) está cerca del fondo del mismo. Se retira la perilla para provocar un flujo por gravedad. Se mide el tiempo en el que se vacía el bulbo B desde su marca superior hasta su marca inferior. Este tiempo nos permite determinar el coeficiente de viscosidad del líquido.

### MATERIALES Y EQUIPO

- Viscosímetro de Ostwald
- Alcohol
- Acetona
- Tetracloruro de carbono
- Hexano
- Agua destilada
- Termómetro
- 4 vasos de precipitados de 100 ml
- Baño maría
- Parrilla

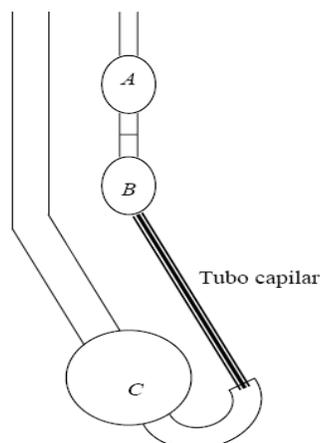


Figura 1. Diagrama de un viscosímetro de Cannon-Fenske

## DESARROLLO

Se tendrá un conjunto de baños térmicos a diferentes temperaturas, para la realización de esta práctica.

1. Lavar y limpiar el viscosímetro con un solvente adecuado y secarlo con aire limpio.
2. Introducir el líquido en el bulbo C con una pipeta, por el extremo amplio.
3. Introducir el viscosímetro en el baño térmico a la temperatura deseada y esperar unos 10 minutos a que la temperatura se equilibre.
4. Cargar el bulbo A por succión con la perilla.
5. Quitar la perilla.
6. Tomar el tiempo de flujo entre las marcas del bulbo B.
7. Repetir los pasos 4 a 6 dos veces como mínimo, para garantizar la reproducibilidad.
8. Efectuar los pasos 1 a 7 para un líquido de viscosidad conocida, para encontrar la constante de calibración a diferentes temperaturas y luego para un líquido de viscosidad desconocida.

### EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA

- 1.-Determinación del coeficiente de calibración del viscosímetro.
- 2.-Hacer una gráfica del coeficiente de viscosidad como función de la temperatura y encuentra una correlación polinomial empírica para el mismo.
- 3.-Compara tus resultados con datos de la literatura y explica a qué pueden deberse las posibles diferencias

### INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales



### BIBLIOGRAFIA

Bird, R.B., Stewart, W.E. y Lighthfoot, E.N. 1982. Fenómenos de Transporte, Reverte.

Brookfield Synchro-letric Viscometer, Manual de Operaciones.

Levenspiel, O. 1985. Engineering Flow and Heat Exchange, Plenum Press

Mitschka, P. 1982. Simple conversion of Brookfield R.T.V. readings into viscosity functions. Rheologica Acta, 21, 207-209

Slattery, J.C., 1972. Fundamentals of Momentum, Heat and Mass transfer in Continua, Mc Graw Hill

Bird, R.B., Stewart, W.E. y Lighthfoot, E.N. 1982. Fenómenos de Transporte, Reverte.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química.		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andres Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	0.75		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Transferencia de Momentum		
<b>TEMA(S)</b>	Medición de viscosidades.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar los fenómenos de transporte involucrados los procesos de la transferencia de momentum, calor y masa.</li> <li>• Tomar decisiones, con base en los elementos teóricos adquiridos en las materias anteriores, que permitan manejar y comprender los fenómenos de transporte.</li> </ul>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	7.Determinación de la viscosidad aparente con un viscosímetro de Brookfield.	<b>DURACION (HORAS)</b>	12
	Prácticas Adicionales (Optativas)		



## ANTECEDENTES

Que el alumno/a:

- Comprenda los principios del funcionamiento de los viscosímetros rotatorios
- Elabore un modelo de flujo para un viscosímetro rotatorio
- Maneje adecuadamente el viscosímetro de Brookfield para determinar la viscosidad aparente de un líquido no-newtoniano
- Identifique el comportamiento geológico a régimen estacionario, del líquido elegido

## EQUIPO PRINCIPAL

El viscosímetro de Brookfield es un viscosímetro rotatorio. Consta de un cabezal con un elemento rotatorio en el que se inserta una aguja o disco y de una horquilla que enmarca la zona de la aguja. Ésta se sumerge en el líquido hasta el nivel marcado en la misma. Al funcionar, el elemento rotatorio y la aguja giran con una velocidad angular constante que se fija en con dado selector situado en el cabezal. La torca o par generado por la resistencia viscosa del líquido se puede leer en una escala situada también en el cabezal, para lo cual se presiona una palanca llamada “clutch”, la cual acopla una aguja deflectora a la escala. La deflexión leída es proporcional a la torca. En la Figura 1 se muestran los principales elementos del viscosímetro de Brookfield.

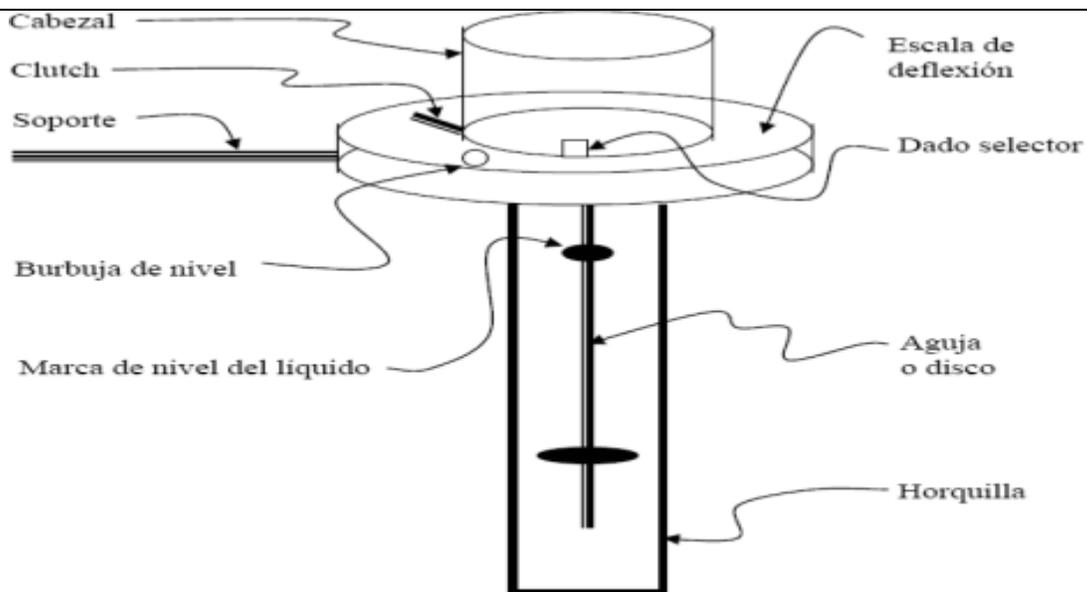


Figura 1. Viscosímetro de Brookfield

### PREGUNTAS GENERADORAS

1. ¿Qué es un fluido no-newtoniano?
2. ¿Qué es el parámetro de esfuerzos,  $\tau$  y el parámetro de rapidez de deformación  $\dot{\gamma}$ ?
3. ¿Qué es la función de viscosidad aparente,  $\eta$ ?
4. ¿Qué es la torca sobre un cilindro que gira?
5. ¿Cuáles son las relaciones de comportamiento más usadas para fluidos no-newtonianos a régimen estacionario?
6. ¿Qué es el número de Reynolds generalizado para los fluidos de potencias?
7. ¿Qué diferencia a un fluido pseudoplástico de uno dilatante y cómo se reconocen en una gráfica de  $\tau$  vs.  $\dot{\gamma}$ ?
8. ¿Por qué no es fácil encontrar una solución analítica del modelo para un viscosímetro de Brookfield?
9. ¿Cómo se resuelve en la práctica, el problema de la falta de una solución analítica al modelo del viscosímetro de Brookfield?



## ACTIVIDADES A DESARROLLAR

**El alumno deberá traer 3 muestras viscosas (mayonesa, salsa cátsup, aceite de cocina, shampo, etc.)**

1. Lee el Apéndice A III, que contiene información sobre el manejo del viscosímetro de Brookfield.
2. Al inicio, asegura la aguja al eje inferior, levantando ligeramente el eje y sosteniéndolo firmemente con una mano, mientras enroscas la aguja con la otra.
3. Introduce la aguja en el líquido de prueba hasta que su nivel esté en la marca que la aguja tiene para este propósito. Puede ser más conveniente introducir primero la aguja en el líquido, antes de asegurarla al eje inferior del cabezal. Debes cuidar que no queden burbujas atrapadas entre la aguja y el líquido.
4. Selecciona la velocidad angular más baja en el dado selector.
5. Verifica que el viscosímetro esté nivelado, mediante la burbuja de nivel.
6. Enciende el aparato y espera que se alcance el régimen estacionario. El tiempo requerido para esta operación depende de la velocidad angular, por arriba de 4 r.p.m. bastarán unos 20 ó 30 segundos, a velocidades menores espera una vuelta completa del cuadrante.
7. Presiona el “clutch” de manera que la aguja indicadora quede en la zona visible de la mirilla de la escala. Si la aguja se estaciona fuera de la escala, aumenta la velocidad angular.
8. Toma los datos de la deflexión,  $\alpha$ , de la velocidad angular, N (en r.p.m.) y del disco usado.
9. Repite los pasos 7 y 8 dos veces, para tener una estimación estadística del error de la lectura.
10. Saca el disco del líquido y cámbialo por el siguiente, repitiendo los pasos 2 a 9.



## MATERIALES Y EQUIPO

- **mayonesa, salsa cátsup, aceite de cocina, shampo.**
- Viscosímetro de Brookfield
- 4 vasos de precipitados de 100 ml
- Termómetro de -30 a 120 °C

## EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA

### TRATAMIENTO DE LAS LECTURAS OBTENIDAS CON EL VISCOSÍMETRO

1. Cada disco tiene asociado un coeficiente de proporcionalidad,  $k_{\alpha t}$ , que permite transformar los valores leídos en la escala de deflexión,  $\alpha t$ , a esfuerzos cortantes,  $\tau$ , en Pa, por medio de la relación:

$$\tau = k_{\alpha t} * \alpha t$$

En la Tabla 1 se encuentran los valores de estos coeficientes de proporcionalidad.

2. Los pares de valores (N,  $\tau$ ) se grafican en escalas log-log.

3. Si el trazo de la gráfica es cercano a una función lineal, se hace el ajuste a una línea recta, cuya pendiente es igual al índice de flujo del fluido,  $n$ .

4. Si el trazo de la gráfica no es una función lineal se hace necesario linealizar dicha función, es decir, se requiere desarrollar una serie de Taylor para la función ( $\log \tau$ ) en términos del ( $\log N$ ) alrededor del punto ( $\log \tau = 0, \log N = 0$ ). Si esta serie de Taylor se corta al primer término, se tiene una línea recta cuya pendiente es  $n^* = d(\log \tau)/d(\log N)$ , donde  $n^*$  es el índice local de flujo del fluido [alrededor del punto (0,0)].

5. Cada disco tiene asociado un coeficiente de proporcionalidad,  $k_{n\gamma}$ , que depende del índice  $n$  o del índice local  $n^*$  y permite transformar los valores de N a rapidez de deformación,  $\gamma$ , en s<sup>-1</sup>, por medio de la relación:

$$\gamma = k_{n\gamma} * N$$

Numero de disco		1	2	3	4	5	6	7
<b>n ↓</b>		<b>0.035</b>	<b>0.119</b>	<b>0.279</b>	<b>0.539</b>	<b>1.05</b>	<b>2.35</b>	<b>8.4</b>
<b>0.1</b>		1.728	1.431	1.457	1.492	1.544	1.366	1.936
<b>0.2</b>		0.967	0.875	0.882	0.892	0.907	0.851	1.007
<b>0.3</b>		0.705	0.656	0.656	0.658	0.663	0.629	0.681
<b>0.4</b>		0.576	0.535	0.530	0.529	0.528	0.503	0.515
<b>0.5</b>	<b>k<sub>αt</sub></b>	0.499	0.458	0.449	0.445	0.442	0.421	0.413
<b>0.6</b>		0.449	0.404	0.392	0.387	0.382	0.363	0.346
<b>0.7</b>		0.414	0.365	0.350	0.347	0.338	0.320	0.297
<b>0.8</b>		0.387	0.334	0.317	0.310	0.304	0.286	0.261



0.9	0.367	0.310	0.297	0.283	0.276	0.260	0.232
1.0	0.351	0.291	0.270	0.262	0.254	0.238	0.209

Tabla 1. Factores de conversión del viscosímetro de Brookfield.

### RESULTADOS

1. Elabora un modelo para el viscosímetro de Brookfield
2. Elabora una hoja de datos de laboratorio para el viscosímetro rotatorio
3. Elabora tu hoja de datos de laboratorio para el viscosímetro de Brookfield
4. Elabora una gráfica de  $\tau$  vs.  $\gamma$  y discute sobre su semejanza con el comportamiento de los principales tipos de fluidos no-newtonianos
5. Determina la dependencia de la viscosidad aparente,  $\eta$ , con respecto a  $\gamma$

### INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.

### BIBLIOGRAFIA

Bird, R.B., Stewart, W.E. y Lighthfoot, E.N. 1982. Fenómenos de Transporte, Reverte.  
 Brookfield Synchro-letric Viscometer, ¿???, Manual de Operaciones.  
 Levenspiel, O. 1985. Engineering Flow and Heat Exchange, Plenum Press  
 Mitschka, P. 1982. Simple conversión of Brookfield R.T.V. readings into viscosity functions.  
 Rheologica Acta, 21, 207-209  
 Slattery, J.C., 1972. Fundamentals of Momentum, Heat and Mass transfer in Continua, Mc Graw Hill



## MANEJO DEL VISCOSÍMETRO DE BROOKFIELD

### I.- PRINCIPIOS DE OPERACION.

El viscosímetro Syncchro-Letric es un cilindro o un disco que gira, por medio del cual se mide el esfuerzo de rotación para vencer la resistencia viscosa producida por el movimiento.

Esto se logra por medio del manejo del elemento de inmersión llamado uso o aguja (en inglés

"spindle"), a través de un resorte de berilio-cobre, el cual es presionado a cierto grado, indicado por la posición de la línea roja en la pantalla del viscosímetro, la marca es proporcional a la viscosidad del fluido para cualquier velocidad y aguja.

El viscosímetro es capaz de medir en varios rangos para dar la resistencia de avance o la deflexión del resorte (torcimiento). La viscosidad es proporcional a la velocidad de la aguja y ésta se relaciona con el tamaño y la forma.

Para un material de una viscosidad dada, la resistencia al avance será mayor como mayor sea la aguja y/o el incremento de la velocidad rotacional. El rango mínimo de viscosidad se obtiene con la aguja más grande a la mayor velocidad. El máximo rango se obtiene con la aguja más pequeña a la menor velocidad.

Las mediciones con la misma aguja a diferentes velocidades se usan para detectar y evaluar propiedades reológicas del material a prueba.

### II.- CARACTERISTICAS MECÁNICAS.

El viscosímetro trabaja por medio de un inductor "Synchronous", tipo motor. Las velocidades exactas de rotación ocurren con el motor con solo cambiar radical y espasmódicamente el sincronizador, el interruptor se encuentra a un lado, en el cabezal del viscosímetro.

Hay dos tipos de viscosímetros, los de cuatro y los de ocho velocidades. Los viscosímetros de cuatro velocidades tienen una perilla cuadrada con el control de velocidades, muestra un número en cada una de sus cuatro caras. La velocidad a que gira el instrumento es la que se indica en la cara superior de la perilla.

Los modelos de ocho velocidades, tienen un control de velocidades (perilla cuadrada) con dos números en cada cara, por movimiento de la perilla a través de los dos cambios de velocidad puede cambiar la secuencia.

No se presentan problemas en las dos diferentes velocidades que se muestran en cada cara porque cada cara está en el radio de 20:1.

Redacción Por seguridad, en la velocidad indicada en la perilla de velocidades se debe verificar que sea cercano y paralelo al registrado en la pantalla del viscosímetro, esto no es absolutamente necesario, sólo es recomendable cuando se cambian las velocidades



que el motor este funcionando.

Los viscosímetros con modelos LV están provistos de  $\zeta$   $\zeta$  con un adaptador para cuatro agujas y una guarnición estrecha para la aguja. El modelo RV esta provisto de siete agujas y una guarnición ancha para las agujas.

Los modelos HA y HB están provistos con siete agujas y sin guarnición. En todos los modelos las agujas se aseguran en el viscosímetro atornillándolos en el eje. Todos cuentan con una

"cuerda izquierda", la parte inferior o el eje se debe de sostener con una mano y la aguja atornillarla a la izquierda.

La parte inferior del eje debe estar limpia y con una superficie lisa para impedir la rotación excéntrica de la aguja.

Todos los viscosímetros Brookfield tienen una velocidad tope mayor a 10 r.p.m. y están provistos con una palanca llamada "clutch". Al presionar la palanca se levanta el cuadrante hacia el indicador y sosteniéndolo se hace la lectura.

Cuando el "clutch" se libera el cuadrante vuelve a bajar y gira nuevamente. Cualquiera de los tres controles del viscosímetro: el interruptor del motor, la perilla del cambio de velocidades y el "clutch", puede ser operado independientemente de los otros dos.

La agarradera manual removible u horquilla se puede retirar cuando es conveniente, por medio de su tuerca. Este diseño permite que se pueda utilizar una base rígida de metal.

### III.- OPERACIÓN

a) Asegure la aguja al eje inferior, lo mejor es levantar ligeramente el eje mientras se sostiene firmemente con una mano y se enrosca la aguja con la otra. Debe tener cuidado para evitar un daño al alinear la aguja y la cuerda.

b) Inserte la aguja en el material de prueba hasta que el nivel de fluido esté en la marca del eje de la aguja.

c) Con las agujas tipo disco es necesario algunas veces inclinar ligeramente el instrumento mientras se hace la inmersión para evitar que queden atrapadas burbujas de aire en la parte inferior del disco o en la superficie. (Se puede encontrar más conveniente hacer la inmersión de la aguja antes de asegurarla en el viscosímetro).

d) Se debe tener cuidado de no golpear la aguja contra los lados del recipiente que contiene el material de prueba, mientras se une con el viscosímetro pues esto puede dañar la alineación del eje.

e) Nivele el viscosímetro, la burbuja de nivel en todos los modelos ayudara en esto.

f) Presione el "clutch" y encienda el motor del viscosímetro. Para el procedimiento siguiente debe de tener presionado el "clutch" a este punto se prevé un desgaste



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales



innecesario. Libere el “clutch” y permita que el cuadrante gire hasta que el indicador se estabilice en la posición elegida en el cuadrante.

g) El tiempo requerido para la estabilización depende de la velocidad a la cual la aguja este girando, a las velocidades arriba de 4 r.p.m. esto generalmente ocurrirá aproximadamente de 20 a 30 segundos. Mientras que a bajas velocidades esto tomara el tiempo requerido para una revolución del cuadrante.

h) Es posible observar la posición del indicador y estabilizar a bajas velocidades mientras que el cuadrante gira, pero a altas velocidades será necesario presionar el “clutch” y girar el interruptor del motor para detener el instrumento con el indicador a la vista. Un poco de práctica será necesario para detener el cuadrante en el punto exacto. Si requiere las lecturas, encienda el instrumento presionando el “clutch” y reteniendo la lectura original para luego liberarlo. Esto reduce la oscilación del indicador, si el indicador no se estabiliza puede haber algún problema con la temperatura del material de prueba.

#### IV.- INFORMACION DE CALIBRACIÓN

Los viscosímetros Brookfield están calibrados para valores estándar, basados en los instrumentos usados en recipientes de 600 cc., Si el viscosímetro se usa en recipientes más grandes, los rangos de las agujas 1 y 2 en las mediciones estarán ligeramente incrementados.

Si se desea usar agujas en recipientes más grandes que los especificados será necesaria una corrección en los factores estabilizadores, si se requieren los valores con mayor exactitud, la libreta original redacta estos problemas.

#### V.- REPARACION Y SERVICIO

Esta compañía mantiene una existencia de temporada de refacciones para viscosímetros, que pueden ser usados para reposición de cualquier instrumento con propósito de reparación.

La reparación y servicio solo puede hacerse por personal especializado de:  
BROOKFIELD ENGINEERING LAB. INC.240 CLUSHING ST.  
STOUGHTON, MASSACHUSETES. 02072.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química.		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	0.75		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Transferencia de Momentum		
<b>TEMA(S)</b>	Experimento de Reynolds		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar los fenómenos de transporte involucrados los procesos de la transferencia de momentum, calor y masa.</li> <li>• Tomar decisiones, con base en los elementos teóricos adquiridos en las materias anteriores, que permitan manejar y comprender los fenómenos de transporte.</li> </ul>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	3.Experimento Reynolds Prácticas (Optativas)	de Adicionales	<b>DURACION (HORAS)</b> 10

**ANTECEDENTES**

**OBJETIVOS**

Que el/la alumno/a

Determinación de los diferentes regímenes de flujo por medio del número de Reynolds.

**MOTIVACIÓN**

Que el alumno aprenda a planear y desarrollar experimentos para la obtención de datos y su



interpretación en Fenómenos de Transporte y Flujo de Fluidos en un ambiente controlado de laboratorio.

### PREGUNTAS GENERADORAS

1. ¿Qué es un fluido laminar y turbulento?
2. ¿Qué diferencia existe entre el movimiento laminar y el movimiento turbulento y de un ejemplo donde se observan dichos flujos?
3. ¿Cómo se conoce al flujo que no se puede modelar como laminar ni como turbulento?
4. ¿Qu utilidad tiene el conocer el numero de Reynolds?

### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

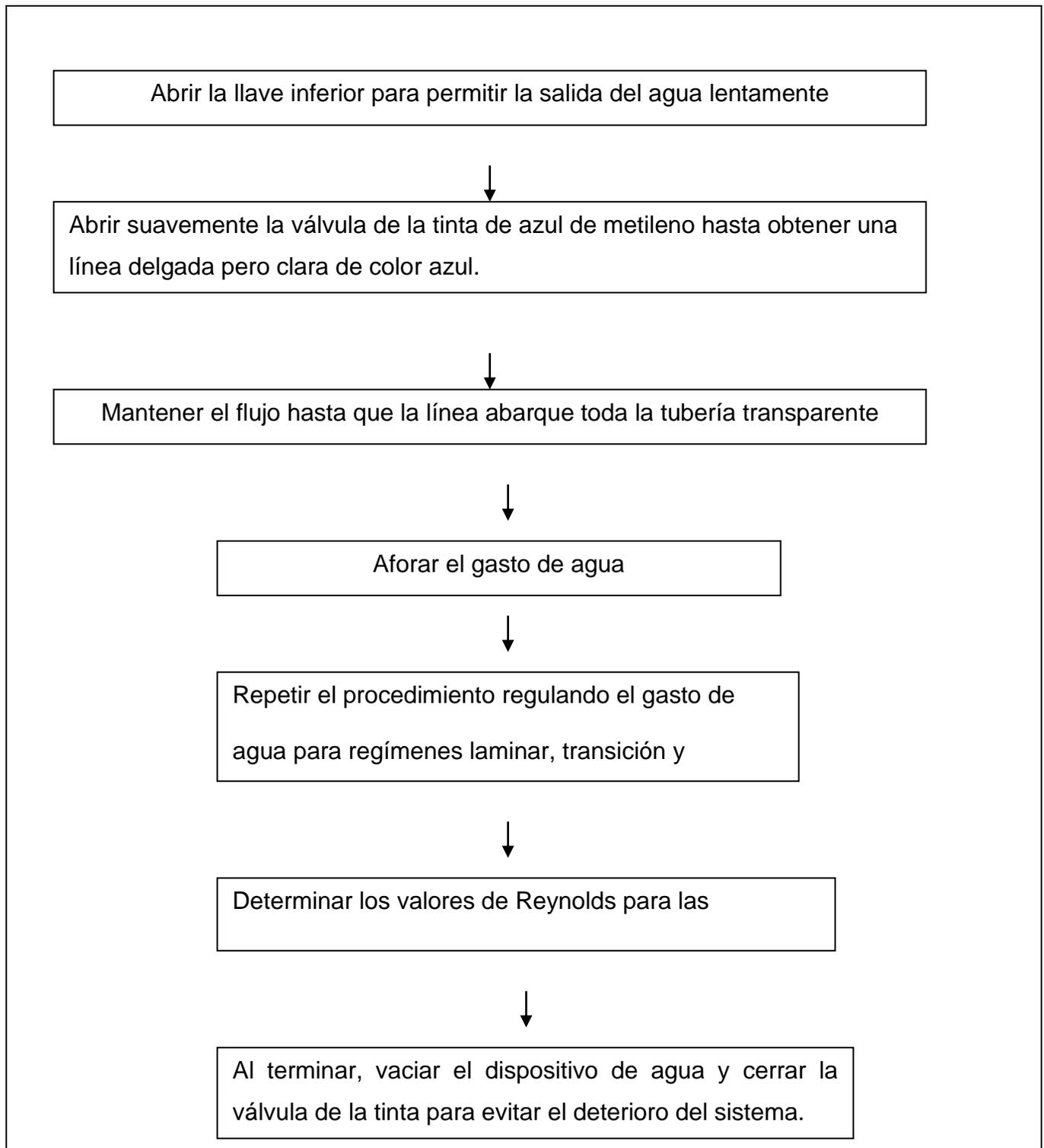
#### Metodología:

Preparar la solución de azul de metileno al 1% y colocarla el recipiente que se introduce por la aguja verificando que la válvula esté cerrada.



Llenar el recipiente superior con agua y mantener el nivel de llenado constante.







NOTA IMPORTANTE: Al terminar vaciar el dispositivo de agua y cerrar la válvula de la tinta. Lavar perfectamente el sistema para evitar depósitos de tinta que deterioren el sistema.

#### MATERIAL Y EQUIPO

- Dispositivo de Reynolds.
- Azul de metileno
- Jeringa de 10 ml desechable
- Vaso de precipitados de 100 ml
- Agua

#### EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA

- 1.-Anotar todos los datos experimentales necesarios para determinar al menos en 5 números de Reynolds. Las siguientes cantidades : el gasto volumétrico, la velocidad máxima , el flujo de tinta.
- 2.-Calcular el factor de fricción implicado en este experimento.
- 3.-Realizar dibujos descriptivos del comportamiento de la tinta para cada experimento indicando el número de Reynolds que corresponde a cada dibujo.
- 4.-Los resultados deberán ir enfocados hacia el efecto de variar la velocidad en el número de Reynolds.

#### INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

## MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO Modelo por Competencias Profesionales



### BIBLIOGRAFÍA

No.	Autor / Año	Título	Editorial / Edición
1	James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson / 1988	Fundamentos de transferencia de momento calor y masa.	Limusa /2ª edición
2	Robert W. Fox, Alan T. McDonald /198	Introducción a la mecánica de fluidos	Interamericana/2ª edición



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andres Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	1.125		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Transferencia de calor.		
<b>TEMA(S)</b>	Transferencia de calor.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Planear y desarrollar actividades prácticas empleando el equipo de transferencia de calor</li> </ul> <p>Competencias Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de análisis, habilidades de gestión de información, trabajo en equipo, compromiso ético, habilidades de investigación, capacidad de aprender, habilidad para trabajar en forma autónoma, búsqueda del logro.</li> </ul>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	5. "Determinación de Coeficientes globales de transferencia de calor en intercambiadores de calor" "tubo y coraza, de tubos, y de placas"	<b>DURACION (HORAS)</b>	18
	Prácticas Adicionales (Optativas)		



## ANTECEDENTES

Que el alumno realice prácticas de laboratorio basadas en los conocimientos teóricos expuestos en las asignaturas de operaciones I y II de Transferencia de Calor. Así mismo el estudiar el funcionamiento de un intercambiador de calor.

- Conocer las características y el funcionamiento de un intercambiador de calor operando en flujos paralelos y flujos encontrados.
- Analizar el flujo de calor del intercambiador para flujos paralelos y flujos encontrados.
- Evaluar el coeficiente global de transferencia de calor en forma teórica y experimental.

Un Intercambiador de Calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo esta calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos. Las aplicaciones de los intercambiadores de calor son muy variadas y reciben diferentes nombres:

**INTERCAMBIADOR DE CALOR:** Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos.

**CONDENSADOR:** Condensa un vapor o mezcla de vapores.

**ENFRIADOR:** Enfría un fluido por medio de agua.

**CALENTADOR:** Aplica calor sensible a un fluido.

**REHERVIDORES:** Conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de Re ebullición que se necesita para la destilación. (Los hay de termosifón, de circulación forzada, de caldera...)

**VAPORIZADOR:** Un calentador que vaporiza parte del líquido

## PREGUNTAS GENERADORAS

- 1.- ¿Qué es un intercambiador de calor y para que sirve?
- 2.- ¿Cuáles son los diferentes tipos de intercambiadores de calor que hay?
- 3.- ¿Cuál es el objetivo de un intercambiador de calor?
- 4.- ¿Cómo se lleva a cabo la transferencia de calor en los intercambiadores de calor?



### ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- El alumno solicitara el equipo y la computadora para el desarrollo de la práctica con la laboratorista
- Se realizará la práctica para cada uno de los tres equipos siguiendo el procedimiento antes descrito con el apoyo de su profesor.
- Se pondrá a trabajar el quipo estableciendo los parámetros de trabajo para ambos flujos en el software de la computadora.
- Se tomarán las lecturas de temperatura de entrada y salida para el flujo frio y caliente
- Se tomarán las lecturas del flujo (gasto volumétrico) frio y caliente establecido en la computadora.

### MATERIALES Y EQUIPO

- Intercambiadores de Calor (placas, tubo y coraza y tubos concéntricos)
- Computadora
- Plataforma de soporte para los equipos
- 2 vaso de precipitados de 1 lt
- 1 cronometro

### EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA

Mediante el cálculo necesario determina el coeficiente global de transferencia de calor.

#### DIAGRAMA:



#### FÓRMULAS A UTILIZAR PARA LOS 3 INTERCAMBIADORES DE CALOR:

$$\Delta T_{mlog} = \frac{\Delta T_{sal} - \Delta T_{ent}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{sal}}{\Delta T_{ent}}\right)}$$



Donde:

$$\Delta T_{sal} = \text{diferencia de temperaturas de salida}$$
$$\Delta T_{ent} = \text{diferencia de temperaturas de entrada}$$
$$q = uA\Delta T_{mlog}$$

Donde:

$$u = \text{coeficiente global de transferencia de calor}$$
$$A = \text{área del intercambiador de calor}$$
$$\Delta T = \text{diferencia de temperaturas}$$
$$q = \dot{m}C_p\Delta T$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{flujo másico}$$
$$C_p = \text{capacidad calorífica}$$
$$\Delta T = \text{diferencia de temperaturas}$$
$$\dot{m} = \rho\dot{V}$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{flujo másico}$$
$$\rho = \text{densidad}$$
$$\dot{V} = \text{flujo volumétrico}$$

#### INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.

#### BIBLIOGRAFIA

- J. P. HOLMAN, TRANSFERENCIA DE CALOR, 8° EDICION, MC GRAW-HILL
- DONALD Q. KERN, TRANSFERENCIA DE CALOR, 1° EDICION, CECSA
- GEANKOPLIS, PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS, 3ª EDICION, EDITORIAL CONTINENTAL



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO**  
**Modelo por Competencias Profesionales**



<b>CARRERA (S):</b>	Ingeniería de Química		
<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Laboratorio Integral I		
<b>Profesor Responsable</b>	M. en C. Jorge Andrés Cuevas Landero		
<b>NO. CRÉDITOS SATCA DE PRÁCTICA</b>	0.75		
<b>NOMBRE(S) DE LA(S) UNIDAD(ES) DE APRENDIZAJE</b>	Transferencia de masa.		
<b>TEMA(S)</b>	Coeficiente de transferencia de masa en diferentes dispositivos.		
<b>COMPETENCIA A DESARROLLAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planear y desarrollar actividades prácticas empleando el equipo de transferencia de masa</li> <li>• Investigar y establecer diferentes alternativas de solución a planteamientos dados por el profesor. Estas serán discutidas en reuniones grupales.</li> <li>• Planear, diseñar y ejecutar las actividades experimentales necesarias para la solución de problemas planteados por el profesor.</li> <li>• Realizar informes de resultados obtenidos utilizando gráficas, diagramas y observaciones pertinentes.</li> </ul>		
<b>NO. DE PRACTICA</b>	8. Transferencia de masa. Coeficientes de Difusión Prácticas Adicionales (Optativas)	<b>DURACION (HORAS)</b>	12



## ANTECEDENTES

La tendencia natural de átomos y moléculas a moverse desde zonas de alta concentración hacia zonas de baja concentración se denomina difusión. La experiencia nos demuestra que cuando abrimos un frasco de perfume o de cualquier otro líquido volátil, podemos olerlo rápidamente en un recinto cerrado. Decimos que las moléculas del líquido después de evaporarse se difunden por el aire, distribuyéndose en todo el espacio circundante. Lo mismo ocurre si colocamos un terrón de azúcar en un vaso de agua, las moléculas de sacarosa se difunden por todo el agua. Estos y otros ejemplos nos muestran que para que tenga lugar el fenómeno de la difusión, la distribución espacial de moléculas no debe ser homogénea, debe existir una diferencia, o gradiente de concentración entre dos puntos del medio.

La difusión se define como el transporte neto debido al movimiento aleatorio; es un fenómeno de transporte de masa por movimiento atómico (en el caso de metales); de cationes y aniones (en el caso de cerámicas iónicas) y de macromoléculas (en el caso de polímeros). Esta transferencia permite que muchas reacciones y procesos importantes en la fabricación de un componente o una estructura de ingeniería sean posibles.

Cuando se pretende calcular la difusión de diferentes sustancias, esto se hace mediante un experimento sencillo, en el cual es necesario tener en cuenta el buen manejo de los instrumentos y la precisión de la toma de resultados (tiempo, concentración, etc.).

Cuando se pretende usar equipo en un experimento, laboratorio, o a nivel industrial donde las decisiones que tomemos sean de gran importancia; es necesario que hagamos la mejor elección del equipo y además conozcamos los parámetros con los que mejor trabajaría dicho dispositivo.

## PREGUNTAS GENERADORAS

- ¿Cuál es el significado de difusión?
- ¿Qué es la difusión y sus características?
- ¿Qué es la difusión en el cuerpo humano?
- ¿Cuándo por olvido dejas un frasco de perfume abierto en una habitación? Sucede algo parecido al experimento anterior. Explique
- ¿Cualquier proceso de difusión ¿Ocurre a la misma velocidad?



## ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Estimar el coeficiente de difusión (difusividad  $D_{AB}$ ) del cloroformo, etanol, acetona y tetracloruro de carbono en el aire.

- Llene con los diferentes solventes los tubos de ensayo y anote para cada tubo de ensayo la línea de separación entre el solvente y el aire (altura dentro del tubo de ensayo).
- Coloque manguera con aire por encima de los tubos y cada 15 minutos (durante 2 horas) registre visualmente y anote la altura del solvente dentro del tubo.
- Registre si existe una diferencia notable de comportamiento entre los tubos de ensayo con los diferentes solventes.
- Calcule la masa evaporada de cada uno de los solventes empleados.

## MATERIALES Y EQUIPO

1 vaso de precipitados de 500 ml  
1 parrilla de calefacción  
8 tubos de ensayo  
1 agitador magnético  
1 tramo de manguera 50 cm  
1 soporte universal  
1 cronómetro  
1 flexómetro  
1 vernier  
1 probeta de 10 ml



**EVIDENCIAS A GENERAR EN EL DESARROLLO DE LA PRACTICA (CALCULOS):**

Sustancia	Diámetro interior cm	Volumen inicial cm	Volumen final cm	Difusión del tubo cm	Tiempo min
acetona					
cloroformo					
Etanol					
Tetracloruro de carbono					

Altitud de la zona metropolitana 2350 m sobre el nivel del mar con una presión atmosférica de 78 Kp a 20 °C de temperatura. . La longitud del tubo es de 15 cm.

- Realice los cálculos correspondientes para determinar el coeficiente de difusión de cada solvente empleado.

**INSTRUMENTO DE EVALUACION (RUBRICA, LISTA DE COTEJO, ETC.)**

El alumno elaborará un reporte que contenga lo indicado en el instructivo para la elaboración de reportes, y el trabajo de laboratorio se evaluará de acuerdo a la lista de cotejo mostrada en la introducción del manual.

**BIBLIOGRAFIA**

C.J.Geankoplis/1995 Procesos de transporte y operaciones unitarias Ed. CECSA/  
3ª Edición

WELTY, 2001 Fundamentos de Transferencia de Calor, Momento y Masa Ed. IPN./ 2ª Edición