



**Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Química**

**Ingeniería Química**

**Laboratorio de Ingeniería de Reactores**

**“Manual de Prácticas del Laboratorio de Operaciones Unitarias I”**

**Elaborado por:**

**M. en C. Q. Eduardo Martín del Campo López  
Dra. Rubí Romero Romero**

Fecha de elaboración: 22 de junio 2018

Fecha de  
aprobación:

H. H. Consejo Académico

20 de septiembre 2018



H. H. Consejo de  
Gobierno

20 de septiembre 2018

U. A. E. M.  
FACULTAD DE QUÍMICA



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
PRESENTACIÓN.....	4
PROGRAMA DE ESTUDIOS LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS I	5
REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA .....	7
PRÁCTICA NÚMERO 1 .....	8
“ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE LOS EQUIPOS DE FLUJO DE FLUIDOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA” .....	8
PRÁCTICA NÚMERO 2 .....	10
“DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN EN TUBERÍAS LISAS Y RUGOSAS” .....	10
PRÁCTICA NÚMERO 3 .....	13
“DETERMINACIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN ACCESORIOS Y MEDIDORES DE FLUJO” .....	13
PRÁCTICA NÚMERO 4 .....	16
“DETERMINACIÓN DE LA CAIDA DE PRESIÓN EN VÁLVULAS” .....	16
PRÁCTICA NÚMERO 5 .....	19
“DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO” .....	19
PRÁCTICA NÚMERO 6 .....	23
“FLUJO DE CANALES ABIERTOS” .....	23
PRÁCTICA NÚMERO 7 .....	25
“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN TUBOS AISLADOS” .....	25
PRÁCTICA NÚMERO 8 .....	29
“COMPARACIÓN DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS MEDIA LOGARÍTMICA EN UN ARREGLO A CONTRACORRIENTE Y EN ARREGLO EN PARALELO EN UN SISTEMA VAPOR-AGUA Y EN UN SISTEMA AGUA FRÍA – AGUA CALIENTE” .....	29
PRÁCTICA NÚMERO 9 .....	32
“DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y FACTOR DE OBSTRUCCIÓN EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS” .....	32
PRÁCTICA NÚMERO 10 .....	35



“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN MATEMÁTICA QUE DESCRIBA EL COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL INTERCAMBIADOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS PARA EL SISTEMA AGUA FRÍA – AGUA CALIENTE” .....	35
PRÁCTICA NÚMERO 11 .....	38
“CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR SIN CAMBIO DE FASE EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS” .....	38
PRÁCTICA NÚMERO 12 .....	42
“CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON CAMBIO DE FASE EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS” .....	42
PRÁCTICA NÚMERO 13 .....	45
“CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN SÓLIDOS” .....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE .....	49
ANEXOS .....	50



## PRESENTACIÓN

El Plan de Estudio de la licenciatura en Ingeniería Química establece un modelo educativo basado en objetivos. El currículo se divide en tres núcleos de formación: básico, sustantivo e integral, que en conjunto pretenden dar una formación acorde a los tiempos actuales de una sociedad cada vez más dinámica, participativa y demandante.

La Unidad de Aprendizaje (UA) de Laboratorio de Operaciones Unitarias I, pertenece al núcleo integral, está ubicada en el Área Curricular de Ingeniería, y debe sumar al perfil del egresado para que sea capaz de desarrollar habilidades en el uso racional de los recursos, generar conocimientos aplicables a la ingeniería química y atender las necesidades para asimilar, adaptar, validar y transferir tecnología de procesos fisicoquímicos, utilizando conocimientos propios de Flujo de Fluidos y Transferencia de Calor, y habilidades como: búsqueda, análisis e interpretación de información, uso de herramientas computacionales, manejo de equipos, instrumentos de laboratorio y equipos de proceso a escala piloto. En el transcurso de la UA, los estudiantes realizarán actividades que les permitan desarrollar documentos como: formatos, hojas técnicas, hojas de especificaciones, instructivos, manuales, reportes, entre otros; serán capaces de informar, capacitar o comunicar de manera efectiva y asertiva procedimientos y resultados; serán competentes para interpretar información disponible en artículos técnico-científicos, patentes o modelos de utilidad; y a través del acopio e interpretación de datos experimentales y la aplicación de ecuaciones que describen el transporte de materia y energía, serán capaces de seleccionar y evaluar accesorios (válvulas, medidores de flujo, etc.), bombas y equipos de intercambio de calor, a diferentes condiciones de operación.

Esta UA contribuirá a que los egresados den respuesta a algunas de las problemáticas a las que se enfrenta el Ingeniero Químico de la actualidad, por ejemplo: deficiente ejecución de los planes trazados para el desarrollo y operación de una organización, incorrecta implementación y asimilación de la tecnología que soporta el desarrollo de la industria y deficiente análisis y optimización de los procesos y equipos existentes.

La evaluación del aprendizaje será un proceso continuo en el cual la retroalimentación oportuna a los estudiantes acerca de su desempeño será fundamental; se utilizarán revisiones bibliográficas, reportes de laboratorio, exposiciones y trabajo en equipo, como estrategias de aprendizaje. Los exámenes departamentales se aplicarán en la fecha y lugar señalado en el calendario oficial, considerando el Reglamento Interno de la Facultad y los criterios de asignación de porcentajes acordados en el Área Docente.



## **PROGRAMA DE ESTUDIOS LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS I**

### **UNIDAD 1. PRÁCTICAS DE FLUJO DE FLUIDOS.**

Objetivo: aplicar y analizar los fundamentos teóricos de Flujo de Fluidos en equipos de transporte de fluidos y bombas con el propósito de comprender experimentalmente este fenómeno y corroborarlos con los reportados en la bibliografía.

#### Práctica No. 1

“Elaboración de los diagramas de los equipos de flujo de fluidos y transferencia de calor del Laboratorio de Ingeniería Química”

#### Práctica No. 2

“Determinación del coeficiente de fricción en tuberías lisas y rugosas”

#### Práctica No. 3

“Determinación de la caída de presión en accesorios y medidores de flujo”

#### Práctica No. 4

“Determinación de la caída de presión en válvulas.”

#### Práctica No. 5

“Determinación de la eficiencia de bombas en serie y en paralelo”

#### Práctica No. 6

“Flujo en canales abiertos”

### **UNIDAD 2. PRÁCTICAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

Objetivo: Aplicar y analizar los fundamentos teóricos de Transferencia de Calor en equipos de Calor con el propósito de comprender experimentalmente este fenómeno y corroborarlos con los reportados en la bibliografía.

#### Práctica No. 7

“Determinación de la pérdida de calor en tubos aislados”

#### Práctica No. 8

“Comparación de la diferencia de temperaturas media logarítmica en un arreglo a contracorriente y en arreglo en paralelo en un sistema vapor-agua y en un sistema agua fría – agua caliente”

#### Práctica No. 9



“Determinación del coeficiente global de transferencia de calor y factor de obstrucción en un intercambiador de calor de tubos concéntricos”

Practica No. 10

“Determinación de la correlación matemática que describa el coeficiente convectivo de transferencia de calor del intercambiador de tubos concéntricos para el sistema agua fría – agua caliente”

Práctica No. 11

“Cálculo del coeficiente de transferencia de calor sin cambio de fase en un intercambiador de calor de coraza y tubos”

Práctica No. 12

“Cálculo del coeficiente de transferencia de calor con cambio de fase en un intercambiador de calor de coraza y tubos”

Práctica No. 13

“Cálculo de la conductividad térmica en sólidos”



## REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA

1. Puntualidad (límite de entrada: 10 min).
2. Leer con anticipación el protocolo de la práctica.
3. Traer completo el material de laboratorio para el desarrollo de la práctica.
4. Traer, por equipo, mínimo una franela.
5. Usar bata de algodón, lentes de seguridad, guantes de lona o asbesto y zapatos de seguridad. Queda estrictamente prohibido utilizar zapatos de tacón alto.
6. Usar cabello recogido.
7. No consumir alimentos, ni bebidas en el laboratorio.
8. Seguir el Lineamiento Interno de Laboratorios de la Facultad de Química (anexo)



## **PRÁCTICA NÚMERO 1**

### **“ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE LOS EQUIPOS DE FLUJO DE FLUIDOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA”**

#### **PROPOSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, sean capaces de identificar los equipos y accesorios que se utilizan en el Laboratorio de Operaciones Unitarias I, a través de la elaboración de sus diagramas correspondientes; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

Para el Ingeniero Químico es importante usar diagramas en la resolución de problemas de diseño y operación, ya que ayudan a visualizar problemas de una manera rápida y directa. Bosquejar un diagrama es una herramienta eficaz para transmitir información de manera simplificada. En el que hacer del Ingeniero Químico, principalmente se trabaja con cuatro tipos de diagramas: diagrama de bloques, diagrama isométrico, diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) y diagrama de flujo de procesos.

En un diagrama isométrico, las tuberías se representan por líneas que conectan a las diferentes operaciones unitarias o elementos de un equipo, las líneas horizontales se representan a 30° del plano horizontal y las líneas verticales son paralelas a este mismo eje. En los diagramas de bloques, se presenta poca información de los procesos, sin embargo, indican la secuencia de las operaciones unitarias. En un DTI se muestra las tuberías y los accesorios relacionados con el flujo de un proceso o equipo, generalmente incluyen: válvulas, tuberías con sus respectivas especificaciones, direcciones de flujo y accesorios especiales. Por otro lado, los diagramas de flujo de proceso indican balances de materia y energía, propiedades de los fluidos en las corrientes y condiciones de operación, es decir, concentran más información del proceso o equipo que representan.

#### **PROPÓSITOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer el equipo existente para realizar las prácticas del Laboratorio de Operaciones Unitarias I.
2. Elaborar los diagramas isométricos y/o DTI's del equipo de Flujo de Fluidos, del banco de prueba de bombas, del equipo de tuberías aisladas, de los intercambiadores de tubos concéntricos y de los intercambiadores de coraza y tubos, utilizando la simbología adecuada.



### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

El profesor deberá indicar cuales son los equipos a utilizar durante el desarrollo de la UA; posteriormente, los alumnos destinaran el tiempo de la práctica para realizar el levantamiento de cada uno de los equipos. El levantamiento debe incluir: toma de medidas; identificación de válvulas, accesorios e indicadores de temperatura, nivel, flujo y presión; desarrollo de diagramas preliminares y captura de fotografías, a diferentes ángulos, para el registro de detalles.

### **RESULTADOS**

Con la información obtenida en la etapa anterior, los estudiantes deberán entregar los diagramas isométricos y/o DTI's de la totalidad de los equipos utilizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias I. Dichos diagramas deberán elaborarse utilizando herramientas computacionales, por ejemplo: AutoCAD®, CorelDRAW®, Office®, Paint®, software libre, etc., ya que se deben presentar de manera apropiada en el reporte de la práctica.



## **PRÁCTICA NÚMERO 2**

### **“DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN EN TUBERÍAS LISAS Y RUGOSAS”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del equipo de Flujo de Fluidos, sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular el factor de fricción de cada línea; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

En la Industria Química cualquier fluido se transporta por tuberías, entre los fluidos más comunes están: petróleo, agua, gases, ácidos y destilados. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece mayor resistencia estructural y mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí (fricción), y por la pérdida de energía disponible; es decir, existe una caída de presión en el sentido de flujo. La ecuación general de la caída de presión, conocida como la fórmula de Darcy, es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido transportado a través una tubería.

El factor de fricción debe ser determinado experimentalmente, este factor para condiciones de flujo laminar solo es función del número de Reynolds; mientras que, para flujo turbulento, es función tanto del número de Reynolds como del tipo de pared (lisa o rugosa). Para paredes lisas, el factor de fricción disminuye más rápidamente con el aumento del número de Reynolds, que para tuberías con paredes rugosas. Para tuberías con diámetros pequeños, la rugosidad de las paredes representa un efecto más significativo sobre el factor de fricción.

Las caídas de presión de tuberías lisas o rugosas se deben a varias características del sistema, por ejemplo: 1) rozamiento en las paredes de la tubería, que es función de la rugosidad de la superficie interna de la misma, la velocidad, la densidad y la viscosidad del fluido; 2) obstrucciones en el paso del fluido; 3) cambios repentinos o graduales en la superficie y contorno del paso del fluido; y 4) cambios de dirección del fluido.



## PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos y Fenómenos de Transporte.
2. Conocer la operación del equipo de Flujo de Fluidos
3. Observar de manera práctica la caída de presión en tuberías lisas y rugosas de diferentes diámetros, originada por la fricción de los fluidos.
4. Determinar la relación existente entre las caídas de presión y la velocidad del flujo de agua en tuberías lisas y rugosas en régimen turbulento.
5. Obtener el valor del coeficiente de fricción a partir de los datos experimentales para la tubería correspondiente.
6. Comparar los valores del coeficiente de fricción obtenidos experimentalmente con los reportados en la bibliografía.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Cronómetro.
2. Cubeta o bote de 20 L graduado.
3. Termómetro.

### Metodología

1. Preparar el equipo de Flujo de Fluidos para iniciar la operación\*.
2. Tomar de 3 a 5 veces la caída de presión que sufre un fluido al pasar por un tramo recto de 3 m de una tubería de PVC de 1 in, variando el flujo en cada lectura.
3. Tomar de 3 a 5 veces la caída de presión que sufre un fluido al pasar por un tramo recto de 3 m de una tubería de PVC de  $\frac{1}{2}$  in, variando el flujo en cada lectura.
4. Tomar de 3 a 5 veces la caída de presión que sufre un fluido al pasar por un tramo recto de 3 m de una serie de tuberías rugosas, variando el flujo en cada lectura. Las tuberías rugosas se enlistan a continuación:
  - Tubería de hierro negro de  $\frac{3}{8}$  in.
  - Tubería de hierro galvanizado de  $\frac{1}{2}$  in.
  - Tubería de hierro galvanizado de  $\frac{3}{4}$  in.
  - Tubería de hierro galvanizado de 1 in.
  - Tubería de cobre de  $\frac{1}{2}$  in.
5. Al término de la toma de lecturas, apagar y limpiar el equipo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales deberán presentarse en el Reporte de la práctica de la siguiente manera:



Tubería	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caída de presión (mmHg)

Con los datos obtenidos en la sección experimental, se tienen que calcular los siguientes aspectos:

1. Flujo volumétrico.
2. Velocidad superficial.
3. Número de Reynolds.
4. Factor de fricción.
5. Elaborar un gráfico de caída de presión (eje y) vs. velocidad superficial (eje x).
6. Elaborar un gráfico de factor de fricción (eje y) vs. velocidad superficial (eje x).
7. Elaborar un gráfico de factor de fricción (eje y) vs. número de Reynolds (eje x).



## **PRÁCTICA NÚMERO 3**

### **“DETERMINACIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN ACCESORIOS Y MEDIDORES DE FLUJO”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del equipo de Flujo de Fluidos, sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular las caídas de presión en diferentes accesorios, por ejemplo: codos, expansiones, reducciones, entre otros; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

Las instalaciones industriales en su mayor parte están constituidas por válvulas y accesorios, por lo que es necesario que el Ingeniero Químico conozca y maneje información sobre la resistencia al flujo de estos dispositivos, con el objetivo de diseñar y/u operar un sistema de tuberías completo.

Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en: de derivación, de reducción, de ampliación y de desviación. Los accesorios como “T’s”, “Y’s”, codos con salida lateral, etc., pueden agruparse como accesorios de derivación. Los conectores de reducción o ampliación son aquellos que cambian la superficie de paso del fluido. Los accesorios de desvío como curvas, codos, curvas en U, etc., son los que cambian la dirección de flujo.

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica; cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que los accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional. La pérdida de presión total producida por un accesorio consiste en: 1) la pérdida de presión dentro del accesorio, 2) la pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe un accesorio en la línea, este efecto es pequeño, y 3) la pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera un accesorio en la línea, este efecto puede ser muy grande.



Para el Ingeniero Químico es muy importante medir y controlar la cantidad de material que entra y que sale en una etapa de proceso, y dado que mucho de estos materiales son fluidos que se transportan por tuberías o conductos, es necesario medir el flujo utilizando diferentes dispositivos. Los medidores de flujo más sencillos son los que miden directamente el volumen del fluido, por ejemplo: los medidores ordinarios de gas, agua y las bombas de desplazamiento positivo. Por otro lado, los medidores actuales usan un elemento semejante a un propulsor que gira a una rapidez determinada por la velocidad del fluido. Generalmente, para medir la cantidad de fluido se utilizan el tubo Pitot, el medidor Venturi, el medidor de orificio y los vertederos de canal abierto.

El medidor de orificio puede utilizarse en instalaciones comunes en las plantas de procesos ya que no ocupa un espacio considerable y no es muy costoso, su principal desventaja es la considerable pérdida de carga o potencia del fluido respecto a otros dispositivos, entre ellos el medidor Venturi.

### **PROPÓSITOS ESPECÍFICOS**

1. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos y Fenómenos de Transporte.
2. Conocer la operación del equipo de Flujo de Fluidos.
3. Observar prácticamente el efecto de los cambios de dirección y/o cambios de diámetro en las tuberías, sobre la caída de presión que experimenta el fluido.
4. Obtener los valores de los coeficientes ( $K$ ) para los accesorios del equipo de Flujo de Fluidos del Laboratorio de Ingeniería Química.
5. Comparar los valores de  $K$  obtenidos experimentalmente con los valores reportados en la bibliografía.
6. Determinar la caída de presión en un medidor de orificio.
7. Determinar la caída de presión en un tubo Venturi.

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

#### **Material**

1. Cronómetro.
2. Probeta de 1 L.
3. Cubeta o bote de 20 L graduado.
4. Termómetro.
5. Pizeta.
6. Jeringas de 10 mL.

#### **Metodología**

1. Preparar el equipo de Flujo de Fluidos para iniciar operación\*.
2. Tomar de 3 a 5 veces la caída de presión que sufre un fluido al pasar por diferentes accesorios, variando el flujo en cada lectura. Los accesorios son:
  - Codo de 90 °.



- Codo de 45 °.
  - “T” lineal y “T” cambio de dirección.
  - Expansión.
  - Reducción.
3. Tomar de 3 a 5 veces la caída de presión que sufre un fluido al pasar por un medidor de orificio, variando el flujo en cada lectura.
  4. Tomar de 3 a 5 veces la caída de presión que sufre un fluido al pasar por un tubo Venturi, variando el flujo en cada lectura.
  5. Al término de la toma de lecturas, apagar y limpiar el equipo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales deberán presentarse en la siguiente tabla:

Accesorio	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caída de presión (mmHg)

Para el caso de los datos experimentales del medidor de orificio y el tubo Venturi utilizar el siguiente formato:

Medidor de orificio		
Volumen (L)	Tiempo (s)	Caída de presión (mmHg)

Tubo Venturi		
Volumen (L)	Tiempo (s)	Caída de presión (mmHg)

Con los datos obtenidos en la sección experimental, se tienen que calcular los siguientes aspectos:

1. Flujo volumétrico.
2. Velocidad superficial.
3. Número de Reynolds.
4. Factor de fricción para accesorios.
5. Elaborar un gráfico de velocidad vs. caída de presión para cada accesorio.
6. En el caso del medidor de orificio y el tubo Venturi.
  - Coeficiente de descarga.
  - Elaborar un gráfico de coeficiente de descarga (eje y) vs. número de Reynolds (eje x).
  - Elaborar un gráfico de caída de presión (eje y) vs. número de Reynolds (eje x).



## **PRÁCTICA NÚMERO 4**

### **“DETERMINACIÓN DE LA CAIDA DE PRESIÓN EN VÁLVULAS”**

#### **PROPOSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del equipo de Flujo de Fluidos, sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular las caídas de presión en diferentes válvulas; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición a aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

Las instalaciones industriales en su mayor parte están constituidas por válvulas y accesorios, por lo que es necesario que el Ingeniero Químico conozca y maneje información sobre la resistencia al flujo de estos dispositivos, con la finalidad de diseñar y/u operar un sistema de tuberías completo.

La variedad en diseños de válvulas dificulta una clasificación completa, sin embargo, generalmente se clasifican según la resistencia que ofrecen al flujo. Entre las válvulas de paso directo, las más comunes son: de compuerta, de bola, macho y de mariposa. Por otro lado, entre las válvulas de cambio de dirección destacan: de globo y angulares.

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica; cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas en una línea de tuberías alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional. La pérdida de presión total producida por una válvula consiste en: 1) la pérdida de presión dentro de la válvula o accesorio, 2) la pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea, este efecto es pequeño y 3) la pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera válvula en la línea, este efecto puede ser muy grande.

Desde un punto de vista experimental, es difícil medir las tres caídas por separado, sin embargo, su efecto combinado puede evaluarse mediante métodos conocidos.



## PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos y Fenómenos de Transporte.
2. Conocer la operación del equipo de Flujo de Fluidos.
3. Observar el efecto que tienen los diferentes tipos de válvula que se encuentran en el equipo de Flujo de Fluidos, sobre los valores de caída de presión.
4. Determinar el valor experimental del coeficiente  $K$  para cada tipo de válvula y a diferentes aberturas.
5. Comparar los valores de  $K$  obtenidos de manera experimental con los reportados en la bibliografía.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Cronómetro.
2. Probeta de 1 L.
3. Cubeta o bote de 20 L graduado.
4. Termómetro.
5. Pizeta.
6. Jeringas de 10 mL.

### Metodología

1. Preparar el equipo de Flujo de Fluidos para iniciar la operación\*.
2. Colocar la válvula de alimentación del equipo de Flujo de Fluidos con un porcentaje de abertura del 100%.
3. Tomar la caída de presión en cada una de las siguientes válvulas, modificando su porcentaje de apertura.
  - Válvula de compuerta (100, 75, 50 y 25%).
  - Válvula de globo (100 y 50 %).
  - Válvula de bola (100 %).
  - Válvula de aguja (100 %).
4. Al término de la toma de lecturas, apagar y limpiar el equipo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales para cada una de las válvulas, con una abertura del 100 %, deberán presentarse en la siguiente tabla:

Tipo de válvula	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caída de presión (mmHg)



Los datos experimentales obtenidos variando el porcentaje de abertura de cada válvula, serán reportados de la siguiente manera:

Tipo de válvula	Porcentaje de abertura (%)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caída de presión (mmHg)

Con los datos de la sección experimental, se tienen que calcular los siguientes aspectos:

1. Flujo volumétrico.
2. Velocidad superficial.
3. Número de Reynolds.
4. Factor de fricción para válvulas.
5. Elaborar un gráfico de velocidad superficial (eje y) vs. % de abertura de la válvula (eje x).
6. Elaborar un gráfico de caída de presión (eje y) vs. % de abertura de la válvula (eje x).



## **PRÁCTICA NÚMERO 5**

### **“DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del banco de pruebas de bombas en serie y en paralelo, sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente para calcular la eficiencia de las bombas; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

El transporte de líquidos es de gran importancia en los procesos industriales, por lo que es necesario familiarizarse con el funcionamiento, selección, elementos constitutivos y problemas operativos de las bombas; así como con el conocimiento de los instrumentos de control, accesorios e instalaciones asociadas.

En el diseño de un sistema de bombeo deben considerarse muchos factores que determinan la selección del equipo adecuado. Desde el punto de vista del proceso se consideran los siguientes aspectos: capacidad, presión de descarga y de succión, y temperatura. Desde el punto de vista del fluido a manejar se consideran: presión de vapor, viscosidad y densidad. Por otro lado, desde el punto de vista operacional y mecánico se consideran: energía eléctrica suministrada, material de construcción de la bomba y la conveniencia de utilizar succión o descarga radiales o tangenciales. Todo lo anterior debe tener una instalación segura, confiable y económica.

Las bombas para las industrias de procesos químicos difieren de las utilizadas en otras industrias principalmente en los materiales de que están hechas; la mayoría de las bombas de proceso son centrífugas. Cuando la bomba se utiliza para transferencia o recirculación, puede haber una posible acumulación de productos de corrosión o contaminantes que reducirán su duración útil; por ello, esto se debe considerar en la evaluación de las características del producto que se maneja.

La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema que se trabajará. La eficiencia de la bomba tiene un lugar relevante entre los factores que se deben considerar; actualmente, existen tablas reportadas en la bibliografía que incluyen este factor para la selección de una bomba, dicha selección se hace sobre la base de un porcentaje de eficiencia fijo.



En algunos procesos u operaciones industriales existen requerimientos de flujo en los que es necesario utilizar un sistema de bombeo con más de un dispositivo. El uso de dos o más bombas permite que cada una de ellas opere la mayor parte del tiempo en su región de mayor eficiencia; a pesar de que los costos iniciales son mayores, el costo de operación es más bajo y la flexibilidad ayudan a costear la inversión inicial.

### PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos y Fenómenos de Transporte.
2. Conocer la operación del banco de pruebas de bombas en serie y en paralelo.
3. Calcular la potencia y la eficiencia del motor de las bombas.
4. Comparar la eficiencia global de las bombas trabajando en serie y paralelo.

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### Material

1. Termómetro.
2. Pizeta.
3. 2 jeringas de 10 Ml.

#### Metodología

1. Preparar el banco de pruebas de bombas en serie y en paralelo para iniciar operación\*.
2. Tomar 10 lecturas de cada una de las bombas variando la velocidad del motor (rpm).
3. Tomar 10 lecturas para cada uno de los arreglos en los que puede operar el banco de pruebas de bombas, es decir, en serie o en paralelo, variando la velocidad del motor (rpm).
4. Al término de la toma de lecturas, apagar y limpiar el equipo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

Los datos técnicos del banco de pruebas de bombas en serie y en paralelo, se muestran a continuación:

Dato	Valor
Diámetro de la línea de succión (mm)	31.75
Diámetro de la línea de descarga (mm)	25.4
Tipo de bomba	Centrifuga
Diámetro de impulsor (mm)	120
Tipo de motor	Velocidad variable de 0 2900 rpm
Suministro eléctrico	220 V / 50 0 50 Hz
Brazo de torque (m)	0.25



## RESULTADOS

Para cada valor de velocidad del motor (entre 800 a 2900 rpm, con intervalos de 200 rpm), presentar los datos experimentales como se indica en la siguiente tabla:

Velocidad del motor (rpm)				
Arreglo	Flujo volumétrico (L/min)	Presión de succión (cmHg)	Presión de descarga (psi)	Peso de torque del motor (g)
Bomba 1				
Bomba 2				

Con los datos obtenidos en la sección experimental determinar:

1. Carga total.
2. Potencia a la salida del motor.
3. Potencia a la entrada del motor y la eficiencia.
4. Carga neta de succión positiva.
5. Elaborar un gráfico de carga total (eje y) vs. flujo volumétrico para cada bomba (eje x).
6. Elaborar un gráfico de eficiencia (eje y) vs. flujo volumétrico para cada bomba (eje x).

Los cálculos realizados se pueden presentar en una tabla con las siguientes características:

Arreglo	Carga de descarga (m)	Carga de succión (m)	Carga total (m)	Peso de torque del motor (g)	Potencia del motor (W)	Eficiencia (%)
Bomba 1						
Bomba 2						

En el caso de trabajar con un arreglo en serie o en paralelo en el banco de prueba de bombas, para cada valor de velocidad del motor (entre 800 a 2900 rpm, con intervalos de 200 rpm), presentar los datos experimentales como se indica en la siguiente tabla:



Velocidad del motor (rpm)				
Arreglo	Flujo volumétrico (L/min)	Presión de succión (cmHg)	Presión de descarga (psi)	Peso de torque del motor (g)
Serie				
Paralelo				

Con los datos obtenidos en la sección experimental, para cada arreglo, determinar:

1. Carga total.
2. Potencia a la salida del motor.
3. Potencia a la entrada del motor.
4. Eficiencia global.
5. Elaborar un gráfico de carga total (eje y) vs. flujo volumétrico para cada arreglo (eje x).
6. Elaborar un gráfico de eficiencia global de las bombas (eje y) vs. flujo volumétrico para cada arreglo (eje x).

Los cálculos realizados, para cada arreglo, se pueden presentar en una tabla con las siguientes características:

Arreglo	Carga de descarga (m)	Carga de succión (m)	Carga total (m)	Peso de torque del motor (g)	Potencia del motor (W)	Eficiencia (%)
Serie						
Paralelo						



## PRÁCTICA NÚMERO 6 “FLUJO DE CANALES ABIERTOS”

### PROPÓSITO GENERAL

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del banco de pruebas de bombas en serie y en paralelo, sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para determinar la velocidad de flujo volumétrico utilizando un canal abierto; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

### INTRODUCCIÓN

Para el Ingeniero Químico es muy importante medir y controlar la cantidad de material que entra y que sale en una etapa de proceso, y dado que mucho de estos materiales son fluidos que se transportan por tuberías o conductos, es necesario medir el flujo utilizando diferentes dispositivos. Los medidores de flujo más sencillos son los que miden directamente el volumen del fluido, por ejemplo: los medidores ordinarios de gas, agua y las bombas de desplazamiento positivo. Por otro lado, los medidores actuales usan un elemento semejante a un propulsor que gira a una rapidez determinada por la velocidad del fluido. Generalmente, para medir la cantidad de fluido se utilizan el tubo Pitot, el medidor Venturi, el medidor de orificio y los vertederos de canal abierto.

En muchos casos de ingeniería de procesos e instalaciones agrícolas, los líquidos fluyen en canales abiertos y no en ductos cerrados. Para medir la cantidad de fluido en estos casos se suele usar vertederos. Un vertedero es un dique sobre el cual fluye un líquido, midiendo su altura desde una base plana o muesca y realizando los cálculos correspondientes. Los dos principales tipos de vertederos son: rectangular y triangular.

### PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer la relación que se da entre las (UA's) de Flujo de Fluidos y Fenómenos de Transporte.
2. Determinar la relación existente entre altura del líquido y caudal para cada tipo de vertedero.
3. Determinar los flujos volumétricos en un canal abierto mediante el uso de vertederos de diferentes formas.
4. Comparar los resultados obtenidos con los repostados en la bibliografía.



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Cronometro.
2. Papel milimétrico impreso en hojas de acetato.
3. Hojas de papel milimétrico.
4. Cubeta o bote de 20 L.
5. Cinta adhesiva.

### Metodología

1. Preparar el banco de pruebas de bombas en serie y en paralelo para iniciar operación\*.
2. Colocar al final del canal con que cuenta el equipo uno de los siguientes vertederos:
  - Rectangular.
  - Triangular.
3. Tomar 10 lecturas de la altura del líquido que pasa por el vertedero rectangular a diferentes flujos.
4. Tomar 10 lecturas de la altura del líquido que pasa por el vertedero triangular a diferentes flujos.
5. Al término de la toma de lecturas, apagar y limpiar el equipo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Reportar los datos experimentales en la siguiente tabla:

<b>Vertedero:</b>	
<b>Corrida</b>	<b>Altura del líquido (mm)</b>

Con los datos experimentales determinar:

1. Flujo volumétrico para cada vertedero.
2. Elaborar un gráfico de flujo volumétrico vs. altura del líquido, para cada vertedero.



## PRÁCTICA NÚMERO 7 “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN TUBOS AISLADOS”

### PROPÓSITO GENERAL

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del equipo de tubos aislados, sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular la pérdida de calor en las diferentes tuberías aplicando la Ley de Fourier y el cálculo de los flujos de cada línea; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición a aprender a aprender.

### INTRODUCCIÓN

En el caso de cilindros y tuberías, el área de la trayectoria del flujo de calor a través de la pared del tubo aumenta con la distancia desde el radio interior al radio exterior, es decir, la dirección en la que fluye el calor es radial. Para este tipo de sistema la rapidez a la que se conduce el calor está descrita por la ley de Fourier:

$$q = -2\pi r L k \frac{dT}{dr}$$

Siendo  $q$  el flujo de calor en W,  $L$  la longitud de la tubería en m,  $k$  la conductividad térmica del material con el que está hecho la tubería en W/m°C,  $T$  la temperatura en cualquier punto del radio de la tubería en °C, y  $r$  el radio de la tubería en m. Para una tubería recubierta con un material aislante (ver Figura 7.1) de radio interno  $r_0$  a una temperatura  $T_0$ , radio externo  $r_1$  a una temperatura  $T_1$ , y radio con material aislante  $r_2$  a una temperatura  $T_2$ , el flujo de calor de calor a través de la tubería ( $q_A$ ) es:

$$q_A = \frac{-2\pi L k_A (T_1 - T_0)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}$$

De la misma manera, el flujo de calor a través del material aislante ( $q_B$ ) es:

$$q_B = \frac{-2\pi L k_B (T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Debido a que el flujo de calor que pasa a través de la tubería es el mismo que pasa a través del material aislante ( $q_A = q_B = q$ ), el flujo de calor se puede calcular



utilizando las temperaturas de la cara interna de la tubería y la cara externa del aislante.

$$q = \frac{T_0 - T_2}{\frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_A} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_B}} = \frac{2\pi L (T_0 - T_2)}{\frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{k_A} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_B}}$$

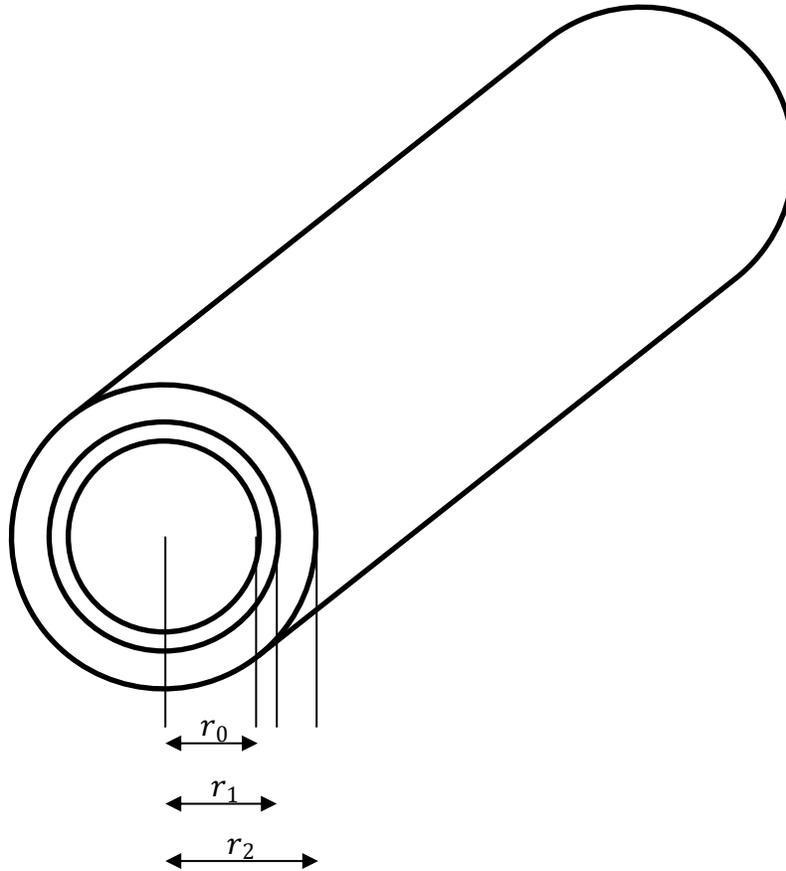


Figura 7.1 Tubería recubierta con un material aislante

Esto es cierto únicamente cuando se considera que la resistencia a la transferencia de calor por convección del vapor de agua hacia la superficie interna de la tubería es despreciable, y si la temperatura de la superficie externa del material aislante se mantiene a una temperatura definida. Para esta práctica se deben considerar las siguientes resistencias a la transferencia de calor:

1. Resistencia de la tubería (material de construcción).
2. Resistencia del aislante.

Es muy importante recordar que en fluidos en movimiento los coeficientes de transferencia de calor por convección no deben ser despreciados, pero en esta práctica el fluido que se transporta en las tuberías es vapor de agua, considerado



como un fluido isotérmico, y que se tiene la posibilidad de conocer de manera puntual la temperatura exacta en la superficie externa del aislante.

### **PROPÓSITOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer la operación del equipo que trabaje con vapor.
2. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos y Transferencia de Calor.
3. Determinar las pérdidas de calor a través de tuberías aisladas y sin aislar.
4. Determinar los flujos de condensado en las diferentes líneas del equipo.

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

#### **Material**

1. Tres bolsas de hielo.
2. Guantes de asbesto o lona.
3. Probeta graduada de 2 L.
4. Probeta graduada de 1 L.
5. Termómetro infrarrojo digital.
6. Cronómetro.

#### **Metodología**

1. Purgar el sistema principal de vapor\*.
2. Purgar las 4 tuberías del equipo de tubos aislados.
3. Llenar con agua fría la cuba en donde se encuentran los serpentines, de acuerdo con la tubería a utilizar, recubrir con hielo el serpentín correspondiente.
4. Abrir en un orden establecido las válvulas de las 4 tuberías del equipo de tubos aislados.
5. Tomar lecturas de las temperaturas del vapor y de la superficie externa de la tubería o aislante.
6. Determinar la cantidad de condensado en un tiempo determinado.
7. Al término de las lecturas, suspender el suministro de vapor, purgar el equipo, purgar el sistema principal de vapor y limpiar toda el área de trabajo.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

### **RESULTADOS**

Los datos experimentales se deberán presentar en la siguiente tabla:



<b>Tipo de tubería:</b>	sin aislante, con aislante mínimo, con aislante intermedio y con aislante mayor	
<b>Temperatura del vapor (°C)</b>	<b>Temperatura sobre la superficie externa de la tubería o aislante (°C)</b>	<b>Volumen de condensado (L)</b>

Con los datos obtenidos, determinar:

1. Pérdida de calor (BTU) por pie lineal en cada una de las tuberías.
2. Despreciando la convección del vapor en el interior de la tubería y que la temperatura del medio es igual a la temperatura externa de la tubería o aislante, calcular la temperatura existente entre la tubería y el aislante.
3. Calcular la pérdida máxima de calor a través de tuberías.



## **PRÁCTICA NÚMERO 8**

### **“COMPARACIÓN DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS MEDIA LOGARÍTMICA EN UN ARREGLO A CONTRACORRIENTE Y EN ARREGLO EN PARALELO EN UN SISTEMA VAPOR-AGUA Y EN UN SISTEMA AGUA FRÍA – AGUA CALIENTE”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo en equipo, operen el intercambiador de calor de tubos concéntricos, y sean capaces de relacionar los conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular la diferencia de temperatura media logarítmica a contracorriente y en paralelo, y comparar los resultados obtenidos utilizando hojas de cálculo; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

Una diferencia de temperaturas es la fuerza motriz mediante la cual el calor se transfiere desde la fuente al receptor. En un proceso industrial, únicamente las temperaturas de entrada y salida de los fluidos calientes y fríos se conocen, denominándose temperaturas de proceso. Cuando dos fluidos, uno frío y otro caliente, se ponen en contacto a través de una pared física, experimentan variaciones de temperatura que no siguen un comportamiento lineal respecto a la longitud del equipo.

La dirección relativa (a contracorriente o en paralelo) de los dos fluidos influye en el valor de la diferencia de temperatura. Para obtener una expresión que defina esa diferencia de temperaturas se hacen algunas suposiciones: coeficiente global de transferencia de calor constante en toda la trayectoria; calor específico constante en toda la trayectoria; pérdidas de calor despreciables; entre otras. Cuando se tiene el mismo sistema y se trabaja a contracorriente y en paralelo, se observa que hay una desventaja térmica distintiva entre ellos.

Cuando se utiliza vapor como medio de calentamiento, se generan algunas dificultades: el condensado caliente es muy corrosivo, y las líneas de condensado deben conectarse con bastante cuidado. Los coeficientes de transferencia de calor asociados con la condensación de vapor son muy altos comparados con cualquier otro sistema.

#### **PROPÓSITOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer la operación de un intercambiador de tubos concéntricos.



2. A partir de las temperaturas de proceso, determinar las diferencias de temperatura media logarítmica para un arreglo a contracorriente y en paralelo para el sistema vapor – agua.
3. A partir de las temperaturas de proceso, determinar las diferencias de temperatura media logarítmica para un arreglo a contracorriente y en paralelo para el sistema agua fría – agua caliente.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Guantes de asbesto o lona.
2. Probeta de 2 L.
3. Cronómetro.

### Metodología

1. Purgar el sistema principal de vapor\*.
2. Purgar el intercambiador de tubos concéntricos\*.
3. Arrancar el sistema de recirculación de agua del Laboratorio de Ingeniería Química para suministrar agua fría al intercambiador\*.
4. Realizar el arreglo de válvulas correspondiente para operar las horquillas del intercambiador a contracorriente\*.
5. Abrir las válvulas de vapor y verificar la presión del mismo.
6. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
7. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso para el sistema vapor – agua.
8. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso para el sistema agua fría – agua caliente.
9. Cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
10. Cambiar el arreglo de válvulas correspondientes para operar las horquillas del intercambiador en paralelo\*.
11. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
12. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso para el sistema vapor – agua.
13. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso para el sistema agua fría – agua caliente.
14. Cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
15. Cerrar las válvulas de suministro de vapor y agua fría.
16. Purgar el equipo, purgar el sistema principal de vapor y limpiar toda el área de trabajo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.



## RESULTADOS

Los datos experimentales se deberán presentar en las siguientes tablas:

<b>Sistema vapor – agua / Arreglo a contracorriente</b>				
<b>Temperatura fluido caliente (vapor)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua)</b>	
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Presión (kgf/in<sup>2</sup>)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>

<b>Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo a contracorriente</b>				
<b>Temperatura fluido caliente (vapor)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua)</b>	
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Presión (kgf/in<sup>2</sup>)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>

<b>Sistema vapor – agua / Arreglo en paralelo</b>				
<b>Temperatura fluido caliente (vapor)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua)</b>	
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Presión (kgf/in<sup>2</sup>)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>

<b>Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo en paralelo</b>				
<b>Temperatura fluido caliente (vapor)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua)</b>	
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Presión (kgf/in<sup>2</sup>)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>

Utilizando los datos experimentales obtener:

1. La diferencia de temperaturas media logarítmica para el sistema vapor – agua en arreglo a contracorriente.
2. La diferencia de temperaturas media logarítmica para el sistema agua fría – agua caliente en arreglo a contracorriente.
3. La diferencia de temperaturas media logarítmica para el sistema vapor – agua en arreglo en paralelo.
4. La diferencia de temperaturas media logarítmica para el sistema agua fría – agua caliente en arreglo en paralelo.
5. Determinar el porcentaje de variación entre las diferencias de temperaturas medias logarítmicas de ambos sistemas.



## **PRÁCTICA NÚMERO 9**

### **“DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y FACTOR DE OBSTRUCCIÓN EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo en equipo, sean capaces de operar el intercambiador de calor de tubos concéntricos, y puedan relacionar los conocimientos teóricos con los experimentales para calcular el coeficiente global de transferencia de calor y el factor de obstrucción, utilizando hojas de cálculo; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

Un intercambiador de doble tubo consiste en dos tubos concéntricos; generalmente, el fluido que debe enfriarse se introduce en la tubería interna mientras que el fluido a calentarse se introduce en la sección anular (tubería externa). Cuando el intercambiador se arregla en dos pasos a la unidad se le conoce como horquilla.

Un intercambiador de calor de tubos concéntricos puede operar en dos arreglos: en paralelo y a contracorriente. En el arreglo en paralelo, las corrientes fría y caliente entran en la misma dirección, mientras que en el arreglo a contracorriente las corrientes fría y caliente entran en dirección opuesta, por lo tanto, las temperaturas de salida de los fluidos en los arreglos antes mencionados son distintas.

Los coeficientes de transferencia de calor requeridos para cumplir con las condiciones del proceso se determinan a partir de los siguientes requerimientos: números adimensionales (Reynolds, Nusselt y Prandtl), ecuación de Fourier, superficie de transferencia de calor y diferencia de temperaturas media logarítmica. A partir de los coeficientes de transferencia de calor (coeficiente limpio y de diseño), se obtiene el factor de obstrucción, el cual es muy importante ya que considera la resistencia a la transferencia de calor ocasionada por la acumulación de lodos o incrustaciones en las paredes del tubo interior del equipo.

#### **PROPÓSITOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer la operación de un intercambiador de calor de tubos concéntricos.
2. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos, Transferencia de Calor, Fenómenos de Transporte, Balance de Materia y Energía y Termodinámica.



3. Determinar la diferencia de temperaturas media logarítmica para un arreglo a contracorriente y para un arreglo en paralelo utilizando las temperaturas de proceso.
4. Determinar los coeficientes de Transferencia de Calor (coeficiente limpio y de diseño) y el factor de obstrucción del equipo.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Guantes de asbesto o lona.
2. Probeta de 2 L.
3. Cronómetro.

### Metodología

1. Purgar el sistema principal de vapor\*.
2. Purgar el intercambiador de tubos concéntricos\*.
3. Arrancar el sistema de recirculación de agua del Laboratorio de Ingeniería Química para suministrar agua fría al intercambiador\*.
4. Realizar el arreglo de válvulas correspondiente para operar la primera horquilla a contracorriente\*.
5. Realizar el arreglo de válvulas correspondiente para operar la segunda horquilla a contracorriente\*.
6. Abrir las válvulas de vapor y verificar la presión del mismo.
7. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
8. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso de la segunda horquilla del intercambiador para el sistema agua fría – agua caliente.
9. Cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
10. Cambiar el arreglo de válvulas correspondientes para operar la segunda horquilla en paralelo\*.
11. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
12. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso de la segunda horquilla del intercambiador para el sistema agua fría – agua caliente.
13. Cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
14. Cerrar las válvulas de suministro de vapor y agua fría.
15. Purgar el equipo, purgar el sistema principal de vapor y limpiar toda el área de trabajo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales se deberán presentar en las siguientes tablas:



<b>Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo a contracorriente / 2da horquilla</b>					
<b>Temperatura fluido caliente (agua caliente)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua fría)</b>		
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>

<b>Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo en paralelo / 2da horquilla</b>					
<b>Temperatura fluido caliente (agua caliente)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua fría)</b>		
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>

Utilizando los datos experimentales obtener:

1. La diferencia de temperaturas media logarítmica para el sistema agua fría – agua caliente en arreglo a contracorriente.
2. La diferencia de temperaturas media logarítmica para el sistema agua fría – agua caliente en arreglo en paralelo.
3. Los coeficientes de transferencia de calor del equipo (limpio y de diseño) para cada arreglo.
4. Los factores de obstrucción del equipo para cada arreglo.
5. Investigar los coeficientes de diseño para un intercambiador de tubos concéntricos con una geometría similar al equipo del Laboratorio de Ingeniería Química y que maneje el mismo sistema, es decir, agua fría – agua caliente.
6. Realizar una comparación entre los resultados obtenidos para cada arreglo.



## **PRÁCTICA NÚMERO 10**

### **“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN MATEMÁTICA QUE DESCRIBA EL COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL INTERCAMBIADOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS PARA EL SISTEMA AGUA FRÍA – AGUA CALIENTE”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo en equipo, operen el intercambiador de calor de tubos concéntricos y sean capaces de relacionar conocimientos teóricos con datos obtenidos experimentalmente, para calcular el coeficiente convectivo de Transferencia de Calor del sistema agua fría – agua caliente, utilizando hojas de cálculo; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

La Transferencia de Calor por convección se debe al movimiento del fluido, el fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica; existen resistencias a la transferencia de calor en la superficie de los tubos, en el caso de un intercambiador de calor de tubos concéntricos la resistencia a la transferencia de calor más importante es la que se presenta en las paredes interior y exterior del tubo interior; los recíprocos de dichas resistencias se llaman coeficientes de película.

Un coeficiente de película es una medida del flujo de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura, éste depende de las propiedades físicas del fluido y del gradiente de temperatura, principalmente. Considerando las diferentes variables y que cada una tiene su propio grado de influencia en la razón de transferencia de calor, es difícil que exista una expresión que permita el cálculo directo de los coeficientes de película. Se puede trabajar con un método de correlación mediante el cual, con datos experimentales, se obtengan relaciones que mantengan su validez para cualquier otra combinación de variables. Existen cuatro métodos disponibles para el cálculo de coeficientes de Transferencia de Calor por convección:

1. Análisis dimensional combinado con experimentos.
2. Soluciones matemáticas exactas de las ecuaciones de capa frontera.
3. Análisis aproximado de la capa frontera por métodos integrales.
4. Analogía entre la transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento.



## PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la operación de un intercambiador de tubos concéntricos.
2. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Flujo de Fluidos, Transferencia de Calor, Fenómenos de Transporte, Balance de Materia y Energía y Termodinámica.
3. Determinar los números de Reynolds, Nusselt, Prandtl, entre otros (en caso de ser necesarios), para los arreglos a contracorriente y en paralelo.
4. Elegir al menos dos correlaciones matemáticas para obtener los coeficientes convectivos de transferencia de calor, de acuerdo a las condiciones de operación del equipo.
5. Realizar una comparación entre los coeficientes convectivos calculados a partir de diferentes correlaciones matemáticas.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Guantes de asbesto o lona.
2. Probeta de 2 L.
3. Cronómetro.

### Metodología

1. Purgar el sistema principal de vapor\*.
2. Purgar el intercambiador de tubos concéntricos\*.
3. Arrancar el sistema de recirculación de agua del Laboratorio de Ingeniería Química para suministrar agua fría al intercambiador\*.
4. Realizar el arreglo de válvulas correspondiente para operar la primera horquilla a contracorriente\*.
5. Realizar el arreglo de válvulas correspondiente para operar la segunda horquilla a contracorriente\*.
6. Abrir las válvulas de vapor y verificar la presión del mismo.
7. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
8. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso de la segunda horquilla del intercambiador para el sistema agua fría – agua caliente.
9. Cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
10. Cambiar el arreglo de válvulas correspondientes para operar la segunda horquilla en paralelo\*.
11. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
12. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso de la segunda horquilla del intercambiador para el sistema agua fría – agua caliente.
13. Cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
14. Cerrar las válvulas de suministro de vapor y agua fría.
15. Purgar el equipo, purgar el sistema principal de vapor y limpiar toda el área de trabajo\*.



\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales se deberán presentar en las siguientes tablas:

<b>Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo a contracorriente / 2da horquilla</b>					
<b>Temperatura fluido caliente (agua caliente)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua fría)</b>		
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>

<b>Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo en paralelo / 2da horquilla</b>					
<b>Temperatura fluido caliente (agua caliente)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua fría)</b>		
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>

Utilizando los datos experimentales calcular:

1. Los números adimensionales (Reynolds, Nusselt, Prandtl, entre otros) para elegir una correlación empírica.
2. Los coeficientes de película de ambos fluidos, utilizando al menos dos correlaciones, para cada uno de los arreglos (a contracorriente y en paralelo).
3. El porcentaje de variación entre los coeficientes de película calculados.
4. Porcentaje de variación entre los coeficientes de película calculados en esta Práctica y la Práctica anterior.



## **PRÁCTICA NÚMERO 11**

### **“CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR SIN CAMBIO DE FASE EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS”**

#### **PROPÓSITO GENERAL**

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo en equipo, y la operación del intercambiador de calor de coraza y tubos, sean capaces de relacionar conocimientos teóricos con datos obtenidos experimentalmente, para calcular el coeficiente de transferencia de calor para un sistema agua fría – agua caliente, utilizando hojas de cálculo; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### **INTRODUCCIÓN**

Cuando en un proceso industrial se requieren superficies grandes de Transferencia de Calor, se utiliza un intercambiador que consiste de un haz de tubos contenidos dentro de un recipiente, coraza o carcasa. El equipo de coraza y tubos involucra la expansión de un tubo en un espejo y la formación de un sello que no fuga bajo condiciones razonables de operación, es decir, las terminales de los tubos se encuentran montadas sobre una placa, que se conoce como espejo; los tubos que conforman el haz pueden tener diferentes arreglos, arreglo en cuadro y arreglo triangular. Los intercambiadores de coraza y tubos pueden ser con cabezal de tubos estacionario, o con cabezal de tubos fijos, entre otros. Los intercambiadores más comunes son 1-2 (un paso por la coraza y dos pasos por los tubos), se pueden tener intercambiadores de más de un paso por la coraza y más de dos pasos por los tubos (2-4, 3-6, etc.), o bien, dos o más intercambiadores 1-2 conectados en serie.

Solo en los intercambiadores de calor de coraza 1-1 se trabaja a contracorriente o en paralelo, en el resto de los tipos (1-2, 2-4, otros), se presentan los dos arreglos, lo que hace necesario una corrección en el valor de la diferencia de temperaturas media logarítmica del equipo.

Los coeficientes globales de Transferencia de Calor requeridos para cumplir con las condiciones del proceso, se deben determinar a partir de números adimensionales (Reynolds, Nusselt, Prandtl, entre otros) y la ecuación de Fourier. A partir de los coeficientes de Transferencia de Calor (limpio y de diseño), se obtiene el factor de obstrucción, este factor es muy importante en el diseño de intercambiadores ya que es necesario considerar la resistencia a la Transferencia de Calor ocasionada por la acumulación de lodos o incrustaciones en las paredes de los tubos.



## PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la operación de un intercambiador de coraza y tubos.
2. Determinar los coeficientes de transferencia de calor convectivos para el lado de la coraza y para el lado de los tubos para el sistema agua fría – agua caliente.
3. Determinar los coeficientes globales de transferencia de calor limpio y de diseño del equipo para un arreglo a contracorriente y para un arreglo en paralelo.
4. Determinar los factores de obstrucción del equipo para cada arreglo.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Guantes de asbesto o lona.
2. Probeta de 2 L.
3. Cronómetro.

### Metodología

Es importante mencionar que el intercambiador de coraza y tubos está conformado por tres intercambiadores 1-3 conectados en serie, sin embargo, debido a que no están completamente instrumentados, solo se trabajará con el primer intercambiador, el cual puede operar a contracorriente o en paralelo.

1. Purgar el sistema principal de vapor\*.
2. Purgar el reactor y su chaqueta de enfriamiento / calentamiento\*.
3. Purgar el intercambiador de coraza y tubos\*.
4. Llenar con agua el reactor de 250 L (aproximadamente al 90 %); una vez lleno, suministrar vapor a la chaqueta para elevar la temperatura del agua hasta 90 °C\*.
5. Mantener la temperatura del agua del reactor a 90 °C, regulando el flujo de vapor que entra a la chaqueta.
6. Arrancar el sistema de recirculación de agua del Laboratorio de Ingeniería Química para suministrar agua fría al intercambiador\*.
7. Realizar el arreglo de válvulas correspondientes para operar el intercambiador de coraza y tubos a contracorriente\*.
8. El agua caliente es suministrada del reactor, para esto realizar el arreglo de válvulas correspondientes de la línea que conecta al reactor con el intercambiador y poner en funcionamiento la bomba centrífuga\*.
9. Esperar unos segundos para que el sistema se estabilice.
10. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso del intercambiador de coraza y tubos para el sistema agua fría – agua caliente.
11. Al mismo tiempo de la toma de temperaturas de proceso, cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
12. Tener cuidado que el reactor no se vacíe por completo, ya que si esto pasa no habrá suministro de fluido caliente al intercambiador y se puede averiar la bomba centrífuga.



13. Apagar la bomba centrífuga.
14. Volver a llenar con agua el reactor de 250 L (aproximadamente al 90 %), calentar con vapor hasta 90 °C y mantener a dicha temperatura regulando el suministro de vapor a la chaqueta.
15. Cambiar el arreglo de válvulas correspondientes para operar el intercambiador de coraza y tubos en paralelo\*.
16. Alimentar agua caliente al intercambiador de coraza y tubos, procedente del reactor.
17. Esperar unos segundos para que el sistema se estabilice.
18. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso del intercambiador de coraza y tubos para el sistema agua fría – agua caliente.
19. Al mismo tiempo de la toma de temperaturas de proceso, cuantificar el volumen de agua caliente que sale del intercambiador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
20. Tener cuidado que el reactor no se vacíe por completo, ya que si esto pasa no habrá suministro de fluido caliente al intercambiador y se puede averiar la bomba centrífuga.
21. Apagar la bomba centrífuga.
22. Cerrar las válvulas de suministro de agua fría y agua caliente.
23. Purgar el equipo, purgar el sistema principal de vapor y limpiar toda el área de trabajo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales se deberán de presentar en las siguientes tablas:

Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo a contracorriente				
Temperatura fluido caliente (agua caliente)			Temperatura fluido fría (agua fría)	
Entrada (°C)	Salida (°C)	Caudal (L/s)	Entrada (°C)	Salida (°C)

Sistema agua fría – agua caliente / Arreglo en paralelo				
Temperatura fluido caliente (agua caliente)			Temperatura fluido fría (agua fría)	
Entrada (°C)	Salida (°C)	Caudal (L/s)	Entrada (°C)	Salida (°C)

Utilizando los datos experimentales calcular:

1. La diferencia de temperaturas media logarítmicas.
2. Los coeficientes globales de transferencia de calor (limpio y de diseño) para cada arreglo, es decir, a contracorriente y en paralelo.



3. La diferencia entre los coeficientes de diseño calculados con los reportados en la bibliografía para el sistema propuesto.
4. La diferencia entre los factores de obstrucción calculados con los reportados en la bibliografía para el sistema propuesto.



## PRÁCTICA NÚMERO 12

### “CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON CAMBIO DE FASE EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS”

#### PROPÓSITO GENERAL

El objetivo de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo en equipo, y la operación del intercambiador de calor de coraza y tubos sean capaces de relacionar conocimientos teóricos con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular el coeficiente de Transferencia de Calor de un condensador utilizando un sistema vapor – agua fría, utilizando hojas de cálculo; manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

#### INTRODUCCIÓN

En la industria química es práctica común separar una mezcla de líquidos destilando los componentes de bajo punto de ebullición de aquellos que tienen alto punto de ebullición. Los intercambiadores de calor que tienen como objetivo fundamental el cambiar una fase vapor a una fase líquida mediante enfriamiento, se les denomina condensadores; mientras que un intercambiador de calor diseñado especialmente para suministrar calor latente a un fluido se le conoce como vaporizador, y si el vapor formado es vapor de agua se le llama evaporador.

El vapor como medio de calentamiento presenta algunas dificultades ya que su condensado es muy corrosivo, y se debe tener cuidado al conectar sus líneas para evitar fugas; sin embargo, en los procesos se considera al vapor de agua como un fluido de servicio por excelencia, esto debido a que los coeficientes de Transferencia de Calor asociados con su condensación son muy altos comparados con cualquier otro fluido. Por tal motivo, es común establecer un valor para el coeficiente de película de  $1500 \text{ Btu}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}^{-1}$ . Generalmente, se conecta el vapor a los tubos del intercambiador en lugar de a la coraza, ya que, si existe daño por la corrosión, es más barato cambiar el haz de tubos que la coraza.

#### PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la operación de un intercambiador de coraza y tubos.
2. Determinar los coeficientes de Transferencia de Calor convectivos del lado de la coraza y del lado de los tubos para el sistema vapor – agua fría.
3. Determinar los coeficientes globales de Transferencia de Calor (limpio y de diseño) para un arreglo en contracorriente.
4. Determinar el factor de obstrucción del equipo para un arreglo a contracorriente.



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Material

1. Guantes de asbesto o lona.
2. Probeta de 2 L.
3. Cronómetro.

### Metodología

Es importante mencionar que el intercambiador de coraza y tubos está conformado por tres intercambiadores 1-3 conectados en serie, sin embargo, debido a que no están completamente instrumentados, solo se trabajará con el primer intercambiador, el cual puede operar a contracorriente o en paralelo.

El vapor de agua fluye a través de los tubos y el agua fría a través de la coraza, el fluido caliente proviene de la línea de vapor, que a su vez está conectada de manera directa a la caldera de la Unidad “El Cerrillo”.

1. Purgar el sistema principal de vapor\*.
2. Purgar el intercambiador de coraza y tubos\*.
3. Arrancar el sistema de recirculación de agua del Laboratorio de Ingeniería Química para suministrar agua fría al intercambiador\*.
4. Realizar el arreglo de válvulas correspondientes para operar el intercambiador de coraza y tubos a contracorriente\*.
5. Realizar el arreglo de válvulas correspondientes en la línea de vapor para alimentar al intercambiador\*.
6. Esperar unos minutos para que el sistema se estabilice.
7. Tomar varias lecturas de las temperaturas de proceso del intercambiador de coraza y tubos para el sistema vapor – agua fría, y tomar el mismo número de lecturas de la presión de vapor a la entrada del intercambiador
8. Al mismo tiempo de la toma de temperaturas de proceso, cuantificar el volumen de fluido caliente que sale del condensador en un tiempo determinado (realizar esto al menos en 5 ocasiones).
9. Cerrar las válvulas de suministro de agua fría y agua caliente.
10. Purgar el condensador, purgar el sistema principal de vapor y limpiar toda el área de trabajo\*.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

## RESULTADOS

Los datos experimentales se deberán de presentar en la siguiente tabla:



<b>Sistema vapor – agua fría</b>				
<b>Temperatura fluido caliente (vapor)</b>			<b>Temperatura fluido fría (agua)</b>	
<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Entrada (°C)</b>	<b>Salida (°C)</b>

Utilizando los datos experimentales calcular:

1. La diferencia de temperaturas media logarítmicas para el arreglo a contracorriente.
2. Los coeficientes de Transferencia de Calor convectivos.
3. Los coeficientes globales de Transferencia de Calor (limpio y de diseño).
4. El factor de obstrucción para el arreglo a contracorriente.



## PRÁCTICA NÚMERO 13 “CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN SÓLIDOS”

### PROPÓSITO GENERAL

El propósito de esta práctica es que los estudiantes de la Unidad de Aprendizaje (UA) del Laboratorio de Operaciones Unitarias I, mediante trabajo individual y en equipo, y la operación del equipo de conducción térmica, sean capaces de relacionar conocimientos teóricos de Fenómenos de Transporte y Transferencia de Calor con los datos obtenidos experimentalmente, para calcular la conductividad térmica de muestras en flujo axial y radial; y comparar los resultados obtenidos con los valores reportados en la literatura. Manteniendo una visión de respeto orientada a la calidad en el trabajo, la perseverancia y la tolerancia, así como la disposición de aprender a aprender.

### INTRODUCCIÓN

La ley de Fourier se aplica para calcular la conducción del flujo de calor en sistemas unidimensionales simples, estos son aquellos donde existen gradientes de temperatura a lo largo de una sola dirección coordenada, además, el sistema puede caracterizarse por condiciones de estado estacionario, es decir, la temperatura en cada punto es independiente del tiempo.

Los sistemas cilíndricos y esféricos a menudo experimentan gradientes de temperatura sólo en la dirección radial, y, por consiguiente, se tratan como unidimensional. En un cilindro cuya longitud sea muy grande comparada con su diámetro, se puede suponer que el calor fluye solo en dirección radial, con lo que la única coordenada espacial necesaria para definir la temperatura es el radio  $r$ .

$$q = -kA \frac{dT}{dr}$$

Siendo  $q$  el flujo de calor en unidades de energía por unidad de tiempo,  $r$  el radio en unidades de longitud,  $T$  la temperatura en cualquier punto del radio,  $k$  la conductividad térmica del material en unidades de energía por unidad de tiempo por unidad de longitud por unidad de temperatura y  $A$  el área para el flujo de calor en unidades de longitud al cuadrado.

Para un flujo axial, también se puede considerar un flujo de calor unidimensional, por lo que la expresión anterior también es válida, modificando al sistema de coordenadas correspondiente. A pesar de la simplicidad de los modelos unidimensionales, estos representan de forma precisa numerosos sistemas de ingeniería.



## PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la operación del equipo de conductividad térmica.
2. Reconocer la relación que se da entre las UA's de Transferencia de Calor y Fenómenos de Transporte.
3. Determinar la conductividad térmica del acero inoxidable y del latón en un flujo de Transferencia de Calor axial.
4. Determinar la conductividad térmica del acero inoxidable y del latón en un flujo de Transferencia de Calor radial.
5. Comparar los valores obtenidos con los reportados en la bibliografía.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Metodología

1. Encender la PC y activar el programa PTC010\*.
2. Seleccionar la dirección con la que se desea trabajar, flujo axial o radial\*.
3. Seleccionar el número de la muestra\*.
4. Recolectar los datos, esto puede ser puntual o en forma continua.
5. Una vez terminada la recolección de datos, dar clic en el botón de salida.
6. Apagar la PC.
7. Limpiar el área de trabajo.

\* Seguir las instrucciones del profesor.

Los datos técnicos de las muestras son:

Dato	Valor
Muestra 1, cilindro de latón	Diámetro: 25 mm, Longitud: 30 mm
Muestra 2, cilindro de latón	Diámetro: 15 mm, Longitud: 30 mm
Muestra 3, cilindro de acero inoxidable	Diámetro: 25 mm, Longitud: 30 mm
Muestra 4, placa de latón	Diámetro: 110 mm, Longitud: 3 mm

## RESULTADOS

Los datos experimentales para flujo de calor axial deberán presentarse en la siguiente tabla:

% potencia suministrada	Diferencia de potencial (V)	Intensidad de corriente (A)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	T <sub>7</sub> (°C)	T <sub>8</sub> (°C)	T <sub>9</sub> (°C)
50											
75											
100											

Los datos experimentales para conducción radial deberán presentarse en la siguiente tabla:



% potencia suministrada	Diferencia de potencial (V)	Intensidad de corriente (A)	T <sub>10</sub> (°C)	T <sub>11</sub> (°C)	T <sub>12</sub> (°C)	T <sub>13</sub> (°C)	T <sub>14</sub> (°C)	T <sub>15</sub> (°C)
50								
75								
100								

Con los datos experimentales calcular:

1. Conductividad térmica del acero inoxidable y del latón en flujo de Transferencia de Calor axial.
2. Conductividad térmica del acero inoxidable y del latón en flujo de Transferencia de Calor radial.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BÁSICA

1. McCabe, W. L.; Smith, J. C.; Harriott, P. (2007). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 7ma edición. McGraw-Hill Education.
2. Crane, C. (2009). Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe. McGraw-Hill.
3. Valiente, A. (2002). Problemas de Flujo de Fluidos. 2da edición. México D. F. Limusa Noriega Editores.
4. Geankoplis, C. J. (2014). Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación. 4ta edición. Grupo Editorial Patria.
5. Kern, D. Q. (2013). Procesos de Transferencia de Calor. Pub. Cultural/Grupo Editorial Patria.
6. Holman, J. P. (2010). Heat Transfer. 10th edition. New York. McGraw-Hill Higher Education.
7. Cengel, Y. A. y A. Ghajar. (2011). Transferencia de Calor y Masa. 4ta edición. McGraw-Hill Education.
8. Welty, J. R. (2002). Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa. 2da edición. Limusa-Wiley.
9. Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. México. Prentice-Hall.
10. Volk, M. (2014). Pump Characteristics and Applications. 3rd edition. United States. CRC Press (Taylor & Francis Group).

### COMPLEMENTARIA

1. Green, D. W. y R. H. Perry. (2007). Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8th Edition. McGraw-Hill Education.
2. Incropera, F. P. (2006). Introduction to Heat Transfer. 5th edition. John Wiley and Sons Inc.
3. Hollman, J. P. (1998). Transferencia de Calor. 8va edición. Madrid. McGraw-Hill Interamericana.
4. Bergman, T. L. et. al. (2011). Introduction to Heat Transfer. 6th edition. John Wiley and Sons Inc.
5. Dean, J. A. (1998). Lange's Handbook of Chemistry. 15th edition. McGraw-Hill.
6. McNaughton, K. J. (1999). Bombas: Selección, Uso y Mantenimiento. México. McGraw-Hill.



## EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

El alumno tendrá derecho a presentar las evaluaciones correspondientes, con base a los lineamientos establecidos en el Reglamento Interno de la Facultad de Química; asimismo, deberán ser acatados los criterios de ponderación acordados en el Área Curricular de Ingeniería. El estudiante debe ser puntual a cada actividad académica considerada dentro de la Unidad de Aprendizaje, mostrar un comportamiento adecuado en cada sesión y cumplir con el 80% de asistencia.

La evaluación del curso se integra de la siguiente forma:

Evaluación	Valor ponderado
Primer Examen Parcial	5.0 puntos
Segundo Examen Parcial	5.0 puntos
Promedio de Exámenes Parciales	10.0 puntos

Si el alumno en esta ponderación alcanza una calificación igual o mayor a 8.0 (ocho puntos), estará exento de presentar el Examen Final; si la evaluación obtenida en esta ponderación es menor de 8.0 (ocho puntos), el alumno tendrá que presentar el Examen Final.

Examen Final	100%
--------------	------

Si el Promedio de Exámenes Parciales es menor a 6.0 (seis puntos), el alumno no tendrá derecho a presentar Examen Final y tendrá que recurrir a la Unidad de Aprendizaje.

Primera Evaluación Parcial		Segunda Evaluación Parcial		Examen Final	
Reporte de prácticas	50%	Reporte de prácticas	50%	Examen	100%
Desempeño en el laboratorio	10%	Desempeño en el laboratorio	10%		
Examen	40%	Examen	40%		
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>Total</b>	<b>100%</b>

La calificación de los diferentes rubros que conforman la evaluación de la Unidad de Aprendizaje se realizará con base en rúbricas.



## ANEXOS

### LINEAMIENTO DE LABORATORIOS FACULTAD DE QUÍMICA



Lineamientos de Laboratorios

Facultad de Química  
Subdirección Administrativa  
Coordinación de Laboratorios

Versión Vigente No.	01	Fecha:	30/06/2016
---------------------	----	--------	------------

#### 1. Propósito

Establecer los lineamientos para salvaguardar la vida, salud e integridad de la comunidad así como el cuidado de las instalaciones, dentro de los laboratorios de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

#### 2. Alcance

El presente lineamiento es aplicable a los laboratorios de la Facultad de Química, en sus tres unidades: Colón, Cerrillo y Rosedal, donde se realice trabajo experimental, sea de docencia, servicios o de investigación. Estos sitios, para efectos del presente documento, serán denominados "laboratorios" y su observancia es obligatoria para personal académico (docentes, investigadores y jefes de departamento), administrativos, alumnos y visitantes.

#### 3. Normas de disciplina y organización

- Durante la estancia en el laboratorio, independiente de la actividad que se realice y por seguridad de la comunidad de la Facultad de Química, TODA PERSONA debe de utilizar: bata de manga larga (preferentemente de algodón y abrochada), cabello recogido y zapato cerrado.
- Queda prohibido: introducir y/o consumir alimentos y/o bebidas, fumar, mascar chicle, usar lentes de contacto, perforaciones faciales (pearcings), zapatos altos de tacón, sandalias o zapato abierto, utilizar audífonos, gorra, correr, empujar y jugar dentro del laboratorio.
- Al escuchar la sirena de alarma de la Facultad o voz de emergencia, inmediatamente cerrar las llaves de gas, aire, agua, vacío, apagar todo equipo eléctrico, atender las instrucciones de los brigadistas y de manera ordenada y rápida salir del laboratorio (no correr, no gritar y no empujar), siguiendo los señalamientos de ruta de evacuación para dirigirse al punto de reunión.
- Nunca deberá estar una persona sola trabajando en los laboratorios, mínimo deberán de estar dos personas; una de ellas deberá ser el docente responsable.
- En periodos vacacionales se deberá solicitar vía oficio la autorización para el ingreso a los laboratorios; especificando el día y el horario con el Vo.Bo. del docente responsable. Es importante mencionar que el profesor responsable deberá estar presente en la fecha y horario indicados en el oficio.



### Con aplicación especial en las prácticas de docencia

- Los reactivos con los que se cuenten en los laboratorios de docencia son para uso exclusivo de las prácticas, no deberán ser utilizados para proyectos de posgrado o de investigación.
- El documento Manual de prácticas de laboratorio de la asignatura deberá ser entregado con una anticipación de 30 días a la coordinación de laboratorios (en forma física o electrónica) para poder hacer uso de las instalaciones.
- Es obligación del docente la actualización del documento Manual de prácticas de Laboratorio de su asignatura.
- En las situaciones de las prácticas dirigidas a "Proyectos" se deberá establecer una lista de los reactivos a los cuales los estudiantes tendrán acceso para su experimentación, la cual no se podrá modificar durante el semestre y se tendrán que adaptar los proyectos a esta.
- El desarrollo de prácticas de laboratorio debe realizarse en presencia del docente titular de la práctica. Quedando prohibido que los estudiantes permanezcan sin supervisión durante esta.
- Para utilizar los reactivos, el personal académico deberá solicitarlo al personal técnico de laboratorio, entregando una identificación actualizada (Credencial de elector o de la Facultad).



# MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6	PERIODO 7	PERIODO 8	PERIODO 9
Materia, Estructura y Propiedades 3 Química Orgánica 3 Química Analítica 3 Química Inorgánica 4 Química Orgánica de Halógenos y Oxígeno 2 Termodinámica 4 Electromagnetismo 4 Mecánica 4 Álgebra Lineal 4 Cálculo Diferencial e Integral 4 Ciencia, Tecnología y Sociedad 4 Laboratorio Básico de Química 3	Química Orgánica Analítica y Adinámica 5 Termodinámica 4 Electromagnetismo 4 Química Orgánica Analítica 4 Química Orgánica de Halógenos y Oxígeno 2 Termodinámica 4 Fisicoquímica de Sistemas Coloidales 4 Cálculo Avanzado 4 Biología 4	Química Analítica 5 Química Orgánica de Halógenos y Oxígeno 2 Termodinámica Aplicada 4 Fisicoquímica de Sistemas Coloidales 4 Ecuaciones Diferenciales 4 Métodos Numéricos 4 Inglés 5 2 Optativa 2, Básico 3	Química Analítica Instrumental 5 Laboratorio Integral de Química Orgánica 3 Equilibrios Termodinámicos 4 Balance de Materia y Energía 3 Fenómenos de Transporte 3 Probabilidad y Diseño de Experimentos 3 Inglés 6 2 Optativa 1, Básico 3	Química Orgánica y Polímeros 5 Laboratorio de Fisicoquímica 4 Flujo de Fluidos 3 Cinética y Catalisis 3 Transferencia de Calor 3 Responsabilidad Social 3 Separaciones Mecánicas 4 Inglés 7 2 Optativa 1, Integral 3	Optativa 1, Integral de Acentuación 5 Ingeniería Económica 3 Laboratorio de Operaciones Unitarias I 4 Ingeniería de Reactores I 3 Transferencia de Masa I 4 Administración 3 Inglés 8 2 Optativa 1, Integral 3	Optativa 2, Integral de Acentuación 5 Proyectos 3 Ingeniería de Procesos 3 Laboratorio de Operaciones Unitarias II 4 Ingeniería de Reactores II 3 Transferencia de Masa II 4 Laboratorio de Ingeniería de Reactores 4 Inglés 8 2 Optativa 1, Integral 3	Optativa 3, Integral de Acentuación 5 Integración de Proyectos 4 Ingeniería de Calidad 3 Dinámica e Instrumentación 3 Ingeniería de Bioseparaciones 3 Diseño de Equipo 4 Relaciones Humanas 3 Optativa 2, Integral 3	Optativa 4, Integral de Acentuación 5 Sistema de Gestión 3 Liderazgo 3 Práctica Profesional 30

SIMBOLOGÍA	
HT: Horas Técnicas	29
HP: Horas Prácticas	86
TH: Horas Teóricas	118
CR: Créditos	118

12 Líneas de seriación*	
Optativo Núcleo Básico	6
Obligatorio Núcleo Básico	6
Obligatorio Núcleo Sustantivo	6
Obligatorio Núcleo Integral	6
Optativo Núcleo Básico	6
Optativo Núcleo Integral	6

PARAMETROS DEL PLAN DE ESTUDIOS	
Total del Núcleo Básico 21 UA para cubrir 130 créditos	6
Total del Núcleo Sustantivo 25 UA para cubrir 149 créditos	6
Total del Núcleo Integral 15 UA para cubrir 121 créditos	6
Total del Plan de Estudios	18
UA Obligatorias	54 UA = 1 Actividad Asesórica
UA Optativas	62 UA = 1 Actividad Académica
UA a Acreditarse	400
Créditos	400

SIMBOLOGÍA	
HT: 10	HT 15
HP: 16	HP 15
TH: 26	TH 20
CR: 36	CR 35

SIMBOLOGÍA	
HT: 17	HT 14
HP: 17	HP 17
TH: 33	TH 31
CR: 50	CR 45

SIMBOLOGÍA	
HT: 17	HT 13**
HP: 16	HP 12**
TH: 33	TH 25**
CR: 50	CR 44

SIMBOLOGÍA	
HT: 18**	HT 17**
HP: 16**	HP 7**
TH: 34**	TH 24**
CR: 38	CR 47

SIMBOLOGÍA	
HT: 10	HT 6**
HP: 16	HP 7**
TH: 26	TH 24**
CR: 36	CR 48

\* Unidades de Aprendizaje Integrativas Profesionales  
\* Carga horaria de UA. Optativa del Núcleo Integral de Acentuación





## RÚBRICA PARA EVALUAR REPORTE DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

	0.00	0.08	0.16	0.25
<b>PORTADA</b>	Faltan más de seis elementos / No se presenta.	Faltan de cuatro a seis elementos.	Falta de uno a tres elementos.	Presenta los nombres de la institución, organismo académico, unidad de aprendizaje y del profesor; título y número de la práctica; número de equipo; nombres de los integrantes y fecha de entrega del reporte.
<b>OBJETIVO</b>	No es cuantificable / No se presenta.	Es cuantificable, pero no es claro ni bien estructurado.	Es claro y cuantificable, pero no está bien estructurado.	Es claro, cuantificable y bien estructurado (comenzar con verbo en infinitivo, seguido del ¿cómo?, y finalizando con el ¿para qué?).
<b>MARCO DE REFERENCIA</b>	No hay claridad de los términos que tienen que ver con la experimentación y resultados, no se aborda la problemática desde una postura o enfoque, no hace uso de citas textuales y/o sobrepasa más de una cuartilla en extensión / No se presenta.	Claridad de los términos que tienen que ver con la experimentación y resultados, no se aborda la problemática desde una postura o enfoque, no hace uso de citas textuales con un solo tipo de referencias y/o sobrepasa más de una cuartilla en extensión.	Claridad de los términos que tienen que ver con la experimentación y resultados, se aborda la problemática planteada desde una postura o enfoque, no hace uso de citas textuales y/o sobrepasa más de una cuartilla en extensión.	Claridad de los términos que tienen que ver con la experimentación y resultados, se aborda la problemática planteada desde una postura o enfoque, se hace uso de citas textuales con un solo estilo de referencias. Máximo una sola cuartilla en extensión.
<b>DATOS EXPERIMENTALES</b>	No están presentes todos los datos obtenidos en la práctica, los datos parciales se reportan de manera desordenada a través de tablas, diagramas y gráficos. Los gráficos, diagramas y tablas no se presentan enumerados de manera secuencial y con títulos / No se presenta.	No están presentes todos los datos obtenidos en la práctica, los datos parciales se reportan de manera clara y ordenada a través de tablas, diagramas y gráficos. Los gráficos, diagramas y tablas se presentan enumerados de manera secuencial y con títulos.	Están presentes todos los datos obtenidos en la práctica, reportados de manera clara y ordenada a través de tablas, diagramas y gráficos. Los gráficos y tablas no se presentan enumerados de manera secuencial y con títulos.	Están presentes todos los datos obtenidos en la práctica, reportados de manera clara y ordenada a través de tablas, diagramas y gráficos. Los gráficos, diagramas y tablas se presentan enumerados de manera secuencial y con títulos.
<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>	Se presentan parcialmente los cálculos necesarios para lograr el cumplimiento de la práctica, carecen de orden, detalles y secuencia, y no todas las cantidades se reportan con unidades / No se presenta.	Se presentan parcialmente los cálculos necesarios para lograr el cumplimiento de la práctica de manera ordenada, detallada y secuencial, y no todas las cantidades se reportan con unidades.	Presenta todos los cálculos necesarios para lograr el cumplimiento de la práctica, pero de manera simplificada y no todas las cantidades se reportan con unidades.	Presenta todos los cálculos necesarios para lograr el cumplimiento de la práctica, de una manera ordenada, detallada y secuencial. Utiliza un sistema de unidades congruente con el planteamiento.
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	No presenta todos los resultados obtenidos en el protocolo y además carecen de descripción. No interpreta datos importantes y tampoco identifica tendencias, relaciones y diferencias / No se presenta.	No presenta todos los resultados establecidos en el protocolo y además carecen de descripción. Interpreta parcialmente datos importantes sin identificar tendencias, relaciones y diferencias.	Presenta todos los resultados establecidos en el protocolo de manera ordenada y con una breve descripción. Interpreta parcialmente datos importantes, sin identificar tendencias, relaciones y diferencias.	Presenta todos los resultados establecidos en el protocolo de manera ordenada y con una breve descripción. Interpreta, a partir de principios disciplinares, datos importantes, identificando tendencias, relaciones y diferencias.
<b>CONCLUSIONES</b>	No se describen los resultados y tampoco se explica el objetivo de la práctica. En caso de existir limitaciones en el estudio, no se proponen soluciones y aportaciones para mejorar la práctica.	Se describen los resultados sin llegar a explicar si se ha logrado el objetivo de la práctica. En caso de existir limitaciones en el estudio, no se proponen soluciones y aportaciones para mejorar la práctica.	Se describen los resultados sin llegar a explicar si se ha logrado el objetivo de la práctica. En caso de existir limitaciones en el estudio, se propone soluciones y aportaciones para mejorar la práctica.	Explican de manera precisa si, a través de los resultados, se logró el objetivo planteado. En caso de existir limitaciones en el estudio, se propone soluciones y aportaciones para mejorar la práctica.
<b>REFERENCIAS</b>	Ninguna de las fuentes utilizadas es relevante, lo que ocasiona incorrecta discusión de resultados. El documento no está referenciado.	Algunas de las fuentes que se utilizan son relevantes en la disciplina, lo que ocasiona una discusión parcial de resultados. Algunas de las secciones del documento se encuentran referenciadas y/o en diferentes estilos.	No todas las fuentes que se utilizan son relevantes en la disciplina, lo que ocasiona una discusión parcial de resultados. El documento se encuentra referenciado y en un solo estilo, or ejemplo: Harvard.	Todas las fuentes que se utilizan son relevantes en la disciplina, permiten la discusión de resultados a partir de un marco de referencia apropiado. El documento se encuentra referenciado y en un solo estilo, por ejemplo: Harvard.