



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA



**Ingeniería Química**  
**Ciclo Terminal**

**Laboratorio y Taller de Proyectos**  
**7º semestre**

**Fecha de aprobación por Comité de Mejora Continua: 23 de julio de 2024**

**Vigente hasta: 23 de julio de 2027**



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>2/ 162</b>

### **Profesores colaboradores en versión 3:**

M. en I. Arauz Torres Yennifer Paola  
I.Q. Cruz Martínez Eunice  
Q.F.B. De los Santos Mata Erik Abel  
Dr. Herrera Valencia Edtson Emilio  
M. en C. Laviás Hernández Pedro  
Dra. Maldonado Arellano Ana Lilia  
Dr. Pérez Camacho Mariano  
M. en C. Romero Pérez Alexis Marco Antonio  
I.B.Q. Tapia Torres Paulette  
I.Q. Sánchez Sánchez Abril Yanin  
I.Q. Varela Martínez Aldo Fernando  
I.Q. Hernández Fernández Andrea  
Dr. Verduzco Mora Luis Alberto  
M. en I. Viñas Reyes Elisa Blanca



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>3/ 162</b>

### Índice

Introducción .....	4
Objetivos de Laboratorio y Taller de Proyectos de 7º semestre.....	6
Objetivo Especifico.....	6
Objetivos Generales.....	6
Lineamientos de Laboratorio .....	6
Lineamientos de planta piloto.....	9
Manejo de residuos .....	12
Criterios de Evaluación.....	13
L-1 Estudio de un sistema de tres componentes en equilibrio .....	15
L-2 Sistema ternario de líquidos parcialmente miscibles.....	24
L-3 Análisis y operación de un sistema de destilación .....	33
L-4 Estudio de un sistema de equilibrio Líquido - Vapor .....	43
L-5 Análisis de un sistema de secado .....	58
L-6 Determinación del calor de combustión .....	65
L-7 Determinación de volúmenes molares parciales.....	73
L-8 Determinación del calor de difusión .....	85
L-9 Determinación de coeficientes de difusión .....	93
P-1 Análisis hidrodinámico de una torre de burbujeo.....	114
P-2 Análisis de una torre de enfriamiento .....	125
P-3 Destilación binaria en una torre empacada.....	135
P-4 Destilación diferencial con rectificación en una columna empacada .....	152
Anexos .....	162



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>4/ 162</b>

### Introducción

Actualmente el Ingeniero Químico ha evolucionado cada vez más en el diseño de nuevos productos derivados de las diversas tecnologías de procesos sostenibles. Toda esta visión inicia con la experimentación, el manejo y operación de equipos de procesos a niveles de laboratorio y de planta piloto preparándolo para visualizar y enfrentar los diversos factores o problemas a los que deberá dar solución en diversas áreas de producción. En muchas formas, el Ingeniero Químico es el lazo de unión entre la ciencia y la sociedad, dicho de otra manera, debe hacer útil el conocimiento científico que tiene para explicar porque los materiales y la energía se comportan como lo hacen, y también debe conocer las formas prácticas de aplicar el uso racional de estos elementos.

Por otra parte, debe reunir las características de tener voluntad, ética y responsabilidad social para llegar a fines prácticos y poder actuar acertadamente con la mínima información posible, debe ser capaz de analizar, sintetizar y programar actividades con el objetivo de cumplir en el menor tiempo con las tareas asignadas.

Por lo anterior el presente manual busca redefinir la identidad de los estudiantes del módulo procesos de separación, correspondiente al 7º semestre de la carrera de Ingeniería química, aplicando los conocimientos adquiridos durante los semestres que ha cursado, así como de integrar los conocimientos de las asignaturas teóricas impartidas en el presente módulo. El proceso de la enseñanza y aprendizaje se orienta al desarrollo de las habilidades intelectuales y psicomotrices, que promueven la orientación y asesoría por parte de los docentes, cultivando la investigación y el análisis en los estudiantes.

En este manual de laboratorio de séptimo semestre es un esfuerzo de décadas de trabajo en las materias de balances de materia, termodinámica, fisicoquímica, fenómenos de transporte en su parte de transferencia de masa.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>5/ 162</b>

La parte central de la carrera de ingeniería química está relacionada con el intercambio de materia y los procesos energéticos mediante balances de materia y balances macroscópicos de energía. Por otra parte, el intercambio de energía debe basarse en las leyes de la termodinámica clásica en donde el tiempo no es una variable importante. En una situación física realista, los procesos involucran balances de materia, energía, cambios de fase, destilación e intercambio de masa con los alrededores respectivamente. El análisis y la comprensión de estos fenómenos y principios permiten su aplicación en nuevos materiales, fluidos complejos y sistemas con muchos grados de libertad como son las macromoléculas conocidas como polímeros, sistemas micelares utilizados en la recuperación terciaria del petróleo, liberado de fármacos en la sangre etc.

En este contexto, el LTP de 7º consta de 9 prácticas de laboratorio y 4 prácticas de planta piloto. En estos protocolos desarrollados por el conjunto de profesores correspondientes a séptimo semestre, se desarrollaron las competencias sobre operaciones unitarias básicas como es el secado, conceptos de equilibrio de fases mediante el equilibrio entre un sólido que se disuelve en un líquido, diagramas de temperatura y presión vs composición. Se analizan operaciones básicas de ingeniería de procesos como es la destilación de un sistema binario.

La finalidad de este manual de protocolos experimentales es el de orientar al estudiante en su formación del último ciclo de esta carrera y conducirlo mediante los protocolos teóricos y experimentales a materias optativas que permitan encausarlo a la culminación de sus estudios. Por último, en este tipo de protocolos, se pretende que el estudiante adquiera habilidades experimentales y refuerzo sus conocimientos en modelado matemático, fisicoquímica, balances de materia y Transferencia de Masa. Por otra parte, el desarrollo y análisis de procesos macroscópicos mediante prácticas en planta piloto infiere en un mejor aprendizaje de los conocimientos adquiridos en el salón de clase y por ende en una aplicación a nivel planta piloto y escalarlos a nivel industrial.

Finalmente, este manual representa un esfuerzo continuo en la búsqueda por mejorar las actividades académicas experimentales de los estudiantes de la carrera de ingeniería química de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, utilizando la fisicoquímica, balances de materia y fenómenos de transporte como



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	6/ 162

herramientas en la caracterización de sistemas que representaron y presentan un reto en la Ingeniería Química actual.

### **Objetivos de Laboratorio y Taller de Proyectos de 7º semestre**

Los objetivos establecidos en el Plan de Estudios vigente son:

#### **Objetivo Específico**

- Determinar los niveles de las principales variables que intervienen en el diseño termodinámico del equipo de separación.

#### **Objetivos Generales**

- Identificar las principales variables que intervienen en los procesos de transferencia de masa y energía.
- Determinar los niveles de las principales variables que intervienen en los procesos de transferencia de masa y energía mediante un método previamente seleccionado.
- Analizar las principales variables que intervienen en el diseño termodinámico del equipo de separación.

### **LINEAMIENTOS DE LABORATORIO**

1. Queda estrictamente prohibido realizar las prácticas del laboratorio sin la presencia del profesor responsable del grupo.
2. La asignación de actividades y de gavetas se realizará al inicio de cada semestre y es obligación de los estudiantes y maestros respetar la programación. Solo en casos justificados se podrá hacer reprogramación. Los alumnos que sean sorprendidos abriendo gavetas que no les correspondan serán consignados a la Unidad Jurídica de la Facultad.
3. Al inicio del semestre (la primera semana), el profesor junto con el alumno deberá identificar las áreas de seguridad, de material roto, de depósito temporal de residuos y también verificarán el funcionamiento de



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>7/ 162</b>

instalaciones eléctricas, gas, agua, aire y vacío. Así mismo deberá enseñarse a los alumnos el manejo de los equipos e instrumentos de laboratorio y el llenado de las bitácoras que utilizarán durante el semestre. En caso de alguna falla deberá reportarlo al coordinador de ciclo correspondiente

4. Para hacer uso de los laboratorios, es obligatorio para alumnos y maestros usar bata blanca de manga larga y limpia; deberán sujetarse el cabello quien lo use largo, en el caso de las alumnas queda prohibido el uso de zapatillas dentro de las instalaciones; se deberá usar zapato cerrado y antiderrapante; deberán portar durante las actividades de laboratorio el equipo de seguridad correspondiente.
5. Queda estrictamente prohibido introducir y consumir alimentos dentro del laboratorio.
6. Queda estrictamente prohibido usar el audio y video de la computadora, teléfonos celulares u otros dispositivos, que no sean útiles para complementar la información o tema que se esté revisando en clase. El uso de estos dispositivos electrónicos es exclusivo como instrumento de trabajo.
7. Para solicitar material, equipo e instrumentos de laboratorio será el mismo día de la actividad, los servicios se deberán solicitar un día antes de realizar la actividad; el alumno presenta la credencial vigente de la institución, bajo ninguna circunstancia se hará préstamo de material con credenciales diferentes a ésta. Además, llenará los formatos de solicitud de préstamo de material, equipo, instrumentos de laboratorio y servicios.
8. La solicitud de reactivos se realizará con 24 a 48 horas de anticipación llenado el formato de solicitud de reactivos y firmado por el profesor responsable del grupo o el coordinador del ciclo correspondiente, presentarse con los recipientes adecuados para cada sustancia.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	3	8/ 162

9. Es responsabilidad del alumno consultar las hojas de seguridad y manejo de los reactivos que utilizará con la finalidad de conocer las propiedades físicas, químicas y tóxicas de los reactivos y productos que se generan, como resultado de las actividades realizada
10. El material no podrá ser retenido por el alumno de una sesión a otra, ni de un día para otro; solo será autorizado por causa justificada por el coordinador del ciclo correspondiente. En caso de que no se acate este apartado se sancionará a los alumnos que retengan el material. Queda prohibido retener o guardar equipo e instrumentos de laboratorio.
11. Al solicitar o devolver material, equipo e instrumentos de laboratorio, el alumno tiene la obligación de verificar la limpieza, el buen estado y funcionamiento de los mismos, deberá reportar alguna anomalía en el momento.
12. Para cualquier actividad de laboratorio que involucre el empleo de equipo ubicado en el cuarto de pesado y en los laboratorios que tenga bitácora asignada, el alumno tiene la obligación de llenarla antes de usarlo, así como de operarlo correctamente y mantenerlo limpio.
13. Es responsabilidad de alumnos y profesores mantener limpia la mesa de trabajo, del buen uso de las tarjas y la campana de extracción de vapores y en general de la infraestructura. Deberán reportar cualquier desperfecto que se genere durante la sesión.
14. No verter los desechos tóxicos al drenaje, estos deberán ser colocados en recipientes debidamente identificados con la etiqueta oficial, en el lugar de confinación para tal fin.
15. En caso de que el alumno rompa material o equipo de laboratorio se le retendrá la credencial de la institución hasta que sea reemplazado y entregado el por el mismo.





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>9/ 162</b>

16. Los reactivos ajenos a los protocolos que se necesiten, se autorizarán por el profesor a cargo del grupo, debidamente identificados y siguiendo las medidas de seguridad necesarias.
17. Al finalizar el curso es obligación de los alumnos desocupar las gavetas, de lo contrario serán abiertas (rompiendo los candados); el material y pertenencias que se encuentren en éstas serán puestos a disposición del responsable de entregar material de laboratorio.
18. Todas las actividades realizadas en los laboratorios, deberán estrictamente apegarse a este reglamento.

### **LINEAMIENTOS DE PLANTA PILOTO**

#### **Obligaciones de los usuarios**

1. Portar bata blanca, casco y calzado cerrado antiderrapante. En caso de que las condiciones de la práctica lo requieran, deberá también portar guantes adecuados, lentes de protección y/o cubre bocas. El cabello largo debe estar recogido.
2. Respetar horarios de inicio y término de las prácticas programadas.
3. Es obligatorio el llenado de la bitácora del equipo correspondiente a la práctica que se esté realizando, la cual se pide y se devuelve al técnico académico responsable de planta.
4. En caso de encontrar algún desperfecto en el equipo, el alumno o profesor reportará en la bitácora del equipo el dañado, desperfecto, anomalía o uso indebido del o los equipos, así como avisar al técnico de planta del turno correspondiente y al responsable de planta. (para deslindar responsabilidades).
5. Los usuarios quedan obligados a cuidar los reactivos, el equipo y el material del que haga uso durante la práctica. El daño que les ocasione por su



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>10/ 162</b>

incorrecto empleo o por cualquier otra causa que demuestre descuido, el usuario es responsable de su reposición o reparación. Se sugiere revisar el estado del material y del equipo reportando en la papeleta en el caso del material y en la bitácora en caso del equipo además de informar inmediatamente al técnico en turno y al responsable de planta cualquier anomalía.

6. Hacer uso adecuado y racional de los servicios de planta: vacío, energía eléctrica, agua, vapor y aire comprimido.
7. Antes de salir de planta, el usuario deberá dejar su lugar ordenado y limpio. En especial enrollar y colocar las extensiones y mangueras en su lugar, así como mesas y pizarrones.
8. Al terminar cada actividad experimental el profesor-alumno deben verificar que el equipo se encuentre apagado, las válvulas cerradas, purgar el sistema y/o equipo, en resumen, sin novedades, así como verificar que se haya entregado la bitácora.
9. Es obligatorio el uso de la etiqueta oficial del Sistema de Gestión de la Calidad en los contenedores de residuos la cual debe solicitarse al responsable de planta.
10. Los contenedores de residuos deben ser colocados en el área de confinamiento temporal que se encuentra en planta piloto.

### **Prohibiciones**

1. Queda prohibido comer, beber y fumar dentro de planta.
2. Por seguridad, queda prohibido el acceso a planta, a los estudiantes que porten bermudas, zapatillas o cualquier tipo de vestimenta que ponga en riesgo su seguridad.
3. Ningún estudiante puede realizar prácticas experimentales sin la presencia del profesor.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>11/ 162</b>

4. El profesor deberá permanecer en la planta durante todo el desarrollo de la práctica.
5. Realizar actividades que no estén relacionadas o que vayan en contra del desarrollo de las prácticas.
6. Asistir a los laboratorios con acompañantes ajenos al grupo que está desarrollando la práctica.
7. Por ningún motivo los usuarios pueden desarmar, sustraer piezas, modificar la configuración de los equipos sin autorización.
8. A la persona que se le sorprenda mutilando o haciendo mal uso del equipo o de las instalaciones, será reportado a las instancias correspondientes quienes determinarán la sanción.
9. El uso de teléfonos celulares, y reproductores de audio y/o video que nada tengan que ver con el desarrollo de la práctica.
10. El material, equipo o instrumentos, no debe sacarse de la planta sin autorización del responsable y para el caso de equipo o instrumento especializado que requieran sacar hay que entregar al responsable de planta autorización firmada por el jefe de la carrera.
11. Queda prohibida la entrada al área del almacén y cuarto de máquinas a toda persona ajena.
12. Queda prohibido jugar, correr, obstruir salidas de emergencia o cualquier otra actividad que ponga en riesgo la integridad de los usuarios y la de los equipos.

### **Derechos**

Los alumnos debidamente inscritos en el periodo escolar vigente tienen derecho a:

1. Solicitar durante la práctica en planta, un locker para el resguardo de objetos personales (bolsas, mochilas, libros, etc.). El estudiante debe solicitar la llave de



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>12/ 162</b>

uno de estos al encargado de planta y devolverla en cuanto se termine la práctica. Se requiere credencial institucional vigente.

2. El alumno tiene derecho a que se le proporcione mediante papeleta debidamente requisitada y credencial institucional vigente el material requerido para el desarrollo de cada práctica.
3. Solicitar los servicios (vapor, agua, energía eléctrica, vacío, etc.,) para prácticas mediante papeleta con firma de profesor responsable con al menos 24 horas de anticipación.
4. A que se proporcione en tiempo y forma los servicios y el material requerido para la realización de la práctica experimental correspondiente.
5. El profesor debe solicitar la reprogramación de la práctica en el caso que no se haya realizado por algunas de las causas mencionadas en el procedimiento 5 del Sistema de Gestión de la Calidad, haciendo uso del formato de reprogramación de práctica que es proporcionado por la responsable de planta piloto.

### **Manejo de residuos**

El manejo de los residuos generados en cada actividad experimental se establece en cada uno de los protocolos, pero es importante considerar lo siguiente:

Es obligación de los profesores recuperar en cada práctica los sobrantes de reactivos puros y aprovecharlos para su posterior uso. Así mismo optimizar el aprovechamiento de las soluciones de trabajo que se preparan, es decir, una solución de trabajo puede ser utilizada por todo el grupo.

Los residuos de sales comunes pueden ser desechados al drenaje.

Los residuos generados deberán ser colocados en el recipiente adecuado e identificados colocando la etiqueta definida en el Sistema de Gestión de la Calidad,



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	13/ 162

con letra legible y en una posición visible y deben ser colocados en el lugar asignado.

Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### Criterios de Evaluación

Los *criterios de evaluación final* al alumno que dan cumplimiento al programa de la asignatura de Laboratorio y Taller de Proyectos de 7º semestre son:

Criterio	Porcentaje que el profesor debe establecer
1. Análisis y discusión de la práctica.	20%
2. Desempeño integral durante el experimento.	20%
3. Reportes de trabajo en bitácora, electrónico o impreso.	40%
4. Otros aspectos	20%

**Nota Criterio 1:** El análisis y discusión se realizará antes y después de la práctica, se recomienda evaluar mediante exámenes orales y/o escritos, exposiciones, etc.

**Nota Criterio 2:** Se evalúa el trabajo en equipo, cumplimiento del reglamento, manejo de equipo e instrumentación y/o toma de decisiones entre otros

**Nota Criterio 3:** Se evalúa la calidad de contenido, discusión de resultados, conclusiones, vinculación teórica-práctica, entre otros



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	14/ 162

**Nota Criterio 4:** A consideración del docente se evaluará la participación en el Congreso de Laboratorios de I.Q., cuestionarios, casos de estudio, etc.

### **Características de la Bitácora:**

- Portada con el nombre de la asignatura, grupo, asesor, integrantes del equipo, ciclo escolar, fecha.
- Criterios de evaluación definidos al inicio de semestre.
- Programación de actividades (proporcionado por coordinador del área o responsable de laboratorio)
- Reglamento de Laboratorio (copia impresa o a mano incluida en el manual).
- Guía para el etiquetado de contenedores de Residuos (ubicada en área de residuos).

### **Cada reporte debe incluir:**

- Nombre de la actividad establecida en el protocolo
- Fecha de realización de la práctica.
- Objetivos
- Fundamento teórico
- Procedimiento
- Resultados
- Análisis y Discusión de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Referencias bibliográficas
- Anexos (Hojas de seguridad, diagramas, etc.)

**Nota:** Al finalizar el semestre el profesor deberá entregar a la coordinación correspondiente al menos una bitácora de reporte en físico o CD.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	15/ 162

## L-1

### ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRES COMPONENTES EN EQUILIBRIO

#### 1. OBJETIVO

1.1 Determinar el coeficiente de distribución de una sustancia sólida en dos solventes inmiscibles.

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El estudio de la distribución de una sustancia sólida entre dos líquidos inmiscibles puede dar información importante para la realización de una extracción o también para indicar la existencia de disociación, asociación u otras reacciones químicas del soluto en las soluciones. Si a dos líquidos inmiscibles que están en contacto se les agrega cierta sustancia (soluble en ambas), ésta se distribuirá entre las dos fases líquidas en una proporción constante a una temperatura dada (independientemente de la cantidad total de sustancia disuelta presente, esta última se distribuye entre las dos capas en una relación constante).

Cuando se alcanza el equilibrio en las dos fases, los potenciales químicos del soluto son:

$$\mu_S^I = \mu_S^{II} \quad (1)$$

Fase I

$$\mu_S^I = RT \ln a_S^I + \mu_S^{0(I)} \quad (2)$$

Fase II

$$\mu_S^{II} = RT \ln a_S^{II} + \mu_S^{0(II)} \quad (3)$$

Dónde:

$$\mu_S^{0(I)} \text{ y } \mu_S^{0(II)}$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	16/ 162

Son los potenciales químicos del soluto en el estado de referencia, en las fases I y II respectivamente, y

$$\mu_S^I \text{ y } \mu_S^{II}$$

Representan una medida de la concentración.

Por lo tanto:

$$RT \ln a_S^I + \mu_S^{0(I)} = RT \ln a_S^{II} + \mu_S^{0(II)} \quad (4)$$

Demostración de la ecuación (5)

$$RT \ln a_S^I = RT \ln a_S^{II} + \mu_S^{0(II)} - \mu_S^{0(I)}$$

$$RT (\ln a_S^I - \ln a_S^{II}) = \mu_S^{0(II)} - \mu_S^{0(I)}$$

$$\ln \frac{a_S^I}{a_S^{II}} = \frac{\mu_S^{0(II)} - \mu_S^{0(I)}}{RT}$$

Dónde:

$$\text{constante} = \ln \frac{a_S^I}{a_S^{II}} \quad (5)$$

Entonces:

$$K = \frac{a_S^I}{a_S^{II}} \quad (6)$$

A "K" se le denomina coeficiente de distribución y depende de la temperatura.

$$K = K(T) \quad (7)$$

Para el caso de soluciones diluidas, K puede calcularse a partir de las fracciones mol o de las concentraciones de la siguiente manera:

$$K = \frac{x_S^I}{x_S^{II}} \quad \text{ó} \quad K = \frac{c_S^I}{c_S^{II}} \quad (8)$$





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	17/ 162

El uso de  $K$  para representar la relación de equilibrio  $\frac{x_s^I}{x_s^{II}}$  es de uso común en la industria del petróleo, gas natural y otras industrias que se dedican a la separación de sustancias y esta cantidad se denomina invariablemente como valor  $K$ , este valor indica que tan ligero es un componente, o sea, su tendencia a concentrarse en la fase vapor. Los componentes ligeros tienen valores de  $K$  mayores que la unidad, los componentes pesados tienen valores de  $K$  menores que la unidad y se concentran en la fase líquida. Cuando dos solventes se agitan con una sustancia sólida soluble en cada una de ellas, cada una se satura simultáneamente y el coeficiente de distribución, en este caso, es el cociente de las concentraciones. En el equilibrio, la relación entre las concentraciones de soluto en las dos fases viene dada por la ecuación (8). Esta relación puede aplicarse de acuerdo con “Walter Nernst” en forma exacta únicamente si los dos disolventes son inmiscibles, y si no tiene lugar alguna asociación o disociación del soluto.

Cuando las concentraciones son pequeñas la ley de distribución suele cumplirse si no hay reacción química. El equilibrio en sistemas líquido-líquido es prácticamente independiente de la presión, con lo cual se cumple que solo dependen de la temperatura.

$$K = \frac{(C_S^I)}{(C_S^{II})} \quad (9)$$

En general, se ha encontrado que, para muchos casos, donde un soluto se disocia en iones o moléculas más simples o si se asocia en moléculas más complejas, no se aplica la Ley a las concentraciones totales de las dos fases, si no únicamente a las concentraciones de la especie particular común de ambas. Así, si una sustancia  $A$  se disuelve en un solvente sin ningún cambio en la forma molecular y otra sustancia lo hace con una asociación particular por ejemplo  $A_2$  (dímero), el coeficiente de reparto en la distribución no estará dado por la relación de las concentraciones totales en las dos fases, sino por la concentración total en el primer solvente dividida por la concentración de las moléculas no asociadas del segundo, y la ley de distribución puede representarse mediante la ecuación:



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	18/ 162

$$K = \frac{(C_S^I)}{(C_S^{II})^N} \quad (10)$$

Donde  $N$  es un índice que depende de las propiedades de los tres componentes que constituyen el sistema.

**Tabla 1.** Datos de distribución de ácido benzoico entre el agua y el cloroformo a 40° C (Concentración en moles/l)

$C_A$	$C_C$	$\frac{C_A}{C_C}$	$C_{A1}$	$C_{C1}$	$K = \frac{C_{A1}}{C_{C1}}$
0.00211	0.00721	0.292	0.00178	0.00404	0.441
0.00268	0.01084	0.247	0.00231	0.00523	0.442
0.00353	0.01686	0.210	0.00310	0.00701	0.442
0.00725	0.05700	0.127	0.00662	0.01497	0.442
0.01272	0.16733	0.076	0.01188	0.02687	0.442

(Maron S., p. 308)

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

##### Material para trabajar 4 sistemas simultáneos

- 1 Matraz aforado de 250 ml
- 4 Embudos de separación de 125 ml con tapón
- 4 Anillos chicos
- 4 soportes universales
- 24 Matraz Erlenmeyer de 50 ml
- 2 pinzas de doble presión
- 8 Pipetas volumétricas de 2ml
- 2 Buretas de 25 ml
- 3 Probetas de 25 ml
- 4 Vidrios de reloj medianos
- Perillas de succión
- 1 Espátula



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>19/ 162</b>

- 1 Agitador de vidrio
- 1 vaso de precipitado de 50 ml
- 4 vasos de precipitados de 100 ml

### 3.2 REACTIVOS

- 3.5 g de ácido benzoico
- 250 ml de Etanol
- 100 ml de Cloroformo
- 1 g Na OH
- 5 ml de una solución de fenolftaleína (NMX-AA036-SCFI-2001)

### 3.3 HERRAMIENTAS

- No se utilizan herramientas

### 3.4 EQUIPO

- Parrilla de agitación

### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad

### 3.6 MATERIAL BÁSICO

- Agitador Magnético.
- Papel Glassine.
- Lentes de seguridad.
- Agua destilada (500 ml)

## 4. PROCEDIMIENTO

### 4.1 PREPARACIÓN DEL AGENTE TITULANTE

Pesar 1g de NaOH en el vaso precipitado de 150 ml en la balanza analítica y disolver con una porción de etanol, evitando la saturación.

Una vez disuelta la mayor cantidad de NaOH verter la solución en el matraz aforado de 250 ml.

NOTA: La solución de NaOH es por cada 2 equipos.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>20/ 162</b>

### 4.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se numeran los embudos de separación, se adicionan 25 ml de agua destilada en cada uno de los embudos, posteriormente se agregan 25 ml de cloroformo a cada embudo y por último se adiciona el ácido benzoico previamente pesado

**Tabla 2.** Datos de la solución a preparar de ácido benzoico (mg)

Mezcla No.	Cantidad Ac. Benzoico (mg)
1	41.2
2	62.2
3	196.1
4	549.6
TOTAL	849.1

### 4.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

1.- Los embudos de separación se sujetan por el cuello y su tallo de tal forma que la mezcla no se caliente con las manos (pues se podría incrementar la solubilidad del ácido benzoico en cualquiera de las dos fases); después de agitar por varios minutos, conviene invertir el embudo y abrir su llave para evitar que aumente la presión y la mezcla pueda derramarse. Después colocarlos en los anillos y se deja que la mezcla se separe en dos capas perfectamente definidas.

2.- Identificar en el sistema la fase orgánica y la fase acuosa. Posteriormente se toman 2 ml de la fase orgánica y se vierten en un matraz Erlenmeyer con 25 ml de agua destilada. El matraz se sujeta con pinzas y se lleva a ebullición, se deja enfriar a temperatura ambiente y se agregan 2 gotas de fenolftaleína, después se titula con la solución de NaOH, realizar por triplicado.

3.- La fase acuosa se trata de la misma manera que la fase orgánica.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	21/ 162

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

### 5.1 PRESENTACIÓN DE DATOS

Deberán reportarse como lo indica la tabla 1.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos.

No. Muestra	Masa ácido benzoico [mg]	Consumo de NaOH [ml]	
		Fase Acuosa	Fase Orgánica
1	41.2		
2	62.2		
3	196.1		
4	549.6		

### 5.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Calcúlese la concentración del soluto en las fases acuosa y orgánica, utilizando la ecuación 9 y apoyándose en la tabla 1

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (11)$$

$C_1$ : Concentración del soluto en la fase orgánica o acuosa (mol / l).

$V_1$ : Volumen de la solución orgánica o acuosa (ml).

$C_2$ : Concentración de la solución de NaOH (mol / l).

$V_2$ : Volumen de NaOH consumido (ml).

Conociendo  $C_s^I$  y  $C_s^{II}$ , se calcula el coeficiente de distribución para las cuatro mezclas tomando el valor promedio de cada sistema.

Los datos serán reportados de la siguiente manera:



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	22/ 162

**Tabla 4.** Resultados obtenidos.

No. muestra	Concentración (C) [mol/L]		$K = \frac{C_s^I}{C_s^{II}}$
	Fase Acuosa (I)	Fase Orgánica (II)	
1			
2			
3			
4			

Calcular el valor de “K” en cada muestra utilizando el promedio de la concentración de la fase orgánica y de la acuosa.

Evaluar el valor promedio de “K” para las cuatro muestras y comparar el dato obtenido con la tabla del fundamento teórico, tomando en cuenta que dichos valores están reportados a una temperatura de trabajo de 40°C.

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos deberán ser almacenados en recipientes de vidrio, etiquetados correctamente y colocarse en el área dispuesta para residuos dentro del laboratorio.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>23/ 162</b>

- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### 7. BIBLIOGRAFÍA:

1. Levine, I.N. (1996). *Fisicoquímica*. (4ª Ed). Ed. Mc Graw Hill.
2. Maron, Samuel. (1990). *Fundamentos de fisicoquímica*. México: Limusa.
3. Castellán, G.W (1987). *Fisicoquímica*. (2ª Ed). Ed. Addison-Wesley.
4. Moore, W. J. (1976). Físico-química. In Físico-química. Edgard Blucher.
5. Palmer, W. G. (1966). Química física experimental (No. QD453 P3e).



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	24/ 162

## L-2

### SISTEMA TERNARIO DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES

#### 1. OBJETIVOS

1.1 Obtener la curva de solubilidad de 2 líquidos poco miscibles entre sí y un tercero completamente miscible en los dos primeros en un diagrama ternario.

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La separación de los componentes de una mezcla líquida homogénea es un problema frecuente en la industria química. La extracción líquido-líquido es un método muy importante para separar mezclas líquidas, la adición de un solvente en ésta operación corresponde a la adición de calor en el caso de la separación por destilación. El solvente en la operación de extracción deberá ser inmiscible o parcialmente miscible con al menos uno de los componentes de la mezcla para facilitar la separación de las fases.

La operación de extracción líquido-líquido consiste de los siguientes pasos:

- El íntimo contacto del solvente (el extractor) con la solución que contiene el componente a ser extraído (el extractante o soluto) así que el soluto se transfiere de la solución al solvente; y separación de la fase inmiscible.
- La fase que contiene mayor concentración del solvente y menor concentración del líquido original es normalmente llamado extracto y a la otra fase con menor concentración del solvente se le refiere como refinado. El proceso de extracción puede involucrar otras operaciones como una destilación para recobrar el solvente del extracto y del refinado.

La extracción líquido-líquido tiene aplicación en la separación de:

- Soluciones de componentes que tienen baja volatilidad relativa especialmente cuando la destilación a vacío es cara.





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>25/ 162</b>

- 2) Soluciones con componentes que forman azeótropos o tienen cercanos puntos de ebullición.
- 3) Soluciones de componentes sensibles al calor, tales como antibióticos.

En general, tres líquidos al mezclarse pueden dar tres tipos principales de distribución mutua de uno en otro, y son los siguientes:

1. Las sustancias A, B y C presentan tres parejas de líquidos parcialmente miscibles (ninguna de ellas se disuelve completamente en la otra).
2. De las tres sustancias A, B y C solo se tienen 2 parejas solubles parcialmente (por ejemplo, A en B y A en C) pero existe una pareja de solubilidad completa (por ejemplo, B en C).
3. Tres sustancias A, B y C producen solamente una pareja de líquidos parcialmente miscibles (por ejemplo, A en B) mientras que otras dos parejas (C en B y C en A) son solubles completamente en cualquier proporción.

En el presente trabajo se estudiará el último caso.

Si mezclamos agua y benceno, se obtienen dos capas. La superior representa la solución saturada de agua en benceno (soluto: agua, solvente: benceno); mientras que la capa inferior es la solución saturada de benceno en agua (soluto: benceno, solvente: agua).

El tercer componente puede ser ácido acético (o acetona, metanol, etc.) el cual al mezclarse por separado en cualquier porcentaje con agua o con benceno se disuelve completamente tanto en uno o en otro. El conocimiento básico para comprender la forma de valorar la composición de la mezcla en el equilibrio entre el estado unifásico y el estado bifásico es saber a qué se debe la turbidez que presenta el sistema cerca de este estado de equilibrio sobre la curva binodal. Si se mezclan dos líquidos de solubilidad mutua ilimitada (C en B o C en A) se les añade el tercero (A o B respectivamente) que se disuelve completamente en uno de los dos y en el otro parcialmente hasta que aparezca una turbidez, ésta representará la transición de la mezcla monofásica a la bifásica.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>26/ 162</b>

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

- 1 Pipeta graduada de 10 ml
- 1 Perilla de succión
- 3 Vasos de precipitados de 100 ml (para llenar las buretas)
- 3 Embudos de tallo largo (para trabajar un sistema)
- 2 Buretas de 50 ml
- 8 Matraces Erlenmeyer de 50ml
- 2 Pinzas dobles para Bureta
- 2 Soportes universales
- 1 Bureta de 10 o 25 ml

#### 3.2 REACTIVOS

- Agua destilada (La necesaria)
- Tolueno 100 ml
- Acetona 35 ml
- Xileno 50 ml
- Etanol 70 ml

#### 3.3 HERRAMIENTAS

En esta actividad no se utilizan herramientas

#### 3.4 EQUIPO

- Densímetro digital o picnómetro de 10 ml

#### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>27/ 162</b>

### 3.6 MATERIAL BASICO

- Baterías AAA para densímetro.
- Agua destilada
- Lentes de seguridad

### 4. PROCEDIMIENTO

Se procederá como se describe a continuación con cada una de los sistemas a trabajar (sistemas 1 - 3).

- Lavar y secar el material.
- Llenar 2 buretas, una con la sustancia B y la otra con C, preparando las mezclas binarias en los 8 matraces Erlenmeyer indicadas en la tabla 1, el remanente de las sustancias se regresa a su envase y las buretas se lavan perfectamente.
- Llenar una bureta de 10 ml con agua destilada.
- Valorar cada una de las disoluciones con agua hasta que aparezca turbidez.
- Añadir gota a gota y agitar vigorosamente el matraz hasta que la mezcla presente turbidez.
- **IMPORTANTE.** Dejar en reposo hasta que desaparezca la turbidez. Si al agitar nuevamente, aparece la turbidez, significa que la valoración habrá terminado. La cantidad de agua empleada se anota en la columna A de la Tabla 1.
- Con el densímetro, medir la densidad de cada una de las sustancias puras. (No generar burbuja en el capilar, para una medición correcta.)

Una vez que se hayan valorado todas las muestras, se puede trazar el diagrama ternario, haciendo los cálculos indicados en la sección 5.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>28/ 162</b>

### Sistema 1

A: Agua ( $H_2O$ )

B: Tolueno ( $C_7H_8$ ) (50 ml)

C: Acetona ( $C_3H_6O$ ) (35 ml)

### Sistema 2

A: Agua ( $H_2O$ )

B: Xileno ( $C_8H_{10}$ ) (50 ml)

C: Etanol ( $C_2H_6O$ ) (35 ml)

### Sistema 3

A: Agua ( $H_2O$ )

B: Tolueno ( $C_7H_8$ ) (50 ml)

C: Etanol ( $C_2H_6O$ ) (35 ml)



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	29/ 162

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

### 5.1 PRESENTACION DE DATOS

- Usualmente cuando se determinan las gráficas de sistemas ternarios, se utiliza a la masa (en % peso o fracción mol) para determinar cada una de las curvas, o líneas o puntos, no se utiliza el % en volumen.
- Para trazar la zona de miscibilidad parcial (zona heterogénea), Se puede expresar en % en volumen o % peso por lo que se sugiere realizar ambas gráficas respecto al sistema de 3 componentes mediante las ecuaciones:

$$\% \text{ en Volumen de A} = \frac{\text{Vol.A} \times 100}{\text{Vol.A} + \text{Vol.B} + \text{Vol.C}} \quad (1)$$

$$\% \text{ en Volumen de B} = \frac{\text{Vol.B} \times 100}{\text{Vol.A} + \text{Vol.B} + \text{Vol.C}} \quad (2)$$

$$\% \text{ en Volumen de C} = \frac{\text{Vol.C} \times 100}{\text{Vol.A} + \text{Vol.B} + \text{Vol.C}} \quad (3)$$

Después de unir todos los puntos en el diagrama ternario se obtiene la curva que se extiende de C a A y cuya convexidad está dirigida hacia B.

Si  $V$  es la cantidad de líquido empleada en la valoración, se puede calcular la composición de la mezcla en el punto correspondiente de la curva binodal por las siguientes fórmulas:

$$N_i = \frac{V_i \cdot \rho_i}{M_i} \quad (4)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>30/ 162</b>

$$\% mol_i = \frac{N_i * 100}{N_1 + N_2 + N_3} \quad (5)$$

Dónde:

$N_i$ : Es el número de moles de la especie  $i$ ,  $i = 1, 2, 3$ .

$V_i$ : Es el volumen de la especie  $i$  usado para formar la composición del sistema.

$\rho_i$ : Es la densidad de la especie  $i$ .

$M_i$ : Es el peso molecular de la especie  $i$ .

Los valores de  $V$  son los que se determinan experimentalmente, los valores de  $\rho$  se determinan a las condiciones del experimento por medio de un picnómetro y/o densímetro digital y los valores de  $M$  están reportados en la literatura. Con los valores obtenidos construir la tabla 2.

Trazar la zona de miscibilidad parcial (zona heterogénea), en un diagrama triangular expresando el número de moles de cada componente en % mol respecto al sistema de 3 componentes.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	31/ 162

**Tabla 1.** Resultados obtenidos en la práctica

SISTEMA: \_\_\_\_\_

MATRAZ NÚM.	VOLUMEN EN MILILITROS			% EN VOLUMEN DE CADA COMPONENTE EN LA MEZCLA		
	B	C	A	B	C	A
1	2	8				
2	3	7				
3	4	6				
4	6	4				
5	7	3				
6	8	2				
7	9	1				
8	9.5	0.5				

**Tabla 2.** Resultados obtenidos de densidad y peso molecular

	Agua (H <sub>2</sub> O)	Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	Acetona (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	Xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )	Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O)
ρ					
M					

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características,



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	32/ 162

el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

- Con el fin de no utilizar más reactivos del requerido, medir las densidades de los reactivos líquidos antes de preparar los sistemas.
- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignada en el laboratorio.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Mc cabe W. L. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*, (4ºEd.). Ed. McGraw-Hill.
2. Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (3ºed). Ed. Compañía editorial continental, S.A. de C.V.
3. Maron, H. S. Prutton C. F. (1996). *Fundamentos de Fisicoquímica*. México: LIMUSA.
4. Pro energía. Introducción a los procesos de separación. Obtenida el 29 de Febrero de 2012  
[www.proenergía.com/sitebuilderfiles/presentacprocesseparac.pdf](http://www.proenergía.com/sitebuilderfiles/presentacprocesseparac.pdf)
5. Universidad de los Andes Venezuela. Extracción líquido-líquido. Obtenida el 29 de Febrero de 2012 de  
[www.webdelprofesor.ula.ve/ingeniería/moira/clases/clase4a](http://www.webdelprofesor.ula.ve/ingeniería/moira/clases/clase4a)





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	33/ 162

### L-3

## ANÁLISIS Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE DESTILACIÓN

### 1. OBJETIVOS

- 1.1 Estudiar el proceso de destilación de mezclas binarias.
- 1.2 Comparar el modelo matemático propuesto por Rayleigh con los datos obtenidos experimentalmente.

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

Un proceso de destilación diferencial consiste de la destilación intermitente de una mezcla.

Sean:

$L$ : Masa de mezcla en fase líquida en ebullición.

$V$ : Masa de mezcla en fase vapor.

$x$ : Composición del componente más volátil en el líquido

$y$ : Composición del componente más volátil en el vapor.

Si en un cierto intervalo de tiempo, se evapora una cantidad finita de líquido dando lugar a la formación de vapor  $dV$  (con composición  $y$ ) y a una variación en la composición en el líquido, entonces, el balance de masa para el componente más volátil es:

$$\frac{d}{dt}(Lx) = y \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

En donde:

$\frac{d}{dt}(Lx)$ : Velocidad de evaporación del componente más volátil.

$y \frac{dV}{dt}$ : Velocidad de formación de la fase vapor de composición "y".

La ecuación (1) da lugar a:



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>34/ 162</b>

$$L \frac{dx}{dt} + x \frac{dL}{dt} = y \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

Pero, la velocidad de evaporación de  $L$ , es igual a la velocidad de formación de  $V$ , entonces:

$$L \frac{dx}{dt} + x \frac{dL}{dt} = y \frac{dL}{dt} \quad (3)$$

Lo cual se puede escribir como:

$$Ldx = (y - x)dL \quad (4)$$

La integración de (4) da lugar a la denominada ecuación de Rayleigh para una destilación diferencial:

$$\int_{x_0}^x \frac{dx}{y-x} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} \quad (5)$$

Dónde:

$X$ : Composición molar del líquido en el tiempo  $t$

$L$ : Cantidad de líquido en ebullición en el tiempo  $t$

$Y$ : Composición en el vapor

$X_0$ : Composición molar inicial del líquido

$L_0$ : Cantidad de líquido inicial

Definiendo la Volatilidad Relativa [ $\alpha_{AB}$ ] como el cociente entre las volatilidades del componente más volátil y del menos volátil, se tiene:

$$\alpha_{AB} = \frac{p_A/x_A}{p_B/x_B} = \frac{y_A x_B}{y_B x_A} \quad (6)$$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	35/ 162

En términos estrictos la volatilidad relativa es función de la temperatura, sin embargo, para algunas mezclas permanece prácticamente constante en el intervalo normal de operación. Si se supone que la volatilidad relativa permanece aproximadamente constante, es posible utilizar la siguiente ecuación:

$$y_A = \alpha_{AB} \left( \frac{x_A}{x_B} \right) y_B = \alpha_{AB} x_A \frac{(y_B)}{(x_B)} = \alpha_{AB} x_A \frac{(1 - y_A)}{(1 - x_A)} \quad (7)$$

$$y = \frac{\alpha_{AB} x}{1 + x(\alpha_{AB} - 1)} \quad (8)$$

Sustituyendo el valor de  $y$  de la ecuación (6) en la ecuación (5), la ecuación integrada puede expresarse como:

$$\ln \left( \frac{L_0}{L} \right) = \frac{1}{\alpha_{AB} - 1} \left[ \ln \left( \frac{x_0}{x} \right) + \alpha_{AB} \ln \left( \frac{1-x}{1-x_0} \right) \right] \quad (9)$$

$$\ln L_0 = \frac{1}{\alpha_{AB} - 1} \left[ \ln \left( \frac{x_0}{x} \right) + \alpha_{AB} \ln \left( \frac{1-x}{1-x_0} \right) \right] + \ln L \quad (10)$$

$$L_0 = \exp \left\{ \frac{1}{\alpha_{AB} - 1} \left[ \ln \left( \frac{x_0}{x} \right) + \alpha_{AB} \ln \left( \frac{1-x}{1-x_0} \right) \right] + \ln L \right\} \quad (11)$$

En la volatilidad relativa  $\alpha_{AB}$ , A es el componente más volátil, se puede expresar como

$$\alpha_{AB} = \frac{P_{VA}}{P_{VB}}; \quad \alpha_{AB} > 1 \quad (12)$$

En la ecuación (9) se puede utilizar:

$$\alpha_{ABM} = \frac{(\alpha_{AB})_1 + (\alpha_{AB})_2}{2} \quad (13)$$

Dónde:

Subíndice 1: Condición térmica inferior del proceso

Subíndice 2: Condición térmica superior del proceso



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>36/ 162</b>

$\alpha_{ABM}$  : Volatilidad relativa promedio

La presión de vapor para componentes puros se puede obtener de la ecuación:

$$\ln P = A - \frac{B}{T+C} \quad (14)$$

Dónde:

P: Presión de vapor en mm Hg

A, B, C: Constantes

T: Temperatura en K

Los valores de Presión y las correspondientes Temperaturas se pueden encontrar en la literatura.

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

##### Para un sistema

- 1 kit de destilación
- 2 Termómetros de inmersión parcial
- 1 Probeta graduada de 100 ml
- 15 Tubos de ensayo
- 3 Pinzas de tres dedos con nuez
- 2 Tramos de manguera
- 2 Soportes universales
- 2 vasos de precipitados de 100 ml
- 1 Pipetas volumétricas de 5 ml
- 1 Pipetas volumétricas de 2 ml
- 1 Pipetas volumétricas de 1 ml
- 1 Cronómetro
- 1 Gradilla



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>37/ 162</b>

\* Nota: Si se van a trabajar dos sistemas simultáneamente pedir el doble de todos los materiales requeridos para un sistema.

### 3.2 REACTIVOS

- 60 ml Tolueno
- 60 ml Heptano
- 60 ml Cloroformo
- 65 ml Acetona

### 3.3 HERRAMIENTAS

- En esta actividad no se utilizan herramientas.

### 3.4 EQUIPO

Para trabajar 1 sistema

- refractómetro
- canastilla de calentamiento para matraz de 250 mL
- reóstato
- recirculador de agua
- gato mecánico
- parrilla de agitación

\*Nota: Si se trabajaran 2 sistemas simultáneamente pedir el doble de equipo

### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad
- Agua



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	38/ 162

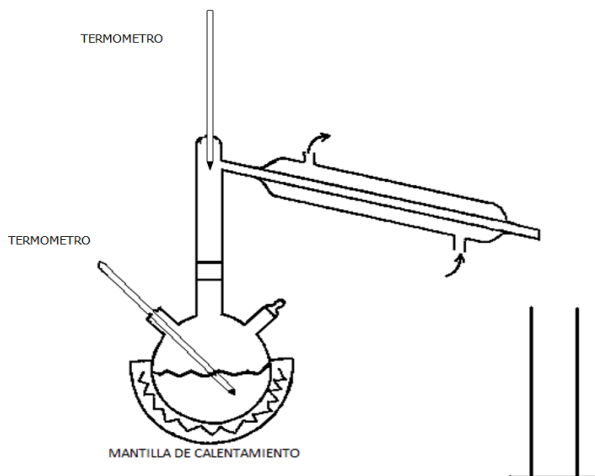
### 3.6 MATERIAL BASICO

- 1 Charola para contener agua
- Barra de agitación magnética
- Lentes de seguridad
- Algodón

## 4. PROCEDIMIENTO

### 4.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA

1. Armar el equipo mostrado en la figura 1.



**Figura 1.** Equipo de destilación.

2. Cargar el matraz con uno de los siguientes sistemas:

Sistema 1: Tolueno - Heptano

Sistema 2: Cloroformo - Acetona

Empleando 50 ml de cada reactivo (componente).



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>39/ 162</b>

3. Tomar la temperatura inicial de la muestra.
4. Calentar hasta ebullición suave adicionando unas piedras de ebullición o grava.
5. A partir de las condiciones de ebullición y obtención de la primera gota de destilado, se deben tomar lecturas de la temperatura cada minuto y el volumen de destilado en mililitros. Cada dos minutos se debe tomar una muestra pequeña (menos de 1ml) del destilado para analizarla.
6. El proceso se detendrá cuando el volumen en el matraz de destilación sea de 6 a 10 ml.

### 4.2 ANALISIS DE LAS MUESTRAS.

#### 1. Curva de calibración

Preparar las soluciones indicadas en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Solución Tolueno – Heptano (% vol.)

% V Tolueno	% V Heptano	Vol. ml Tolueno	Vol. ml Heptano
0	100	0	5
20	80	1	4
40	60	2	3
60	40	3	2
80	20	4	1
100	0	5	0



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	40/ 162

**Tabla 2.** Solución Cloroformo– Acetona (% vol.)

% V Cloroform o	%V Aceton a	Vol. ml Cloroform o	Vol. ml Aceton a
0	100	0	5
20	80	1	4
40	60	2	3
60	40	3	2
80	20	4	1
100	0	5	0

1. Determinar el índice de refracción de cada mezcla a temperatura ambiente y construir una gráfica de composición contra índice de refracción.
2. Para cada una de las muestras colectadas durante la destilación, determinar el índice de refracción y leer en la gráfica (preparada anteriormente) la composición correspondiente.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos colectados pueden presentarse de acuerdo con la tabla 3, donde:

$t_f$ : Tiempo medido en el cronómetro a partir de la obtención de la primera gota de destilado

$T_f$ : Temperatura correspondiente al tiempo  $t_f$

$V_f$ : Volumen de destilado en ml colectado hasta  $t_f$

$y$ : Composición del destilado (componente más volátil) en el momento  $t_f$  determinado mediante análisis de la muestra colectada en el momento  $t_f$

$L_f$ : Volumen de líquido residual en el matraz, medido

$x_f$ : Composición del líquido residual en el matraz, calculado





SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	41/ 162

**Tabla 3.** Tablas de resultados.

Tiempo	Temperatura	Volumen destilado acumulado	Composición destilado	Volumen residuo	Composición residuo
0	T <sub>0</sub>	0	--	L <sub>0</sub>	X <sub>0</sub>
1	--	--	--	--	--
2	--	--	--	--	--
T	T	V	y	L	x
--	--	--	--	--	--
t <sub>f</sub>	T <sub>f</sub>	--	--	--	--

### 5.1 CALCULO DE $L$ y $x$

Balance total del componente más volátil

$$L_0x_0 = Lx + Vy \quad (15)$$

Balance total de líquido (para mezclas ideales)

$$L_0 = L + V \quad (16)$$

De las dos ecuaciones anteriores se obtiene:

$$L = L_0 - V \quad (17)$$

$$x = \frac{(L_0x_0 - Vy)}{L} \quad (18)$$

La ecuación:

$$\ln \frac{L_0x_0}{Lx} = \alpha_{AB} \ln \left[ \frac{L_0(1-x_0)}{L(1-x)} \right] \quad (19)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	42/ 162

de donde, una gráfica de  $\ln\left(\frac{L_0x_0}{Lx}\right)$  contra  $\ln\left[\frac{L_0(1-x)}{L(1-x_0)}\right]$  debe ser una recta con ordenada al origen cero y pendiente  $\alpha_{AB}$

El ajuste de la recta se puede hacer por regresión lineal, siendo el valor del coeficiente de correlación un criterio para valorar la validez del modelo. Por otra parte, el valor de  $\alpha_{AB}$  obtenido del ajuste de la ecuación lineal puede ser comparado con el valor de la volatilidad relativa promedio.

### 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo.
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignada en el laboratorio.

### 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Doherty, M.F. & Malone, M.F. (2001) *Conceptual desing of distillation system*. New york: McGraw-Hill.
2. Henley, E.J., Seader, J.D. (1988). *Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química*. Barcelona: reverte.
3. Alzate Ibáñez, A. M. (2010). *Modelado y control de una columna de destilación binaria* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales).
4. Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Compañía Editorial Continental.
5. Wankat, P. C., & y Pozo, V. G. (2008). *Ingeniería de procesos de separación*. Pearson Educación.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	43/ 162

L-4

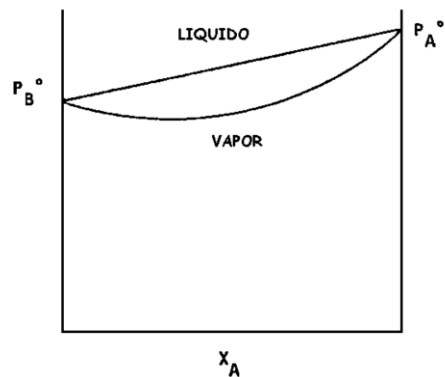
## ESTUDIO DE UN SISTEMA DE EQUILIBRIO LÍQUIDO – VAPOR

### 1. OBJETIVOS

1.1 Determinar experimentalmente los puntos en los que coexisten en equilibrio las fases líquido y vapor, para un sistema binario que forma un azeótropo con punto de ebullición máximo.

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Para un sistema binario formado por una solución ideal que sigue la ley de Raoult, la presión total  $P_T$  varía linealmente en función de la composición del líquido, cuando la temperatura  $T$  se mantiene constante, tal como se muestra en la figura 1. Sin embargo, la presión total en función de la composición del vapor, es una curva, como se muestra en la misma figura.



**Figura 1.** Variación de  $P_T$  en función de la Composición, para una mezcla binaria (solución ideal).

Si para esta misma solución graficamos la temperatura de equilibrio en función de las composiciones del líquido y el vapor, obtendrá las líneas que se muestran en la figura 2, este comportamiento se puede expresar matemáticamente en términos de la Ley de Raoult o de la Ley de Dalton:



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	44/ 162

Ley de Raoult:

$$P_i = P_i^0 x_i \quad (1)$$

$$P_T = (P_A^0 - P_B^0)x_A + P_B^0 \quad (2)$$

Ley de Dalton:

$$P_i = P y_i \quad (3)$$

$$y_A = \frac{x_A P_A^0}{(P_A^0 - P_B^0)x_A + P_B^0} \quad (4)$$

$$P_T = \frac{P_A^0 P_B^0}{(P_B^0 - P_A^0)y_A + P_A^0} \quad (5)$$

Dónde:

$P_i$  : Presión de vapor del componente i

$x_i$  : Fracción molar del componente i en el líquido

$P_i^0$  : Presión de vapor del componente puro i a una temperatura dada

$y_i$  : Fracción molar del componente i en el vapor

$P_T$  : Presión total del vapor

$x_A$  : Fracción molar del componente A en el líquido

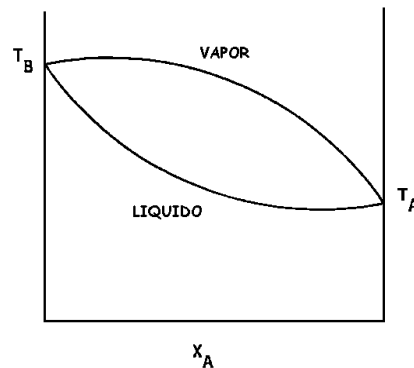
$y_A$  : Fracción molar del componente A en el vapor

Una solución ideal se define como aquella en que todos y cada uno de los componentes obedecen la Ley de Raoult. Es decir, la presión parcial de un disolvente sobre una disolución  $P_i$  está dada por la presión de vapor del disolvente puro  $P_i^0$ , multiplicada por la fracción molar ( $x_i$ ) del disolvente en la disolución. (Ecuación.1).



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	45/ 162

En el caso de soluciones que no siguen el modelo ideal, encontramos desviaciones respecto a los valores predichos por la Ley de Raoult. Si la presión de la solución es mayor que la predicha por la Ley de Raoult la desviación es positiva, y para el caso contrario, la desviación es negativa. En muchos casos, las desviaciones son tan grandes que originan máximos o mínimos en las curvas de presión de la solución.



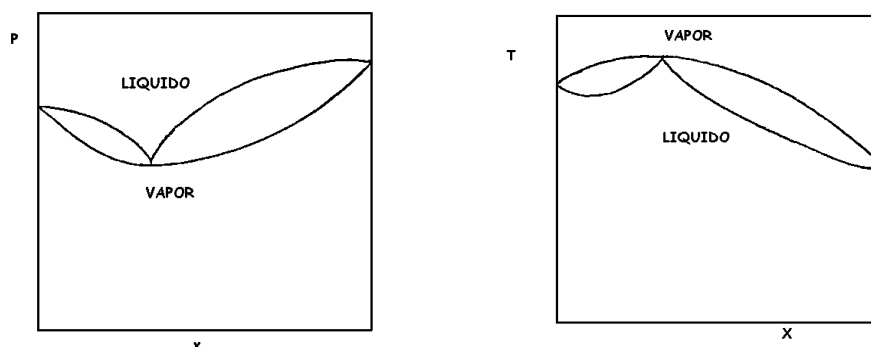
**Figura 2.** Temperatura de equilibrio en función de las composiciones de líquido y vapor.

Entre los sistemas en los que la presión de vapor de la solución tiene un mínimo y consecuentemente un máximo en la temperatura de ebullición, tenemos al sistema acetona - cloroformo, cuyo comportamiento se muestra cualitativamente en la figura 3.

**La presión total mínima es inferior a las presiones de vapor de los componentes puros, y en una operación de destilación el azeótropo se concentrará en las colas.**



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	46/ 162



**Figura 3.** Desviaciones de la ley de Raoult para el sistema Acetona –cloroformo

En un máximo o en un mínimo, la composición del líquido y la del vapor es la misma, lo que conduce a la formación de un azeótropo: (Hervir sin cambiar). Especialmente para mezclas de especies con diferente estructura química, que tienen temperaturas de ebullición próximas. Si solamente hay una fase líquida se dice que la mezcla forma un azeótropo homogéneo; si hay más de una fase líquida, el azeótropo es heterogéneo. De acuerdo con la regla de las fases, en un sistema de dos componentes a presión constante, no pueden coexistir más de dos fases líquidas.

La curva temperatura composición puede construirse con los datos obtenidos en las destilaciones en un aparato simple de una etapa. Se debe tomar directamente del condensador y del residuo pequeñas muestras a diferentes temperaturas (vea secuencia de pasos). Las muestras se analizan y se construye el diagrama, llevando al eje de las abscisas la composición, y al de las ordenadas la temperatura a la que fueron tomadas. En el caso del destilado, la temperatura para cada muestra debe ser el promedio de los valores inicial y final durante la toma de la muestra. En el caso del residuo, la temperatura debe ser la registrada en el momento en que se interrumpe la destilación para tomar la muestra del residuo.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	47/ 162

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

- 1 Matraz de tres bocas de 250 ml con entrada de 45°
- 2 Termómetro de -10 a 100 °C (inmersión parcial)
- 2 Adaptadores para termómetro
- 1 Condensador de tubo recto
- 1 Cabeza de destilación
- 1 Cola de destilación
- 1 Tapón entrada 24/40
- 2 Tramos manguera de Látex
- 2 Soportes universales
- 2 Pinzas de tres dedos con nuez
- 30 Tubos de ensayo con tapón
- 1 Probeta graduada de 25 ml
- 1 Probeta graduada de 100 ml
- 4 Vasos de precipitados de 250 ml
- 2 Pipetas volumétricas de 5 ml
- 2 Pipetas volumétricas de 2 ml
- 2 Pipetas volumétricas de 1 ml
- 1 Pipeta graduada de 2 ml (para verter muestras al refractómetro)
- 1 Perilla de succión
- 1 Gradilla

#### 3.2 REACTIVOS

- 200 ml de Acetona
- 150 ml de Cloroformo



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>48/ 162</b>

### 3.3 HERRAMIENTAS

En esta actividad no se utilizan herramientas.

### 3.4 EQUIPO

- 1 Reóstato
- 1 Canastilla para calentamiento
- 1 Refractómetro
- 1 Gato
- 1 Recirculador de agua

### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad

### 3.6 MATERIAL BASICO

- 1 Charola para contener agua
- Barra de agitación magnética
- Lentes de seguridad
- Algodón
- Hielo
- Agua destilada para calibrar refractómetro

## 4. PROCEDIMIENTO

1. Preparar una curva de calibración de índice de refracción en función del % mol para la mezcla acetona - cloroformo, de acuerdo a la tabla 1.
2. Montar el equipo de destilación mostrado en la figura 4. El montaje debe hacerse de preferencia en el interior de una campana de extracción. Como precaución se debe colocar un recipiente en la salida del condensador mientras se realice la destilación.
3. Etiquetar 10 tubos de ensaye para la fase líquida del 1L al 10L y 10 tubos del 1V al 10V para la fase vapor. El volumen de muestra será de 2 ml aproximadamente.





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	49/ 162

4. Cuando la destilación proceda a una velocidad normal y a la temperatura de ebullición del componente más volátil, se reemplaza con rapidez el matraz receptor por uno de los tubos de ensayo y se lee la temperatura del vapor en el termómetro. Se vuelve a colocar el recipiente y la muestra se tapa perfectamente. Se apaga y retira la mantilla eléctrica por un momento, interrumpiendo la destilación. Cuando la temperatura comienza a descender, se mide nuevamente la temperatura. Una vez que la solución se ha enfriado unos 10 °C, se quita el tapón del matraz de destilación y se introduce una pipeta de 2 ml con perilla de caucho. Se llena la pipeta y se vierte en el frasco correspondiente y se tapa.

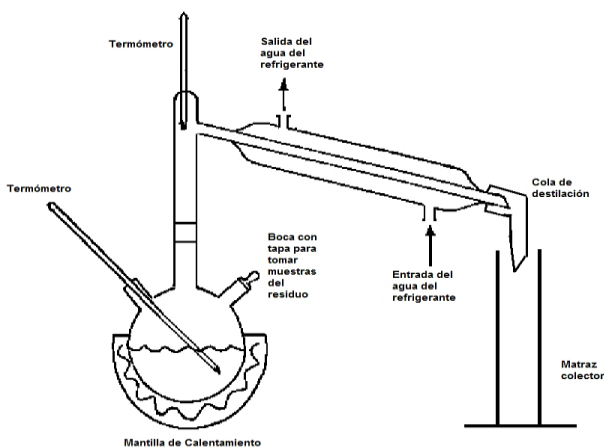


Figura 4. Equipo de destilación.

#### 4.1 PROCEDIMIENTO DETALLADO

- A. Colocar 90 ml de acetona pura en el interior del matraz. Determinar el punto de ebullición destilando a temperatura constante (debe estar en un rango de  $T_1 = 50$  a  $56$  °C). Recoger las muestras 1L y 1V para analizar y comparar.
- B. Se enfría el matraz de destilación y se devuelve el destilado obtenido en el inciso A, se agregan 10 ml de cloroformo y se inicia la destilación.



## SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

### MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>50/ 162</b>

Cuando la temperatura se encuentre aproximadamente 2 °C arriba de la temperatura del párrafo anterior, se colectan 2 ml de destilado 2V y 2 ml de residuo 2L.

- C. Se continúa con la destilación y se toman muestras 3V y 3L cuando la temperatura se encuentre 4 °C arriba de la temperatura de A.
- D. Se prosigue con la destilación hasta llegar a unos 5 °C arriba de la destilación de la acetona. Se enfría un poco el matraz y se agregan 15 ml de cloroformo y 30 ml de acetona, se calienta nuevamente y se toman las muestras 4V y 4L cuando la temperatura se encuentre a 6 °C arriba de T<sub>1</sub>.
- E. Agregar 25 ml de acetona a 25 ml de cloroformo. Se reanuda la destilación y se guarda el destilado para su empleo posterior. Se toman las muestras No. 5 a temperatura 7 °C arriba de T<sub>1</sub>.
- F. Se prosigue con la destilación hasta que la temperatura no sufra cambio significativo. Se toman las muestras No. 6. Se analiza la solución residual en el refractómetro y se completan 50 ml de solución correspondientes a la composición encontrada del residuo. Destilar hasta temperatura constante y tomar las muestras. Juntar el residuo de esta parte y de la anterior y guardarlo aparte.
- G. Enjuagar el matraz con un poco de cloroformo. Colocar 40 ml de cloroformo y determinar el punto de ebullición de igual manera que para la acetona (61 °C aprox.).
- H. Se enfría el matraz, devolviendo el destilado (acetona) del inciso anterior agregando 10 ml de la mezcla guardada en F, se continúa con la destilación tomando las muestras correspondientes a 1 °C arriba de la temperatura de ebullición del cloroformo.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	51/ 162

- I. Se enfría el matraz, devolviendo el destilado del inciso anterior, agregando 25 ml de la mezcla guardada en F, se continúa la destilación y se toman las muestras No. 9 cuando la temperatura sea de 2 °C arriba de la temperatura a la que comienza la destilación del cloroformo.
- J. Para verificar el punto azeotrópico por el lado del cloroformo se reanuda la destilación y se continúa hasta que la temperatura sea constante. Tomar las muestras No. 10. En la siguiente hoja se encuentra la secuencia de pasos en un esquema con la finalidad de seguir con más facilidad el procedimiento.

### **RECOMENDACIONES:**

- 1.- Usar cloroformo y acetona previamente destilados.
- 2.- El cambio de temperatura es lento, no interrumpir la destilación, pensando erróneamente que ya no aumenta.
- 3.- Al tomar la muestra del líquido en el matraz, esperarse a que baje la temperatura (menor a la de ebullición del componente más volátil, aproximadamente 10°C), de lo contrario, habrá pérdidas de vapor al tomar la muestra, y con esto los datos de composición del líquido serán erróneos.
- 4.- Usar goggles de seguridad y mascarillas con cartuchos para vapores orgánicos.

## **5. TRATAMIENTO DE DATOS**

### **5.1 PRESENTACIÓN DE DATOS**

Por interpolación de los datos que se proporcionan en la tabla de la curva de calibración, se pueden convertir los índices de refracción de las muestras a fracciones mol.

### **5.2 TRATAMIENTO DE DATOS**

Construir una gráfica de temperatura vs fracción mol del componente más volátil y trazar una curva suave entre los puntos del destilado  $V$  y del residuo  $L$ .

Construir la gráfica de equilibrio líquido – vapor para el sistema, a la presión de 585 mm Hg. (presión atmosférica de la Ciudad de México).



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>52/ 162</b>

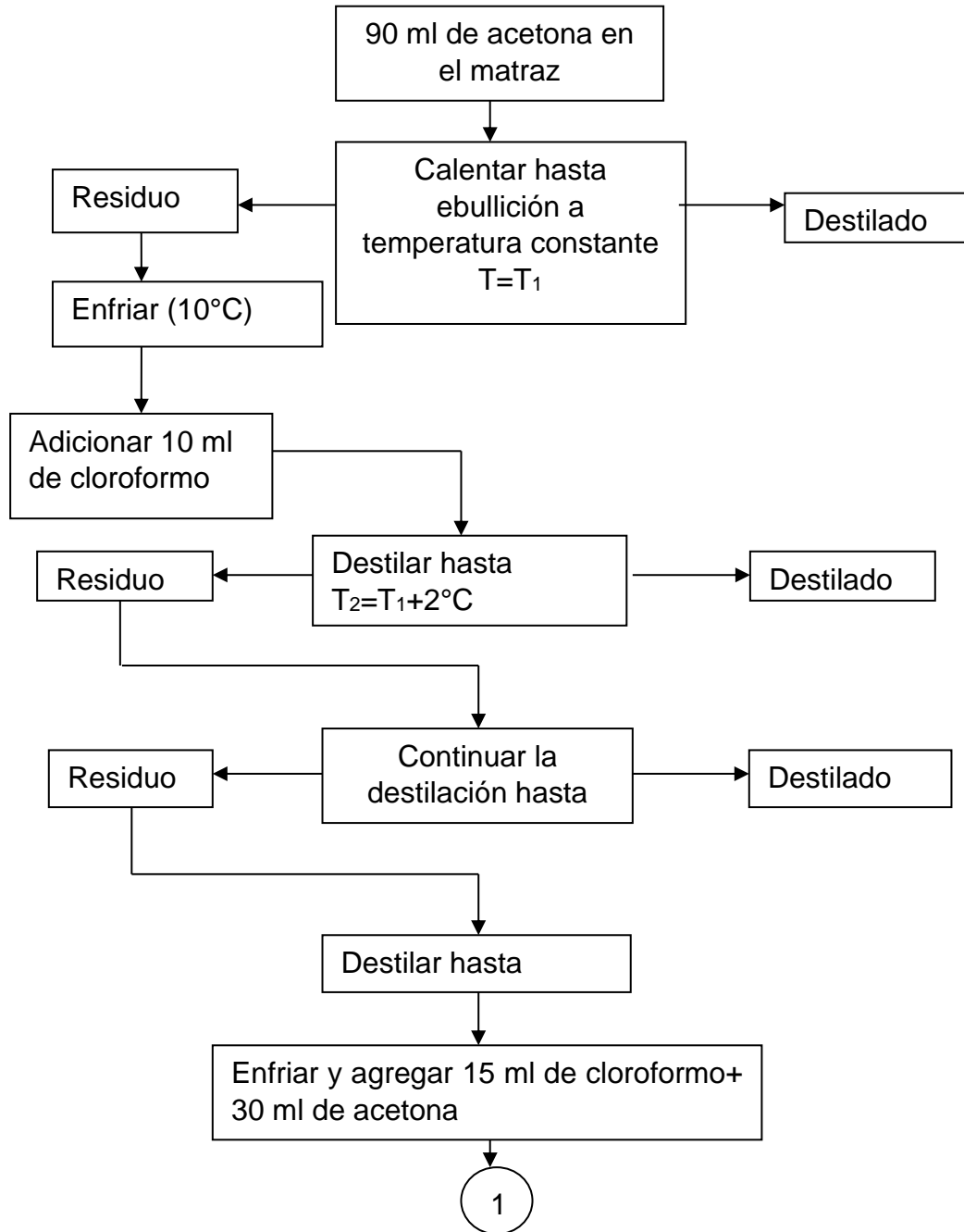
**TABLA 1.** Mezclas acetona - cloroformo para determinar la curva de calibración índice de refracción - %mol

TUBO	VOL. (ml)		% VOLUMEN		% MOL.	
	Acetona	Cloroformo	Acetona	Cloroformo	Acetona	Cloroformo
1	10	0	100	0		
2	9	1	90	10		
3	8	2	80	20		
4	7	3	70	30		
5	6	4	60	40		
6	5	5	50	50		
7	4	6	40	60		
8	3	7	30	70		
9	2	8	20	80		
10	1	9	10	90		
11	0	10	0	100		



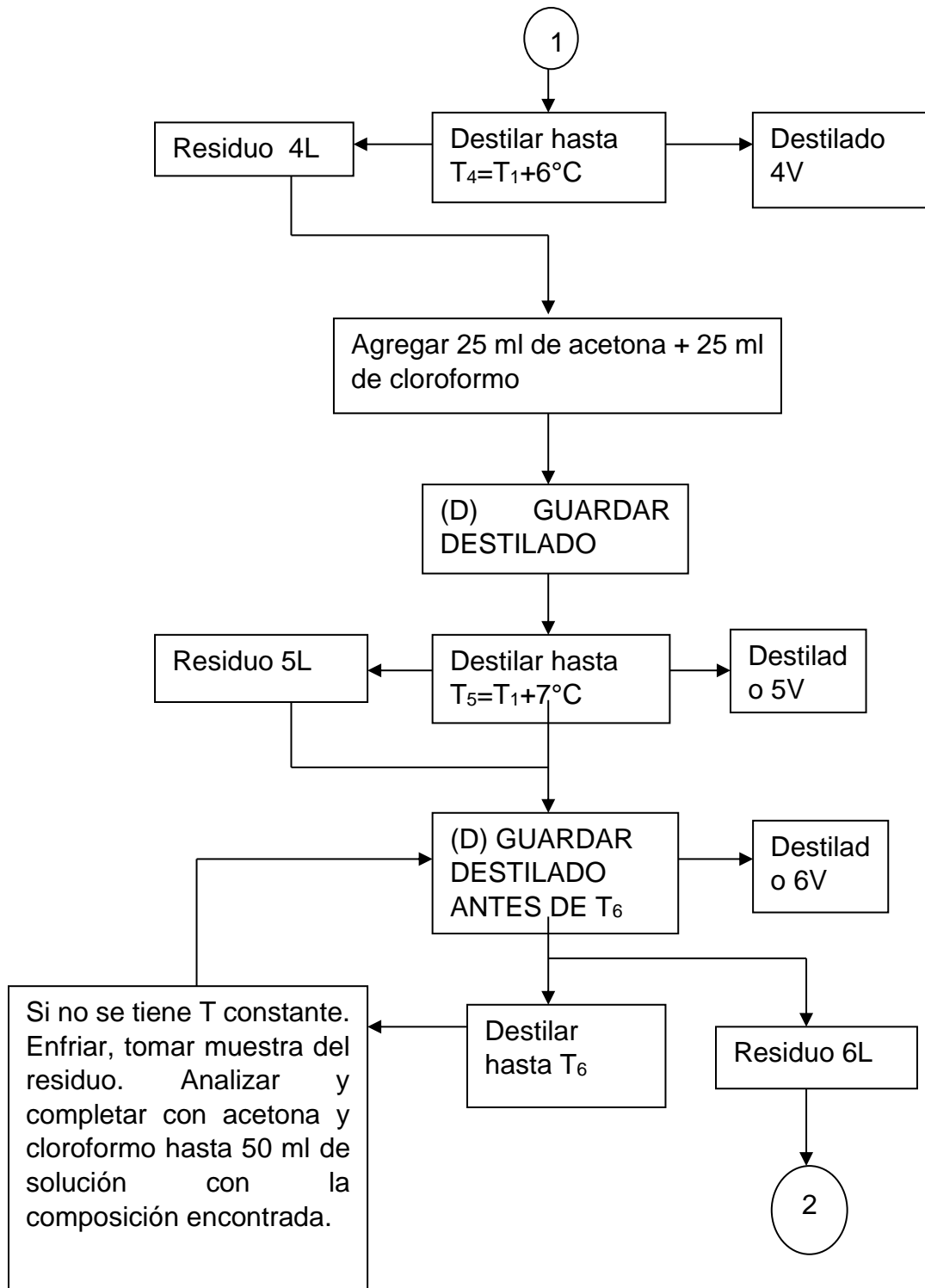
Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	53/ 162

### SECUENCIA DE PASOS



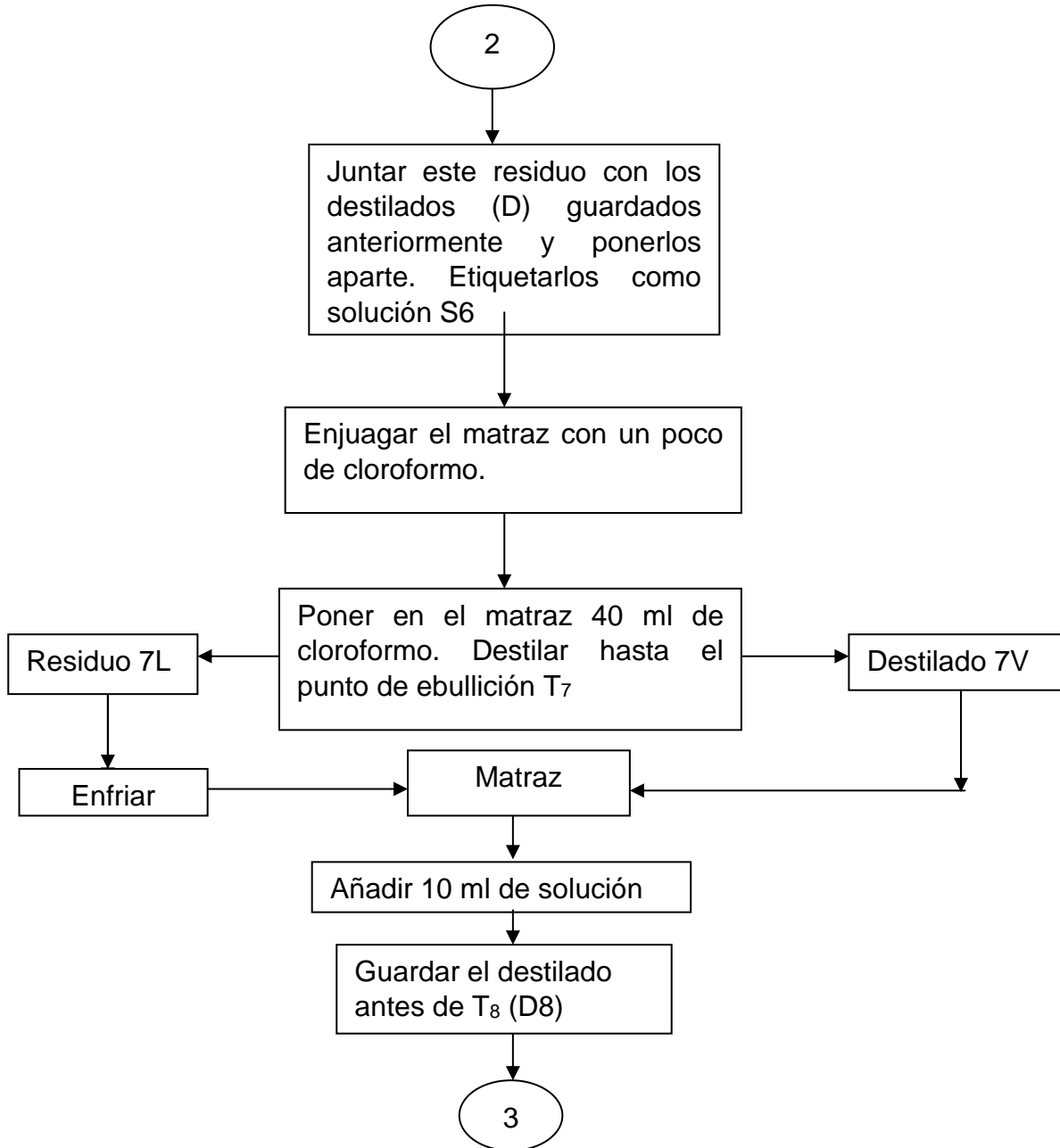


Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	54/ 162





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>55/ 162</b>



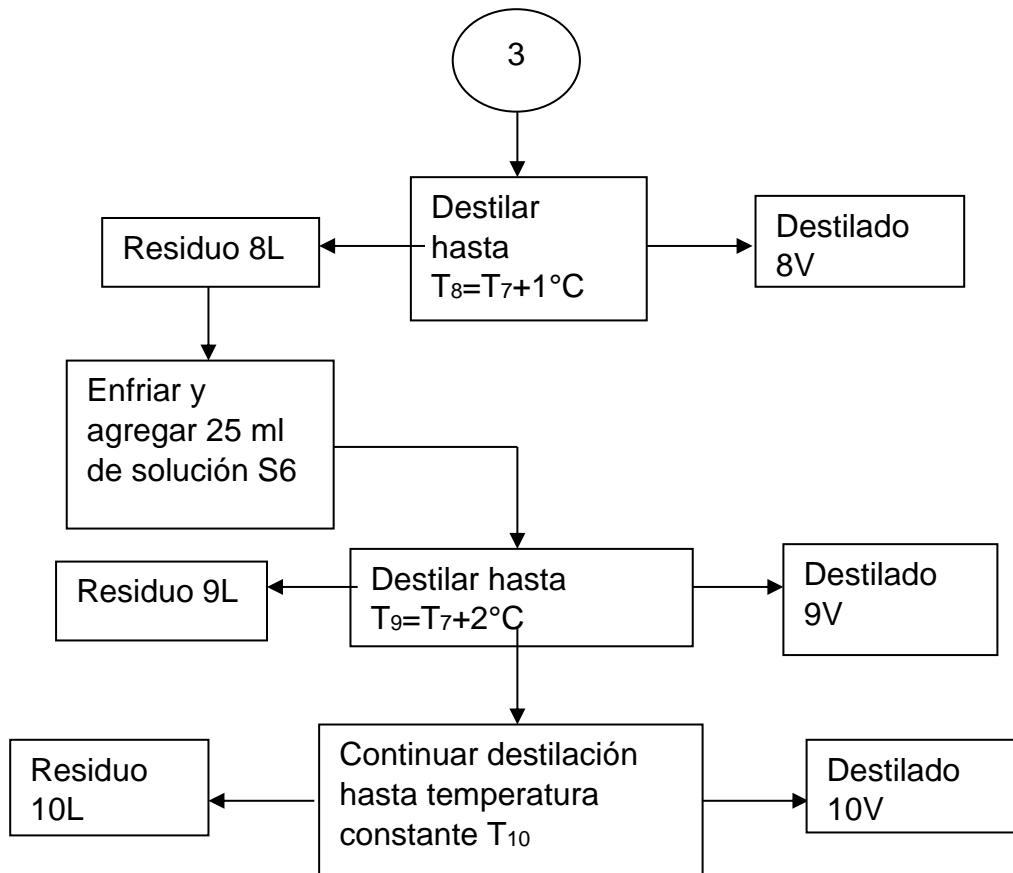


SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>56/ 162</b>







# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	57/ 162

### 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignada en el laboratorio.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Criado-Sancho, M. & J. Casas-Vásquez. (1998). *Termodinámica Química y de los Procesos Irreversibles*. (1ra. Ed.). Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana.
2. Sandler, Stanley. (1999). *Chemical and Engineering Thermodynamics*. (3rd Ed).new york: John Wiley & Sons, Inc. New York.
3. Holland, C. D. (1981). *Fundamentals and modeling of separation processes*. Fundamentos y modelos de procesos de separación, absorción, destilación, evaporación y extracción.
4. King, C. J. (2003). *Procesos de separación*. Reverté.
5. Streeter, V. L., Wylie, E. B., Bedford, K. W., & Saldarriaga, J. G. (1988). *Mecánica de los fluidos* (Vol. 9). McGraw-Hill.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	58/ 162

### L-5

## ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE SECADO

### 1. OBJETIVOS

- 1.1 Determinar el tiempo de secado de un sólido húmedo por el mecanismo de transferencia gobernado por la evaporación del agua.
- 1.2 Determinar la rapidez de secado de un sólido húmedo

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El secado de sólidos es un método que permite separar un líquido de un sólido húmedo. Esta separación generalmente se consigue evaporando el líquido en una corriente gaseosa, por lo que en una operación de secado deben considerarse mecanismos tanto de transmisión de calor como de transferencia de masa.

El secado puede llevarse a cabo por contacto indirecto o directo. En el contacto indirecto, el calor requerido para la vaporización del líquido lo proporciona la corriente gaseosa, en tanto que, en el contacto directo, el calor es proporcionado por una fuente a través de una pared metálica que está en contacto con el material a secar.

La humedad del sólido puede expresarse en base húmeda o base seca, siendo ésta última la que generalmente se emplea debido a que permanece constante durante el periodo de secado.

Es conveniente definir las siguientes cantidades:

X: Humedad. Es el peso del líquido por unidad de peso sólido seco (kg agua / kg s.s.).

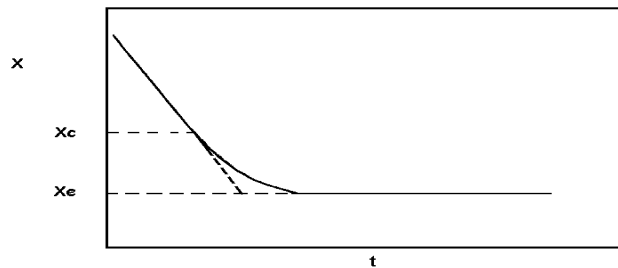
X<sub>e</sub>: Humedad de equilibrio. Es la humedad alcanzada por el sólido en equilibrio con el vapor del líquido, a determinadas condiciones; en otras palabras, es el límite al



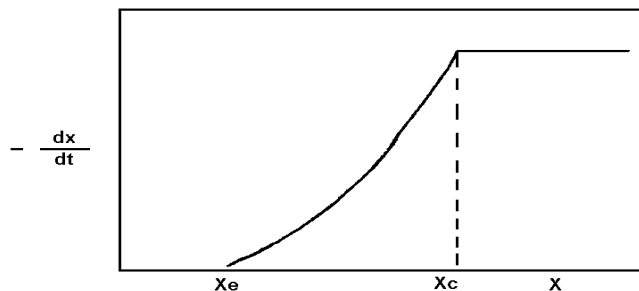
Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	59/ 162

que puede llevarse al contenido de humedad de un sólido por contacto con un vapor a cierta temperatura y humedad. **Se alcanzan las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del vapor de agua del aire.** Ahora bien, para un vapor a determinadas condiciones, la humedad de equilibrio es función de la naturaleza del cuerpo, del tipo de superficie y de la temperatura.

$X_c$ : Humedad crítica. Es la humedad a la cual la rapidez de secado del sólido deja de ser constante.



**Figura 1.** Variación de la humedad con respecto al tiempo



**Figura 2.** Variación de la velocidad de secado con respecto a la humedad

En la figura 1 se presentan la variación de la humedad con respecto al tiempo en un sólido húmedo sometido al proceso de secado y en la figura 2 se presenta la variación de la rapidez de secado con respecto a la humedad.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>60/ 162</b>

La rapidez de secado por unidad de área de superficie está dada por la siguiente ecuación diferencial de variables separables:

$$W = \frac{M}{S} \left( - \frac{dX}{dt} \right) \quad (1)$$

En donde:

W: Velocidad de secado por unidad de área (kg agua / hr-m<sup>2</sup>)

M: Peso del sólido seco (kg s.s.)

S: Área de secado (m<sup>2</sup>)

X: Humedad del sólido (kg agua / kg s.s.)

T: Tiempo (hr)

A partir de la ecuación (1) es posible determinar una relación entre el contenido de humedad de un sólido y el tiempo necesario para reducir dicho contenido de humedad hasta algún valor deseado. De la ecuación (1) se obtiene:

$$dt = \frac{M}{S} \left( - \frac{dX}{W} \right) \quad (2)$$

Condición Inicial  $t = 0$ ,  $X = X_0$ ,

Para obtener el tiempo necesario para disminuir la humedad a un valor X, se integra la ecuación (2), esto es:

$$t = \frac{M}{S} \int_{X_0}^X \left( - \frac{dX}{W} \right) \quad (3)$$

O aplicando la propiedad de anti simetría del operador integral, se tiene lo siguiente:

$$t = \frac{M}{S} \int_X^{X_0} \left( \frac{dX}{W} \right) \quad (4)$$

De la figura 2. En el periodo en que la humedad del sólido disminuye linealmente con el tiempo de secado,  $W = \text{constante}$  (Periodo Antecrítico). Por la ec. (1) por lo tanto:



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	61/ 162

$$t = \frac{M}{s} \left( \frac{X_0 - X_c}{W} \right) \quad (5)$$

En el periodo de velocidad decreciente (Periodo Postcrítico): si no se conoce la relación analítica  $W=f(X)$  la integración de la ecuación puede hacerse representando  $X$  frente  $1/W$ , el valor de la integral será el área limitada por la curva, entre la humedad crítica y la humedad final.

$$t = \frac{M}{s} \int_{X_e}^{X_c} \frac{dX}{W} \quad (6)$$

La integración de la Ec. (6) implica el conocimiento de  $W$  en términos de  $X$ , esto es,  $W(X)$ .

Si la variación de  $X$ , es de la forma mostrada en la figura 2, la integración de las ecuaciones (3) y/o (4) se puede llevar a cabo en forma numérica utilizando, por ejemplo, la regla de Simpson:

$$\int_a^b f(X) dX = \frac{h}{3} [f_0 + 4f_1 + 2f_3 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n] \quad (7)$$

Siendo:

H: Intervalo de integración entre punto y punto

N: Número par

$f_0$ :  $f(a)$

$f_n$ :  $f(b)$

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIALES

- 12 Vasos de 250 ml (**acero inoxidable**)
- 1 Probeta 25 ml
- 2 Vidrios de reloj chicos
- 1 Termómetro -10°C a 150°C
- 1 Espátula mediana



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>62/ 162</b>

- 1 Cronómetro
- 1 Par de guantes de asbesto
- 1 Pinza de crisol

Equipo para tamizar, se sugiere incluir malla 40 con el de que el diámetro sea uniforme

### 3.2 REACTIVOS

- 420 g de ladrillita (tamizar a malla 40)

### 3.3 HERRAMIENTAS

En esta actividad no se utilizarán herramientas

### 3.4 EQUIPO

- 1 Estufa
- 1 Balanza semianalítica
- 1 Balanza de humedad

### 3.5 SERVICIOS

- Corriente eléctrica
- Agua potable

### 3.6 MATERIAL BASICO

- Papel aluminio
- Agua destilada

## 4. PROCEDIMIENTO

1.- Prender el horno y ajustar a un temperatura de 95 a 100 °C.

2.- Tamizar la muestra de ladrillita hasta ajustar 420g de un mismo diámetro de malla (de preferencia malla número 40).

3.- Determinar la humedad de equilibrio en la balanza de humedad usando aproximadamente 5g de ladrillita antes de humedecer.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>63/ 162</b>

NOTA: Consultar el manual de operación de la balanza de humedad para ajustar los valores de temperatura y tiempo de secado.

4.- Preparar 12 muestras de 35 g cada uno en los vasos de secado y enumerar.

5.- Agregar 15 ml de agua a cada vaso y homogenizar, colocar todos los vasos dentro del horno y empezar a registrar el tiempo.

NOTA: Los vasos con muestra deberán colocarse a una altura intermedia en el interior de la estufa.

NOTA: calcular la humedad inicial ( $x_0$ ).

6.- Sacar un vaso del horno cada 15 minutos.

7.- Homogeneizar con una espátula el sólido húmedo del vaso retirado, tomar una muestra de aproximadamente de 5g y determinar su humedad en la balanza de humedad.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

1. Preparar la siguiente tabla de presentación de datos.

Vaso número	Tiempo de secado	X	$\frac{dX}{dt}$	W
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	64/ 162

El cálculo de  $\left(\frac{dX}{dt}\right)_i$  puede hacerse mediante una aproximación de 2o. orden:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right) = \frac{X_i - X_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (8)$$

$$i = 1, \dots, 12$$

### 2. Construir las curvas

- X vs t
- (- dx/dt) vs X
- W vs t
- W vs X

### 3. Proponer una función para W(X).

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

Al finalizar la actividad deberá secar totalmente la ladrillita en el horno para que se regrese al laboratorista.

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Walker Willian H. Lewis K. (1967). *Principles of chemical Engineering*. New York: MacGraw-Hill
2. Mc cabe W. L. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, (4ºEd.). Ed. McGraw-Hill.
3. Treybal, Robert, E. (1985) *Operaciones de Transferencia de Masa*. Mc Grall-Hill.





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	65/ 162

## L-6

### DETERMINACIÓN DEL CALOR DE COMBUSTIÓN

#### 1. OBJETIVOS

1.1 Determinar el calor de combustión de materiales orgánicos

- Glicerina
- Etilenglicol

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El calor de combustión de una sustancia orgánica es la energía liberada al oxidar hasta bióxido de carbono y agua una unidad de masa de tal sustancia.

Reacción de combustión del ácido benzoico:



Reacción de combustión del etilenglicol:



Reacción de combustión de glicerina.



La determinación del calor de combustión se basa en la medición del aumento de la temperatura de una masa conocida de agua bajo condiciones adiabáticas. La reacción de combustión se lleva a cabo en una atmósfera virtualmente de oxígeno puro, a una presión de 25 atm (367.5 psi) aproximadamente. En tales condiciones se llevan a cabo reacciones laterales de oxidación con sustancias de la muestra (azufre, por ejemplo) y nitrógeno atmosférico (remanente dentro de la bomba abierta a la atmósfera mientras se prepara la (muestra) que no se oxidarían a presión atmosférica.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>66/ 162</b>

Estas reacciones normalmente dan lugar a la formación de ácidos al reaccionar los óxidos formados con el agua que se genera en la reacción de oxidación. El calor generado en estas reacciones secundarias debe calcularse para hacer una estimación precisa del calor de combustión de la muestra de interés.

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

- 1 Matraz aforado de 2 litros
- 1 Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- 1 Espátula chica
- 1 Cronómetro
- 10 cm de alambre de Ni-Cr
- 1 Vaso de precipitados de 50 ml

#### 3.2 REACTIVOS

- 1 g Ácido benzoico (en tabletas)
- 0.8 g Etilenglicol
- 1.2 g Glicerina
- 3.84 g Carbonato de sodio
- Indicador anaranjado de metilo o rojo de metilo
- litros de agua destilada

#### 3.3 HERRAMIENTAS

En esta actividad no se utilizarán herramientas

#### 3.4 EQUIPO

- 1 Balanza analítica
- 1 Bomba calorimétrica (cuidar que el termómetro empleado corresponda a la gráfica de corrección de temperatura).
- Parrilla de Agitación



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	67/ 162

### 4. PROCEDIMIENTO

#### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DEL CALORÍMETRO

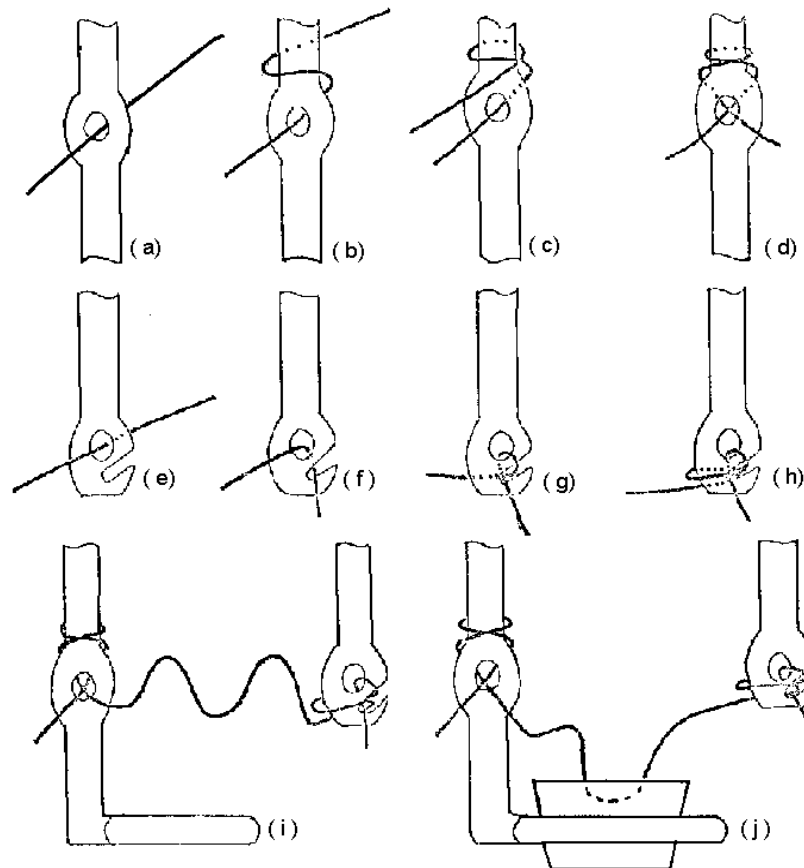
1. Pesar aproximadamente un gramo de ácido benzoico (en tabletas).
2. Colocar el alambre de Ni-Cr (10cm), según se indica en la figura 1.
3. Colocar la muestra de ácido benzoico en la cápsula de la bomba.
4. Colocar 1 ml de agua destilada en la bomba de oxígeno, evitando mojar a pastilla de ácido benzoico.
5. Cerrar la bomba de oxígeno y llenar con oxígeno el cilindro hasta que la presión dentro de esta sea de 25 atm. **NO DEBERÁ TRABAJARSE A UNA PRESIÓN MAYOR DE 30 atm.**
6. Llenar la cubeta del calorímetro con 2 litros de agua destilada que tenga temperatura ambiente
7. Colocar la cubeta en el calorímetro y la bomba en el interior de la cubeta, manejándola con cuidado para que la muestra no vaya a voltear en el interior.
8. Agitar el agua de la cubeta con la propela para homogenizar la temperatura del sistema.
9. Conectar los alambres de ignición en las terminales de la bomba de oxígeno.
10. Poner la cubierta con el termómetro sobre la cubeta y mover manualmente la propela para asegurarse de que gire libremente.
11. Conectar el motor del agitador integrado al equipo y operarlo, a partir de ese momento, empezar a registrar la temperatura durante 5 minutos.
12. Oprimir el botón de ignición para iniciar la combustión de la muestra.
13. Registrar la temperatura en intervalos de 1 minuto hasta que ya no se observe un cambio significativo.
14. Proceder a quitar la cubierta, desconectar las terminales de ignición y sacar la bomba de oxígeno. Abrir la válvula de seguridad lentamente para liberar la presión y finalmente abrir la bomba.
15. Medir el alambre que no se haya quemado.
16. Colectar el agua acumulada dentro de la bomba de oxígeno, enjuagando la cápsula y las paredes de la bomba con agua destilada.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	68/ 162

17. Titular la solución colectada con una solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.0725N, (3.84 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  por litro de solución) utilizando como indicador anaranjado de metilo o rojo de metilo.

Nota: se sugiere preparar 100 ml de la solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  para cuatro equipos



**Figura 1.** Pasos para colocar el alambre de Ni – Cr.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>69/ 162</b>

### 4.2 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

1. Pesarse preferentemente dentro de la cápsula, aproximadamente 1.2 g de glicerina y tratar la muestra cómo se describe en la sección 4.1
2. Pesarse preferentemente dentro de la cápsula, aproximadamente 1.2 g de etilenglicol y tratar la muestra cómo se describe en la sección 4.1

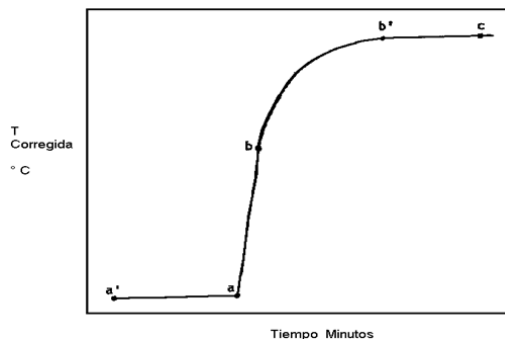
### 5. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos para cada muestra pueden presentarse de la siguiente forma:

**Tabla 1.** Resultados obtenidos.

Tiempo min	Temperatura observada °C

Realizar una gráfica de Temperatura contra tiempo, se obtiene una curva como la que se muestra en la figura 2. Identificar los puntos a', a, b, b' y c.



- a': Tiempo inicial de la prueba (tiempo cero)
- a: Tiempo que ha comenzado la ignición (5 min)
- b: Incremento de temperatura en un 60%
- b': Tiempo de inicio de estabilización de la temperatura
- c: Tiempo de estabilización de la temperatura

**Figura 2.** Gráfica de aumento de temperatura (T) en función del tiempo (t)



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	70/ 162

### A. Determinación de la constante del calorímetro

Utilizando la gráfica de ácido benzoico

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_3}{T} \quad (1)$$

*W*: Constante del calorímetro (cal/° C).

*H*: Calor de combustión del ácido benzoico (6 318 cal/g)

*m*: masa del ácido benzoico.

$$e_1 = \left( \begin{array}{l} \text{Volumen de solución de } Na_2CO_3 \\ 0.0725 N \text{ utilizado en la titulación} \\ \text{colectada en ml} \end{array} \right) \times \left( 1 \frac{\text{cal}}{\text{ml}} \right) \quad (2)$$

$$e_3 = \left( \begin{array}{l} \text{Longitud del alambre} \\ \text{de Ni - Cr consumido} \\ \text{en la combustión en cm} \end{array} \right) \times \left( 2.3 \frac{\text{cal}}{\text{ml}} \right) \quad (3)$$

$$T = T_{c'} - T_{a'} - r_1(t_b - t_a) - r_2(t_c - t_b) \quad (4)$$

#### Cálculo de temperatura corregida (T)

1. Calcular el 60% del aumento total de la temperatura a lo largo de la prueba utilizando la expresión  $(T_{c'} - T_{a'}) * 0.6$
2. Calcular  $(T_b)$  con la siguiente expresión  $(T_b) = T_{a'} + 60\%$  del aumento total de la temperatura.
3. En la gráfica ubicar  $(T_b)$  en el eje de las ordenadas, interpolar al eje de las abscisas y obtener el tiempo  $(t_b)$  a dicha temperatura.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	71/ 162

4. Calcular la tasa de cambio de la temperatura con respecto al tiempo del pre-periodo. (r1)

$$r_1 = \frac{T_{a'} - T_a}{t_{a'} - t_a} \quad (5)$$

$$r[=] \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$$

5. Calcular la tasa de cambio de temperatura con respecto al tiempo de post- periodo (r2).

$$r_1 = \frac{T_c - T_{c'}}{t_c - t_{c'}} \quad (6)$$

$$r[=] \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$$

6. Calcular el aumento neto de la temperatura corregida (T)

$$T = T_{c'} - T_{a'} - r_1(t_b - t_a) - r_2(t_c - t_b) \quad (7)$$

$$T = ^{\circ}\text{C}$$

**B. Determinación del calor de combustión de las muestras.**

$$H_m = \frac{(T)(W) - e_1 - e_3}{m} \quad (8)$$

Dónde:

$H_m$ : Calor de combustión de la muestra (Cal / g)

W: Constante del calorímetro (cal / °C)

T,  $e_1$  y  $e_3$  son las mismas definidas anteriormente, pero ahora calculadas con base a la gráfica de Temperatura contra tiempo de la muestra.

$e_2$  = Corrección para el calor de formación del ácido sulfúrico en calorías  
(Estos valores generalmente son pequeños y se desprecian)

m: masa de la muestra



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	72/ 162

### 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignada en el laboratorio
- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### 7. BIBLIOGRAFIA

1. Smith, J.M., (2003). *Introducción a la Termodinámica en la Ingeniería Química*. MEXICO, D.F: McGraw-Hill.
2. Palmer, W. G. (1966). *Química física experimental* (No. QD453 P3e).
3. Hoare, D. E. (1974). *Introducción a la química general y fisicoquímica* (No. QD455. 3. E4. H62.).
4. NORMA MEXICANA NMX-AA-33-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de poder calorífico superior.





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	73/ 162

## L-7 DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES MOLARES PARCIALES

### 1. OBJETIVOS

1.1 Calcular los volúmenes molares parciales, en función de la concentración, para los componentes de una solución binaria formada por un electrolito sencillo y agua.

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La mayor parte de los fenómenos que poseen interés desde un punto de vista químico tienen lugar, normalmente, a una presión y temperatura determinadas. Por esta razón es indudable que el conjunto de variables independientes elegidas para especificar el estado de un sistema químico debe estar integrado por la temperatura, la presión y, si se trata de un sistema abierto, por las cantidades de los diversos constituyentes presentes en el mismo.

El volumen es una propiedad extensiva cuya dependencia del número de moles se puede expresar como (consultar el apéndice para comprender la simbología).

$$V = V(n_1, n_2, \dots, n_i) \quad (1)$$

A Presión y Temperatura constantes (en base al teorema de Euler para funciones homogéneas)

$$n_1 \frac{\partial V}{\partial n_1} + n_2 \frac{\partial V}{\partial n_2} + n_3 \frac{\partial V}{\partial n_3} + \dots + n_i \frac{\partial V}{\partial n_i} = V \quad (2)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	74/ 162

A las cantidades

$$\left(\frac{\partial V}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_{j \neq i}} = \bar{V}_i \quad (3)$$

Se les denominan volúmenes molares parciales. De esta manera el volumen total de una mezcla se puede calcular en términos de los volúmenes molares parciales de la siguiente forma:

$$V = n_1 \bar{V}_1 + n_2 \bar{V}_2 + n_3 \bar{V}_3 + \dots + n_i \bar{V}_i \quad (4)$$

Obviamente, las propiedades molares parciales son funciones homogéneas de grado cero (magnitudes intensivas) y físicamente representan la variación que sufre la propiedad extensiva del sistema cuando, a temperatura y presión constantes, se adiciona un mol del componente  $i$  a una cantidad tal del sistema que esta adición no modifica prácticamente su composición.

Para soluciones binarias la ecuación se reduce a:

$$V = n_1 \bar{V}_1 + n_2 \bar{V}_2 \quad (5)$$

En el caso de soluciones cuyo soluto es un electrolito simple, se ha encontrado conveniente definir un nuevo término, que se denomina volumen molar aparente  $\emptyset$ . Es decir, considerando un sistema binario de composición definida por  $n_1$  y  $n_2$  y sea  $X$  la determinación de una propiedad extensiva cualquiera del mismo. Si  $X^{0_1}$  es el valor de la propiedad por mol del constituyente puro 1, entonces el valor molar aparente  $\emptyset$  de la propiedad dada para el componente 2 viene dado por:

$$\emptyset = \frac{X - n_1 X_1^0}{n_2} \quad (6)$$

Este concepto queda definido por la expresión:

$$V = n_1 \bar{V}_1^0 + n_2 \emptyset \quad (7)$$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>75/ 162</b>

Donde  $\bar{V}_1^0$  es volumen molar del agua pura a la Temperatura y Presión del sistema.

Para el cálculo de los volúmenes molares parciales puede utilizar las ecuaciones (3) y (6) de la siguiente manera:

$$\bar{V}_1 = \left( \frac{\partial V}{\partial n_1} \right)_{T,P,n_2} = \frac{\partial}{\partial n_1} (n_1 \bar{V}_1^0 + n_2 \phi) \quad (8)$$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_1^0 + n_2 \left( \frac{\partial \phi}{\partial n_1} \right) \quad (9)$$

Cuando se trabaja con electrolitos resulta conveniente expresar la composición en términos de la molalidad.

$$m = \frac{n_2 1000}{n_1 M_1} \quad (10)$$

$$\left( \frac{\partial n_1}{\partial m} \right) = \frac{n_2 1000}{m^2 M_1} \quad (11)$$

Donde  $M_1$  : Peso molecular del solvente.

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_1^0 - \frac{M_1}{1000} m^2 \left( \frac{\partial \phi}{\partial m} \right) \quad (12)$$

Para el soluto tenemos:

$$\bar{V}_2 = \left( \frac{\partial V}{\partial n_2} \right)_{T,P,n_2} = \frac{\partial}{\partial n_2} (n_1 \bar{V}_1^0 + n_2 \phi) \quad (13)$$

$$\bar{V}_2 = n_2 \left( \frac{\partial \phi}{\partial n_2} \right) + \phi \quad (14)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>76/ 162</b>

O bien, en términos de la molalidad

$$\frac{\partial n_2}{\partial m} = \frac{n_2}{m} \quad (15)$$

$$\bar{V}_2 = m \left( \frac{\partial \phi}{\partial m} \right) + \phi \quad (16)$$

De esta manera se podrían calcular los volúmenes molares parciales  $\bar{V}_1$  y  $\bar{V}_2$  haciendo una gráfica de  $\phi$  contra  $m$  y obteniendo las pendientes de las líneas tangentes a la curva a las concentraciones deseadas, sin embargo, en el caso de los electrolitos sencillos se ha encontrado que  $\phi$  varía linealmente con  $m$  hasta concentraciones moderadas. Por lo tanto, resulta conveniente reformar las ecuaciones obtenidas para calcular los volúmenes molares parciales en términos de  $m$ .

El valor de la derivada  $\frac{\partial \phi}{\partial m}$  se puede poner en términos de  $\sqrt{m}$  utilizando la regla de la cadena como sigue:

$$\frac{\partial \phi}{\partial m} = \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \frac{\partial \sqrt{m}}{\partial m} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial m} = \frac{1}{2\sqrt{m}} \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \quad (18)$$

Sustituyendo la ecuación (17) en (11) y (15):

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_1^0 - \frac{M_1}{1000} m^2 \left( \frac{1}{2\sqrt{m}} \right) \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (19)$$

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_1^0 - \frac{M_1}{1000} m \left( \frac{\sqrt{m}}{2} \right) \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (20)$$

$$\bar{V}_2 = \phi + m \left( \frac{1}{2\sqrt{m}} \right) \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (21)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	77/ 162

$$\bar{V}_2 = \phi + \frac{\sqrt{m}}{2} \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (22)$$

Pero  $\phi$  varia linealmente con  $\sqrt{m}$

$$\phi = \phi^0 + \sqrt{m} \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (23)$$

$$\bar{V}_2 = \phi^0 + \frac{3\sqrt{m}}{2} \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (24)$$

Donde  $\phi^0$  es el volumen molar aparente extrapolado a concentración 0.

En función de lo discutido, podemos hacer una gráfica de  $\phi$  contra  $\sqrt{m}$  y trazar una recta de ajuste a los valores obtenidos experimentalmente de  $\phi$ ,  $\bar{V}_1$ ,  $\bar{V}_2$

La determinación de  $\phi$  se hace de acuerdo a la ecuación de definición (ec. 6), esto es:

$$\phi = \frac{(V - n_1 \bar{V}_1^0)}{n_2} \quad (25)$$

O bien, en términos de la molalidad:

$$\phi = \frac{1000}{mM_1} \left( \frac{V}{n_1} - \bar{V}_1^0 \right) \quad (26)$$

El volumen total de la solución se define como:

$$V = \frac{m_t}{\rho} \quad (27)$$

$$V = \frac{m_1 + m_2}{\rho} \quad (28)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	78/ 162

En donde  $m_1$  y  $m_2$  son las masas individuales de los componentes 1 y 2 respectivamente.

Con base en la ecuación (28) se puede escribir:

$$V = \frac{m_1 + n_2 M_2}{\rho} \quad (29)$$

$$V = \frac{m_1 + \left(\frac{n_1 M_1 m}{1000}\right) M_2}{\rho} = \frac{m_1}{\rho} \left[ 1 + \frac{m M_2}{1000} \right] \quad (30)$$

$$\overline{V}_1^0 = \frac{m_1}{\rho^0} \quad (31)$$

Sustituyendo en (26) se obtiene finalmente:

$$\phi = \frac{1000}{m M_1} \left[ \frac{m_1 \left( 1 + \frac{m M_2}{1000} \right)}{\rho n_1} - \frac{M_1}{\rho^0} \right] \quad (32)$$

$$\phi = \frac{1}{\rho} \left[ M_2 + \frac{1000}{m} - \frac{1000 \rho}{m \rho^0} \right] \quad (33)$$

$$\phi = \frac{1}{\rho} \left[ M_2 - \frac{1000}{m} \left( \frac{\rho}{\rho^0} - 1 \right) \right] \quad (34)$$

$$\phi = \frac{1}{\rho} \left[ M_2 - \frac{1000}{m} \left( \frac{\rho - \rho^0}{\rho^0} \right) \right] \quad (35)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	79/ 162

Esta última expresión se puede poner en términos de los pesos medidos del picnómetro como sigue:

$$\phi = \frac{1}{\rho} \left[ M - \frac{1000}{m} \left( \frac{W - W_0}{W_0 - W_e} \right) \right] \quad (36)$$

Dónde:

$W$ : Peso del picnómetro con la solución

$W_0$ : Peso del picnómetro con agua pura

$W_e$  : Peso del picnómetro vacío

### 3. MATERIAL Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

- 1 vidrio de reloj
- 1 Matraz aforado de 200 ml
- 4 Matraz aforado de 100 ml
- 1 vidrio de reloj mediano
- 1 Pipeta volumétrica de 50 ml
- 1 Pipeta volumétrica de 25 ml
- 1 Pipeta volumétrica de 10 ml
- 1 Pipeta volumétrica de 5 ml
- 1 Pipeta volumétrica de 2 ml
- 5 Picnómetros de 20 ml
- 1 Termómetro con escala de -10 a 100 °C
- 1 Embudo tallo corto
- 2 Vaso de precipitados de 100 ml
- 1 Espátula mediana con mango de madera
- 1 perilla



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>80/ 162</b>

### 3.2 REACTIVOS

- 35.1 g cloruro de sodio grado reactivo

### 3.3 HERRAMIENTAS

- En esta actividad no se utilizan herramientas

### 3.4 EQUIPO

- 1 Balanza analítica
- 1 Baño de temperatura constante

### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad

### 3.6 MATERIAL BASICO.

- Pisseta
- Etiquetas
- Papel filtro
- Agua destilada (1 litro)

## 4. PROCEDIMIENTO

### 4.1 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN 3M DE CLORURO DE SODIO.

Se pesa la cantidad requerida de soluto en la balanza analítica y se disuelve en agua destilada, aforando en un matraz a 200 ml.

### 4.2 DILUCIONES

Se coloca el volumen correspondiente para preparar soluciones de concentración 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 M cada una en un matraz aforado de 100 ml.

### 4.3 CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

Se debe pesar el Picnómetro vacío y seco, y se debe obtener el peso del picnómetro lleno con agua destilada a 25 °C, repetir  $W_e$  y  $W_o$  como comprobación, ya que los resultados del experimento dependen de ellos.





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>81/ 162</b>

#### 4.4 CALCULAR VOLUMEN REAL DEL PICNÓMETRO

Con la ecuación 3.6

**Tabla 1.** Resultados a partir de la ecuación 3.6

Núm. del picnómetro	Picnómetro		Densidad H <sub>2</sub> O a 25°C	Vol. Real (ml)
	Vacío [g] (W <sub>e</sub> )	Con agua [g] (W <sub>0</sub> )		

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS SOLUCIONES:

1. Se llena el picnómetro con el líquido.
2. Se coloca en el baño de temperatura constante a 25 °C con el cuerpo principal bajo la superficie de agua. Se deja en esa posición por lo menos quince minutos para alcanzar el equilibrio térmico. Ajustar volumen a la marca del menisco.
3. Se saca el picnómetro del baño, secando bien su superficie externa con una toalla y papel filtro.
4. Pesarse en la balanza analítica (W), repetir 3 veces, llenando en cada ocasión el picnómetro.

### 5. TRATAMIENTO DE DATOS

#### 5.1 PRESENTACIÓN DE DATOS

Se debe reportar la siguiente Tabla:



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	82/ 162

**Tabla 2.** Resultados obtenidos

SOLUCIÓN	MOLARIDAD (M)	W(g)
1		
2		
3		
4		
5		

Para poder presentar las tablas que se pide en la sección anterior es necesario hacer los siguientes cálculos. El volumen del picnómetro lo podemos calcular utilizando:

$$V_p = \frac{W_0 - W_e}{\rho^0} \quad (37)$$

Donde  $\rho^0$  es la densidad del agua pura a 25 °C. Cuyo valor es 0.997044 g cm<sup>-3</sup>.

La densidad de las diferentes soluciones se calcula mediante la ecuación:

$$\rho = \frac{W - W_e}{V_p} \quad (38)$$

Las molalidades necesarias para los cálculos de  $\emptyset$  se pueden obtener mediante la ecuación:

$$m = \frac{1}{\frac{\rho}{M} \frac{M_2}{1000}} \quad (39)$$

Con la información anterior, estamos en posibilidad de calcular  $\emptyset$  con la ecuación:

$$\emptyset = \frac{1}{\rho} \left[ M_2 - \frac{1000}{m} \left( \frac{W - W_0}{W_0 - W_e} \right) \right] \quad (40)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	83/ 162

Empleando papel milimétrico se procede a graficar  $\phi$  vs  $\sqrt{m}$ . (Se traza la recta que mejor ajuste los puntos y se obtiene de ella tanto la pendiente  $\frac{\partial \phi}{\partial m}$  como la ordenada al origen  $\phi^0$ ).

Con las ecuaciones (19) y (23) se calcula los volúmenes molares parciales.

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_1^0 - \frac{M_1}{1000} m \left( \frac{\sqrt{n_1}}{2} \right) \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (41)$$

$$\bar{V}_2 = \phi^0 + \frac{3\sqrt{m}}{2} \left( \frac{\partial \phi}{\partial \sqrt{m}} \right) \quad (42)$$

Finalmente se puede construir una gráfica de  $V_2$  vs  $m$  y de  $V_1$  vs  $m$  para observar el comportamiento.

## SIMBOLOGÍA

$m$ : Molalidad

$m_1$ : Masa de solvente

$m_2$ : Masa del soluto

$m_T$ : Masa total  $m_1 + m_2$

$M$ : Molaridad

$M_1$ : Peso molecular del solvente

$M_2$ : Peso molecular del soluto

$V$ : Volumen total de la solución

$\bar{V}_1$  = Volumen molar del solvente

$\bar{V}_2$  = Volumen molar del soluto

$\bar{V}_1^0$ : Volumen molar del agua pura a T y P del sistema

$n_1$  : Número de moles del solvente

$n_2$  : Número de moles del soluto



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	84/ 162

$\rho$ : Densidad de la solución

$\rho^0$ : Densidad del agua pura a T y P del sistema

$\varnothing$ : Volumen molar aparente del soluto

$\varnothing^0$ : Volumen molar aparente del soluto extrapolado a concentración cero.

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

Los residuos generados se enviarán al drenaje.

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Anthony F. Fucaloro. (7 de julio del 2002). *Partial Molar Volumes from Refractive Index Measurements*. (vol. 79) Journal of Chemical Education. P.867
2. Shoemaker, C. Garland, J. Steinfeld, and J. Nibler, *Experiments in Physical Chemistry*. New York: McGraw-Hill.
3. Hoare, D. E. (1974). Introducción a la química general y fisicoquímica (No. QD455. 3. E4. H62.).



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	85/ 162

## L-8

### DETERMINACIÓN DEL CALOR DE SOLUCIÓN

#### 1. OBJETIVOS

1.1 Determinar el coeficiente de actividad de una sustancia sólida disuelta en agua, por medio del modelo de Debye Hückel

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

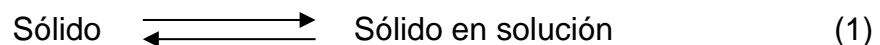
La solubilidad de un sólido depende de la temperatura de la solución, del punto de fusión del sólido y de su entalpía molar de fusión,  $\Delta H_f$ .

Se denomina calor diferencial o parcial de solución, a una concentración dada, al incremento de entalpía cuando una mol de disolvente o de soluto se disuelve en un volumen de solución tal que no se produce un cambio apreciable en la concentración de ésta.

En una solución ideal, el calor diferencial de solución es igual al calor de fusión, el cual se supone que es una constante independiente de la temperatura.

También se define el calor diferencial o parcial de solución ( $\Delta H_s$ ) como el calor absorbido cuando un mol de sólido se disuelve en una solución prácticamente saturada.

La ecuación de Schröder relaciona el calor diferencial de solución con la temperatura y la constante de equilibrio del sistema:



De acuerdo a:

$$\ln(K_s) = \left(-\frac{\Delta H_s}{R}\right) \left(\frac{1}{T}\right) + \text{constante} \quad (2)$$

O alternativamente



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	86/ 162

$$\ln \left( \frac{K_s(T_1)}{K_s(T_2)} \right) = - \frac{\Delta H_s}{R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad (3)$$

En donde  $K_s$  es la constante de equilibrio de disolución:

$$K_s = \frac{a_s}{a'_s} \quad (4)$$

$a_s$  = Actividad del soluto en solución saturada

$a'_s$  = Actividad del soluto sólido

Se sabe que:

$a'_s = 1$  para fase sólida y

$a_s = \gamma_s m$  para soluto en solución

$\gamma_s$  = coeficiente de actividad del soluto en solución

$m$  = molalidad del soluto en solución saturada.

Entonces:

$$K_s(T) = \gamma_s m \quad (5)$$

De acuerdo a la teoría de Debye-Hückel, el coeficiente de actividad para soluciones de electrolitos está dada por la siguiente ecuación:

$$\log \gamma_s = A_\gamma \frac{\sqrt{m}}{1 + \sqrt{m}} + Bm \quad (6)$$

En donde:

$A_\gamma$  = Constante que depende del tipo de solvente y de la temperatura

$B$  = Constante que depende de la molalidad y de la temperatura

$m$  = Molalidad de la solución saturada

Cuando la concentración de la solución es relativamente baja, el coeficiente de actividad se puede estimar como:



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	87/ 162

$$\log \gamma_s = -A_\gamma \frac{\sqrt{m}}{1+\sqrt{m}} \quad (7)$$

En la tabla 1 se presentan los valores de  $A_\gamma$  para el agua. <sup>1\*</sup>

**Tabla 1.** Temperatura vs  
Concentración

$A_\gamma$ PARA EL AGUA	
Temperatura (°C)	A
0	0.492
10	0.499
20	0.507
30	0.511
40	0.517
50	0.524

**Tabla 2.** Temperatura vs molalidad.  
TEMPERATURA (°C)

m	0	10	20	25	30	40	50
0.01	0.0767	0.0860	0.0953	0.1000	0.1046	0.1139	0.1232
0.1	0.0642	0.0733	0.0824	0.0870	0.0915	0.1009	0.1097
1.0	0.0199	0.0263	0.0327	0.0359	0.0391	0.0455	0.0518
1.5	0.0164	0.0221	0.0278	0.0307	0.0335	0.0392	0.0449
2.0	0.0153	0.0205	0.0258	0.0284	0.0310	0.0423	0.0414
3.0	0.0151	0.0195	0.0239	0.0261	0.0283	0.0327	0.0371
4.0	0.0157	0.0196	0.0234	0.0253	0.0272	0.0310	0.0348
5.0	0.0165	0.0198	0.0231	0.0248	0.0246	0.0297	0.0330

NOTA: LOS VALORES DE B SE HAN CALCULADO EN ESTA TABLA, TOMANDO COMO REFERENCIA LA TEMPERATURA DE 25 °C Y LAS MOLALIDADES CORRESPONDIENTES.

<sup>1</sup>□ En la tabla 2 se presentan los valores de B como función de la temperatura y la molalidad.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	88/ 162

La fórmula empleada para los cálculos es:

$$B = B_{(25^{\circ}\text{C})} + \frac{dB}{dT} (T - 25) \quad (8)$$

T en °C

Para información adicional consultar el apéndice 4 del libro "Thermodynamics" de Lewis y Randall, Ed. Mc Graw Hill-Kogakusha, 2nd. Edition.

**Tabla 3.** Parámetros para cada corrida

MATRAZ	KCI EN CADA MATRAZ	ENFRIAR A CHORRO DE AGUA A:	TEMPERATURA DEL BAÑO:
1	22.2	30 °C	25 °C
2	24.0	40 °C	35 °C
3	25.6	50 °C	45 °C

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

- 3 Matraces Erlenmeyer de 100 ml
- 6 Matraces Erlenmeyer de 25 ml
- Matraz aforado de 100 ml
- Pipeta volumétrica de 5 ml
- Pipeta volumétrica de 1 ml
- Probeta de 100 ml
- Varilla de agitación
- 3 Vidrios de reloj medianos
- perilla de succión
- Soporte universal
- Pinza para bureta
- Pinzas de tres dedos





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>89/ 162</b>

- Termómetro de -20 a 100 °C
- Bureta de 50 ml
- par de guantes de asbesto

### 3.2 REACTIVOS

- Solución de  $\text{AgNO}_3$  0.1 N (1.6987 g en 100 ml)
- 72.2 g de cloruro de potasio
- Solución de cromato de potasio (solicitar solo el volumen)

### 3.3 HERRAMIENTAS

- En esta actividad no se utilizan herramientas

### 3.4 EQUIPO

- Balanza analítica
- Baño de temperatura constante
- Parrilla de calentamiento

### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad

### 3.6 MATERIAL BASICO

- Agua destilada
- Piseta

## 4. PROCEDIMIENTO

### 4.1 PREPARACIÓN DE SOLUCIONES SATURADAS DE KCl

Lavar y secar perfectamente los tres matraces Erlenmeyer de 100 ml, etiquetarlos con los números 1, 2 y 3.

A cada matraz se le adiciona 60 ml de agua destilada medida con la bureta y KCl previamente pesado en la balanza analítica de acuerdo a la tabla 3.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	90/ 162

### 4.2 DETERMINACIÓN DE LA MOLALIDAD DE LAS SOLUCIONES SATURADAS DE KCl

El matraz 1 se calienta a ebullición por 5 minutos y se enfría al chorro de agua hasta la temperatura indicada en la tabla 3. Se coloca en el baño de temperatura constante a la temperatura indicada en la tabla 3 y se deja que llegue al equilibrio térmico agitando de vez en cuando (aproximadamente 30 minutos) se toma una muestra de 1 ml con una pipeta volumétrica por medio de un pedacito de tubo de hule con lana de vidrio para impedir que el sólido entre en la solución. La muestra se coloca en el matraz aforado de 100 ml y se afora con agua destilada hasta la marca. Se toma una alícuota de 5 ml de la solución del matraz aforado y se titula con nitrato de plata 0.1 N utilizando cromato de potasio como indicador (el vire de color va de un amarillo pálido a un anaranjado permanente en el punto final de la titulación). Se toman otros 5 ml de la solución del matraz aforado y se repite la titulación. Una vez determinada la molalidad de la solución del matraz 1, se procede en forma similar con el matraz 2 y finalmente con el matraz 3.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

### 5.1 PRESENTACION DE DATOS

Se preparará la siguiente tabla de datos:

**Tabla 4.** Resultados obtenidos.

Matraz	Titulación	ml AgNO <sub>3</sub> titulación	m	$\gamma_s$
1	1			
	2			
2	1			
	2			
3	1			
	2			

Calcular valores promedio de  $m$  y  $\gamma_s$  para cada matraz.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	91/ 162

## 5.2 TRATAMIENTO DE DATOS

La molalidad de la solución saturada se calculará como:

$$M = \frac{N}{Neq} = \frac{V_{(AgNO_3)}N_{(AgNO_3)}V_{(aforado)}}{V_{(aliquota)}NeqV_{(muestra)}} \quad (9)$$

Para la disociación del cloruro de potasio se tiene que  $Neq = 1$ , entonces:

$$m = M = \frac{N}{Neq} = \frac{V_{(AgNO_3)}N_{(AgNO_3)}V_{(aforado)}}{V_{(aliquota)}V_{(muestra)}} \quad (10)$$

$\gamma_s$  Se estimará con la ecuación (7)

Las constantes  $K_s$  (T) se evaluarán con la ecuación (6) y se preparará la tabla siguiente:

**Tabla 5.** Resultados obtenidos

Temperatura	$K_s = \gamma_s m$	$\ln K_s$	$\frac{1}{T} \left[ \frac{1}{K} \right]$
25 °C			
35 °C			
45 °C			

Finalmente, con los datos obtenidos se gráfica  $1/T$  vs  $\ln K(s)$ , se hace un ajuste lineal de acuerdo a la ecuación (2) y se determina el calor de solución ( $\Delta H_s$ ) del cloruro de potasio y la constante (ecuación 2) de la ecuación de Schröder.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	92/ 162

### 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Las soluciones de KCl desechar al drenaje y las muestras de titulación reunir y almacenar perfectamente identificadas en el sitio dispuesto.
- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Fernando Rajadell, Jose Luis Movilla. (2005). *Termodinámica química*. Publicaciones de la universidad Jaume. I.
2. B. H. Mahan. *Termodinámica química elemental*. Barcelona: Reverte.
3. "*Thermodynamics*" de Lewis y Randall, Ed. Mc Graw Hill-Kogakusha, 2nd. Edition.
4. Maron,S.H,Lando,J.B (1990). *Fisicoquímica Fundamental*. Limusa.
5. Castellan, G.W (1987). *Fisicoquímica*. Pearson Education.
6. Incopera Frank. P., (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4ª edición), México, Prentice Hall.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	93/ 162

## L-9

### DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE DIFUSIÓN

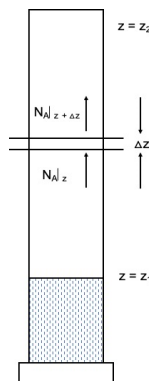
#### 1. OBJETIVOS

- 1.1 Familiarizar al estudiante con una de las operaciones de transferencia de masa.
- 1.2 Determinar experimentalmente el coeficiente de difusión de líquidos en aire.
- 1.3 Determinar la variación del coeficiente de difusión con respecto a la temperatura.
- 1.4 Comparar los resultados experimentales con los obtenidos a partir de correlaciones teóricas.

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

##### 2.1 INTRODUCCIÓN

En muchos de los procesos que se realizan en la industria química, intervienen operaciones de transferencia de masa, tales como destilación absorción, etc. Una operación de transferencia de masa se presenta cuando se ponen en contacto dos o más fases.



**Figura 1.** La difusión de A en B en estado pseudoestacionario

Las sustancias fluyen de una fase a otra. Esto se debe a que la composición de las fases tiende al equilibrio. La difusión molecular consiste en el movimiento de



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	94/ 162

moléculas independientemente de cualquier movimiento de convección. Resulta particularmente interesante en este caso, considerar el sistema de difusión mostrado en la figura 1. El líquido A se está evaporando hacia el gas B, y el sistema es tal que el nivel del líquido se mantiene a una altura  $z = z_1$ . Perpendicularmente a la interfase líquido - gas, la concentración de A en la fase vapor, expresada como fracción mol, es  $x_{A1}$ . Se considera que esta es la concentración en la fase gas de A correspondiente al equilibrio con el líquido en la interfase, esto es,  $x_{A1}$  es la presión de vapor de A dividida por la presión total,  $P_A^{(vap)}/P$ , suponiendo que A y B forman una mezcla de gas ideal. Consideramos además que la solubilidad de B en el líquido es A es despreciable. En la parte superior del tubo (en  $z = z_2$ ) pasa lentamente una corriente de una mezcla de gas A-B de concentración  $x_{A2}$ ; por lo cual la fracción mol de A en la parte superior de la columna se mantiene en  $x_{A2}$ . Se considera que el sistema completo se mantiene a temperatura y presión constantes, y que los gases A y B son ideales. Cuando este sistema de evaporación alcanza un estado estacionario, hay una remoción neta de A de la superficie de evaporación y el vapor B estacionario. Por lo tanto, podemos emplear la siguiente expresión para  $N_{AZ}$ :

$$N_{AZ} = -cD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial z} + x_A(N_{AZ} + N_{BZ}) \quad (1)$$

Dónde:

$N_{AZ}$  = Flujo molar de A con respecto a ejes fijos (g mol de A / s cm<sup>2</sup>)

$N_{BZ}$  = Flujo molar de B con respecto a ejes fijos (g mol de B / s cm<sup>2</sup>)

$x_A$  = Fracción mol del componente A

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión de A en B (cm<sup>2</sup> / s)

$c$  = Concentración molar de la mezcla gaseosa (g mol / cm<sup>3</sup>)

$-cD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial z}$  = Flujo molar resultante de la difusión

$x_A(N_{AZ} + N_{BZ})$  = Flujo molar debido al arrastre

En la ecuación (1)  $N_{BZ} = 0$ , porque B no se difunde en A.

Tomando esto en consideración y despejando  $N_{AZ}$  se tiene:



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>95/ 162</b>

$$N_{AZ} = - \frac{cD_{AB}}{1-x_A} \frac{dx_A}{dZ} \quad (2)$$

Un balance de masa sobre un incremento de altura diferencial  $\Delta z$  (ver fig. 1) determina que en estado estacionario

$$SN_{AZ}|_z - SN_{AZ}|_{z+\Delta z} = 0 \quad (3)$$

Dónde:

$S$  = Área de sección transversal de la columna. Dividiendo por  $S \Delta z$  y tomando como límite  $\Delta z \rightarrow 0$  se tiene:

$$- \frac{dN_{AZ}}{dz} = 0 \quad (4)$$

La sustitución de la Ec. (2) en la Ec. (4) nos da:

$$\frac{d}{dz} \left( \frac{cD_{AB}}{1-x_A} \frac{dx_A}{dZ} \right) = 0 \quad (5)$$

Para mezclas de gases ideales a temperatura y presión constantes,  $c$  es una constante, y  $D_{AB}$  es prácticamente independiente de la concentración. Por esto,  $CD_{AB}$  se puede sacar fuera de la derivada para tener:

$$\frac{d}{dz} \left( \frac{1}{1-x_A} \frac{dx_A}{dZ} \right) = 0 \quad (6)$$

Esta es una ecuación de segundo orden para el perfil de la concentración expresando como fracción mol de A. La integración con respecto a  $Z$  nos da

$$\frac{1}{1-x_A} \frac{dx_A}{dZ} = C_1 \quad (7)$$

Una segunda integración daría

$$- \ln(1 - x_A) = C_1 z + C_2 \quad (8)$$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	96/ 162

Las dos constantes de integración se pueden determinar mediante el empleo de condiciones en la frontera (el cálculo detallado puede verse en R.B.Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, "Transport Phenomena", Wiley, 1960). Las cuales pueden ser expresadas de la siguiente manera:

$$C.F. 1: \quad x_A = x_{A1}; \quad z = z_1 \quad (9)$$

$$C.F. 2: \quad x_A = x_{A2}; \quad z = z_2 \quad (10)$$

Una vez que se obtienen las constantes, estas se pueden sustituir en la Ec. (8) para obtener las expresiones correspondientes a los perfiles de concentración. Al sustituir en la solución general, se tiene lo siguiente:

$$-\ln|1 - x_{A1}| = C_1 z + C_2 \quad (11)$$

$$-\ln|1 - x_{A2}| = C_1 z_2 + C_2 \quad (12)$$

Este sistema de ecuaciones algebraico se resuelve para obtener:

$$C_1 = \frac{\ln \frac{|1-x_{A1}|}{|1-x_{A2}|}}{z_2 - z_1} \quad (13)$$

Y la constante  $C_2$  está dada por:

$$C_2 = -\ln|1 - x_{A2}| - \ln \frac{|1-x_{A1}|}{|1-x_{A2}|} \frac{z_2}{z_2 - z_1} \quad (14)$$

Finalmente, la solución general del perfil de concentraciones toma la forma:

$$\ln \frac{|1-x_{A2}|}{|1-x_A|} = \ln \left| \left( \frac{1-x_{A1}}{1-x_{A2}} \right)^{\left( \frac{z_2}{z_2 - z_1} \right)} \right| \quad (15)$$

O en forma equivalente:





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	97/ 162

$$\frac{1-X_A}{1-X_{A_2}} = \left( \frac{1-X_{A_2}}{1-X_{A_1}} \right)^{\left( \frac{z-z_2}{z_2-z_1} \right)} \quad (16)$$

Aunque los perfiles de concentración son de gran ayuda para apreciar en forma gráfica el proceso de difusión, en los cálculos de ingeniería es de mayor interés la determinación de la concentración promedio, o el flujo másico en la superficie que se estudia. Así, la concentración promedio de B en una región entre  $z = z_1$  y  $z = z_2$  es:

$$x_{B,promedio} = \frac{x_{B_2} - x_{B_1}}{\ln \left( \frac{x_{B_2}}{x_{B_1}} \right)} \quad (17)$$

Esto es, el valor promedio de  $x_B$  es la media logarítmica de los valores extremos  $(x_B)_{ln}$ . La velocidad de transferencia de masa en la interface líquida - gas, o sea, la velocidad de evaporación se obtiene mediante la ecuación (2)

$$N_{AZ} |_{z=z_1} = - \frac{cD_{AB}}{1-x_{A_1}} \frac{dx_A}{dz} \Big|_{z=z_1} = \frac{cD_{AB}}{x_{B_1}} \frac{dx_B}{dz} \Big|_{z=z_1} = \frac{cD_{AB}}{z_2-z_1} \ln \left( \frac{x_{B_2}}{x_{B_1}} \right) \quad (18)$$

Las Ecs. (9) y (10) se pueden combinar para dar una expresión alternativa para la velocidad de transferencia de masa:

$$N_{AZ} |_{z=z_1} = - \frac{cD_{AB}}{1-x_{A_1}} \frac{dx_A}{dz} \Big|_{z=z_1} = \frac{cD_{AB}}{(z_2-z_1)(x_B)_{ln}} (x_{A_1} - x_{A_2}) \quad (19)$$

Esta expresión muestra cómo la velocidad de transferencia de masa está relacionada con una concentración característica (fuerza impulsora)  $x_{A_1} - x_{A_2}$ . Las Ecs. (10) y (11) se pueden expresar también en términos de la presión total y de las presiones parciales:

$$N_{AZ} |_{z=z_1} = \frac{PD_{AB}/RT}{z_2-z_1} \ln \frac{P_{B_2}}{P_{B_1}} = \frac{(PD_{AB}/RT)}{(z_2-z_1)(P_B)_{ln}} (P_{A_1} - P_{A_2}) \quad (20)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	98/ 162

En la cual  $(P_B)_{ln}$  es la media logarítmica de  $P_{B1}$  y  $P_{B2}$  definida análogamente a  $(X_B)_{ln}$  en la Ec. (11). En la parte experimental de esta actividad se determinarán las difusividades de diferentes líquidos en aire. La secuencia de cálculos consiste en el siguiente. Se terminará primero el flujo molar de la sustancia, a partir de la velocidad de evaporación, y posteriormente se determinará la difusividad con la Ec. (12).

## 2.2 CÁLCULO DE LA ALTURA EVAPORADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE PROCESO

$$N_{Az_1} = \frac{cD_{AB}}{z_2 - z_1} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) \Rightarrow \frac{\rho^A}{M_A} \frac{dz_1}{dt} = \frac{cD_{AB}}{z_2 - z_1(t)} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) \quad (21)$$

Las alturas están definidas como:

$$\left\{ \begin{array}{l} h(t) = z_1(0) - z_1(t) \\ H = z_2 - z_1(0) \end{array} \right\} \Rightarrow H + h(t) = z_2 - z_1(t) \quad (22)$$

Separando variables se tiene la siguiente expresión:

$$\int_0^{h(t)} (H + \bar{h}(t)) d\bar{h}(t) = \int_0^t \frac{cD_{AB}}{\rho^A / M_A} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) d\bar{t} \quad (23)$$

Finalmente, sustituyendo las variables definidas anteriormente e integrando:

$$2Hh(t) + (h(t))^2 = 2 \frac{cD_{AB}}{\rho^A / M_A} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) t = 2 \frac{PD_{AB}/RT}{\rho^A / M_A} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) t \quad (24)$$

La última expresión puede ser calculada como:



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	99/ 162

$$2Hh(t) + (h(t))^2 - 2 \frac{PD_{AB}/RT}{\rho^A/M_A} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) t = 0 \quad (25)$$

Resolviendo la ecuación cuadrática para la  $h(t)$ , se tiene lo siguiente:

$$h(t) = \frac{-2H + \sqrt{4H^2 + 4 \left( 2 \frac{PD_{AB}/RT}{\rho^A/M_A} \ln \left( \frac{x_{B2}}{x_{B1}} \right) \right) t}}{2} \quad (26)$$

Simplificando se tiene lo siguiente:

$$\frac{h(t)}{H} = \sqrt{1 + 2 \left( \frac{P/RT}{\rho^A/M_A} \right) \ln \left( \frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) \frac{t}{H^2/D_{AB}}} - 1 \quad (27)$$

Finalmente,

$$\frac{h(t)}{H} = \sqrt{1 + 2K(T) \left( \frac{t}{t_D} \right) - 1}; K(T) = \frac{P/RT}{\rho^A/M_A} \ln \left( \frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) \quad (28)$$

En donde  $K(T)$  ha sido definida como:

$$K(T) = \frac{P/RT}{\rho^A/M_A} \ln \left( \frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) \quad (29)$$

Por lo tanto, la última expresión nos da información acerca de cómo cambia la altura como función del tiempo. Nótese que ésta, depende de la temperatura a través de  $K$  y del tiempo  $t_D$  asociado a los mecanismos difusivos. En término de variables adimensionales la Ec. (20) toma la forma:

$$h^*(t) = \sqrt{1 - 2K(T)t^*} - 1 \quad (30)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>100/ 162</b>

A tiempos cortos, se tiene la siguiente simplificación:

$$h^*(t) = K(T)t^* \quad (31)$$

Finalmente, el problema básico de esta práctica es que el alumno no tiene una visión clara de cómo se calcula el coeficiente de difusión y cuáles son las ventajas de este sistema.

### 2.3 CORRELACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE DIFUSIÓN

Cuando no es posible determinar experimentalmente el coeficiente de difusión, se emplean correlaciones las cuales dan como resultado valores aproximados. Algunas de las correlaciones más empleadas son las siguientes:

#### 2.3.1. CORRELACIÓN DE GILLILAND

La ecuación de Gilliland deducida mediante la teoría cinética, proporciona medios razonablemente precisos para predecir los coeficientes de difusión.

$$D_{AB} = \frac{4.3 \times 10^{-3} T^{3/2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \quad (32)$$

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión,  $\text{cm}^2/\text{s}$

$T$  = Temperatura absoluta, K

$P$  = Presión absoluta, atm

$M_i$  = Peso molecular, g/gmol

$V_i$  = Volumen molar en el punto de ebullición normal,  $\text{cm}^3/\text{gmol}$



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	101/ 162

**Tabla 1.** Volúmenes atómicos y moleculares en el punto de ebullición normal\*.

Volumen atómico, V, cm <sup>3</sup> /gmol			
Bromo	27	Oxígeno	7.4
Carbón	14.8	Oxígeno en ésteres metílicos	9.1
Cloro	24.6	Oxígeno en ésteres superiores	11
Hidrogeno	3.7	Oxígeno en ácidos	12
Iodo	37	Oxígeno en éteres metílicos	9.9
Nitrógeno	15.6	Oxígeno en éteres superiores	11
Nitrógeno en aminas primarias	10.5	Azufre	25.6
Nitrógeno en aminas secundarias	12	Anillo de benceno	-15
		Anillo de naftaleno	-30

Volumen molecular, V, cm <sup>3</sup> /gmol			
Aire	29.9	H <sub>2</sub> S	32.9
Br <sub>2</sub>	53.2	I <sub>2</sub>	71.5
Cl <sub>2</sub>	48.4	N <sub>2</sub>	31.2
CO	30.7	NH <sub>3</sub>	25.8
CO <sub>2</sub>	34	NO	23.6
COS	51.5	N <sub>2</sub> O	36.4
H <sub>2</sub>	14.3	O <sub>2</sub>	25.6
H <sub>2</sub> O	18.9	SO <sub>2</sub>	44.8

Fuente: A. L. Hines, "Transferencia de masa, fundamentos y aplicaciones".  
Prentice - Hall, México, 1987.

### 2.3.2. CORRELACIÓN DE FULLER, SCHETTLER Y GIDDINGS

La correlación empírica recomendada por Fuller y colaboradores, permite la evaluación de la difusión cuando no se disponen parámetros de Lennard-Jones confiables, se puede utilizar para mezclas de gases polares, no polares y para mezclas de ambos.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	102/ 162

$$D_{AB} = \frac{1 \times 10^{-3} T^{1.75} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P \left( (\sum v)_A^{1/3} + (\sum v)_B^{1/3} \right)^2} \quad (33)$$

Dónde:

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión, cm<sup>2</sup>/s

$T$  = Temperatura absoluta, K

$P$  = Presión absoluta, atm

$M_i$  = Peso molecular, g/gmol

$(\sum v)_i$  = Suma de incrementos de volúmenes estructurales (Tabla 2), cm<sup>3</sup>/gátomo

**Tabla 2.** Volúmenes atómicos de difusión para el método de Fuller, Schettler y Giddings\*.

Volúmenes de difusión atómico y estructural, $v$ , cm <sup>3</sup> /gátomo			
C	16.5	Cl	19.5
H	1.98	S	17
O	5.48	Anillo aromático	-20.2
N	5.69	Anillo hetecíclico	-20.2
H <sub>2</sub>	7.07	CO	18.9
D <sub>2</sub>	6.70	CO <sub>2</sub>	26.9
He	2.88	N <sub>2</sub> O	35.9
N <sub>2</sub>	17.9	NH <sub>3</sub>	14.9
O <sub>2</sub>	16.6	H <sub>2</sub> O	12.7
Aire	20.1	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	114.8
Ar	16.1	SF <sub>6</sub>	69.7
Kr	22.8	Cl <sub>2</sub>	37.7
Xe	37.9	Br <sub>2</sub>	67.2
Ne	5.59	SO <sub>2</sub>	41.1

Fuente: C. J. Geankoplis, "Procesos de transporte y operaciones unitarias".  
Editorial CECSA, México, 1998.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	103/ 162

### 2.3.3. CORRELACIÓN DE CHAPMAN-ENSKOG

Las expresiones teóricas para el coeficiente de difusión en mezclas gaseosas de baja densidad en función de las propiedades moleculares del sistema fueron deducidas por Jeans, Chapman y Stherland. Para gases no polares a presiones moderadas y temperaturas hasta 1000 K.

$$D_{AB} = \frac{0.001858 T^{1.5} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P(\sigma_{AB})^2 \Omega_D} \quad (34)$$

En la expresión anterior se han definido los siguientes parámetros:

$$\sigma_{AB} = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2}; \Omega_D = f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right); \frac{\epsilon_{AB}}{K} = \left(\sqrt{\epsilon_A/T}\right)\left(\sqrt{\epsilon_B/T}\right) \quad (35)$$

dónde:

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión, cm<sup>2</sup>/s

$T$  = Temperatura absoluta, K

$M_i$  = Peso molecular, g/mol

$P$  = Presión absoluta, atm

$\sigma_{AB}$  = Diámetro de colisión, Å

$\Omega_D$  = Integral de colisión para difusión (Tabla 3),  $f(kT/\epsilon_{AB})$

En la Ec. (15),  $\sigma_{AB}$  es un parámetro empírico relacionado con el potencial de Lennard – Jones. La integral de colisión  $\Omega_D$  es una función de la temperatura y del grupo de constantes  $\frac{KT}{\epsilon_{AB}}$ . Por otra parte, las Ecs. (26a-c) tienen las siguientes unidades:

$$\frac{\epsilon_{AB}}{K} [=] K \quad (36)$$

$\epsilon_{AB}$  = Energía de la interacción molecular, erg



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>104/ 162</b>

$$K = 1.38 \times 10^{-16}, \text{ erg/K (Constante de Boltzman)}$$

Cuando no se cuenta con datos experimentales, los valores necesarios pueden estimarse mediante las siguientes ecuaciones empíricas.

$$\sigma_i = 2.44 \left( \frac{T_{c_i}}{P_{c_i}} \right)^{0.33} \quad (37)$$

Y

$$\frac{\epsilon_i}{K} = 0.77 T_{c_i} \quad (38)$$

Dónde:

$$\frac{\epsilon_i}{k} [=] \text{ K}$$

$T_{c_i}$  = Temperatura crítica, K

$P_{c_i}$  = Presión crítica, atm





SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	105/ 162

**Tabla 3.** Constantes de Lennard – Jones\*.

$KT/\epsilon_{AB}$	$\Omega_D$	$KT/\epsilon_{AB}$	$\Omega_D$	$KT/\epsilon_{AB}$	$\Omega_D$
0.3	2.662	1.65	1.153	4	0.8836
0.35	2.476	1.7	1.14	4.1	0.8788
0.4	2.318	1.75	1.128	4.2	0.874
0.45	2.184	1.8	1.116	4.3	0.8694
0.5	2.066	1.85	1.105	4.4	0.8652
0.55	1.966	1.9	1.094	4.5	0.861
0.6	1.877	1.95	1.084	4.6	0.8568
0.65	1.798	2	1.075	4.7	0.853
0.7	1.729	2.1	1.057	4.8	0.8492
0.75	1.667	2.2	1.041	4.9	0.8456
0.8	1.612	2.3	1.026	5	0.8422
0.85	1.562	2.4	1.012	6	0.8124
0.9	1.517	2.5	0.9996	7	0.7896
0.95	1.476	2.6	0.9878	8	0.7712
1	1.439	2.7	0.977	9	0.7556
1.05	1.406	2.8	0.9672	10	0.7424
1.1	1.375	2.9	0.9576	20	0.664
1.15	1.346	3	0.949	30	0.6232
1.2	1.32	3.1	0.9406	40	0.596
1.25	1.296	3.2	0.9328	50	0.5756
1.3	1.273	3.3	0.9256	60	0.5596
1.35	1.253	3.4	0.9186	70	0.5464
1.4	1.233	3.5	0.912	80	0.5352
1.45	1.215	3.6	0.9058	90	0.5256
1.5	1.198	3.7	0.8998	100	0.513
1.55	1.182	3.8	0.8942	200	0.4644
1.6	1.167	3.9	0.8888	400	0.417

Fuente: James R. Welty, “Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa”. Editorial Limusa, México.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	106/ 162

### 2.3.4 CORRECCIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

Al simplificar la correlación de Champan puede predecirse el coeficiente de difusión a cualquier temperatura y a cualquier presión inferior a las 25 atmosferas, a partir de un valor conocido. Y queda de la siguiente manera:

$$D_{ABT_2P_2} = D_{ABT_1P_1} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \frac{\Omega_D|_{T_1}}{\Omega_D|_{T_2}} \quad (39)$$

Dónde:

$D_{ABT_iP_i}$  = Coeficiente de difusión, cm<sup>2</sup>/s

$P_i$  = Presión absoluta, atm

$T_i$  = Temperatura absoluta, k

$\Omega_D|_{T_i}$  = Integral de colisión para difusión (Tabla 2)

Existen otros modelos para obtener el coeficiente de difusión a los cuales se les conoce como métodos empíricos, semiempíricos y predictivos. De entre ellos es conveniente considerar.

### 2.3.5 TEORÍA CINÉTICA Y DE ESTADOS CORRESPONDIENTES

$$D_{AB} = \left[ \frac{(P_{cA} P_{cB})^{1/3} (T_{cA} T_{cB})^{5/12} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right)^{1/2}}{P} \right] a \left[ \frac{T}{T_{cA} T_{cB}} \right]^b \quad (40)$$

Dónde:

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión, cm<sup>2</sup>/s

$a, b$  = Constantes

$T$  = Temperatura absoluta, K

$T_{c_i}$  = Temperatura crítica, K

$P$  = Presión absoluta, atm

$P_{c_i}$  = Presión crítica, atm

$M_i$  = Peso molecular, g/gmol



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	107/ 162

Generalmente, las constantes para bajas presiones y mezclas de gases no polares son:

$$a = 2.745 \times 10^{-4}$$

$$b = 1.823$$

Para mezclas de agua con gases no polares:

$$a = 3.640 \times 10^{-4}$$

$$b = 2.334$$

### 2.3.6 TEORÍA CINÉTICA DE ENSKOG-CHAPMAN.

Esta ecuación describe una mezcla de dos solutos A y B (sistema binario).

$$D_{AB} = \frac{3}{16} \left( \frac{4\pi k T}{M_{AB}} \right)^{1/2} \left( \frac{1}{\eta \pi \sigma_{AB}^2 \Omega_D} \right) f_D; M_{AB} = 2 \left[ \frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{-1} \quad (41)$$

Dónde:

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión,  $\text{cm}^2/\text{s}$

$k = 1.38 \times 10^{-16}$ , erg/K (Constante de Boltzman)

$T$  = Temperatura absoluta, K

$M_{AB}$  = Es una función de los pesos moleculares de los componentes A y B.

$f_D$  = Término de corrección, generalmente es igual a 1.

$\eta$  = Número de moléculas en la mezcla.

$\sigma_{AB}$  = Diámetro de colisión, Å

$\Omega_D$  = Integral de colisión para difusión (Tabla 3)

$M_i$  = Peso molecular, g/mol



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	108/ 162

## 2.4 COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EXPERIMENTAL \* (Welty)

Para el cálculo del coeficiente de difusión experimental, a partir de los datos experimentales en una celda de Arnold, se tiene la siguiente ecuación:

$$D_{AB} = \frac{\rho_A Y_{B,lm} / M_A}{c(Y_{A1} - Y_{A2})t} \left( \frac{Z_2^2 - Z_1^2}{2} \right) \quad (42)$$

Dónde:

$D_{AB}$  = Coeficiente de difusión, cm<sup>2</sup>/s

$\rho_A$  =Densidad, g/cm<sup>3</sup>

$Y_{B,lm}$  = Concentración media

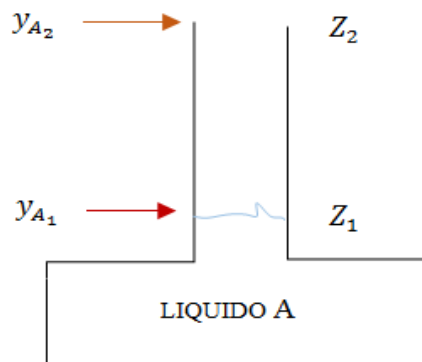
$M_i$  = Peso molecular, g/gmol

$c$  = Concentración, gmol/cm<sup>3</sup>

$Y_{A_i}$  =Composición

$t$  = Tiempo, s

$Z_i$  = Altura, cm ( $Z_2 > Z_1$ )



**Figura 2.** Celda de difusión de Arnold.

\*Ejemplo detallado en James R. Welty, “Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa”. Capítulo 26. Difusión molecular en estado permanente. 1998.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>109/ 162</b>

### 3. MATERIAL Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIAL

(Para un sistema)

- Mangueras de hule látex
- Vasos de precipitado de 100 ml
- 1 Cronómetro
- 1 Termómetro
- 1 Embudo de tallo corto
- 1 Pinza de Mohr

#### 3.2 REACTIVOS

- 50 ml Acetona
- 50 ml Etanol

#### 3.3 HERRAMIENTAS

- En esta actividad no se utilizan herramientas

#### 3.4 EQUIPO

- 1 Baño de temperatura constante
- 1 Aparato para determinación de coeficientes de difusión (equivalente a celda Arnold)
- 1 Recirculador

#### 3.5 SERVICIOS

- Electricidad
- Agua
- Aire

#### 3.6 MATERIAL BÁSICO

- Papel milimétrico
- Regla
- Tijeras

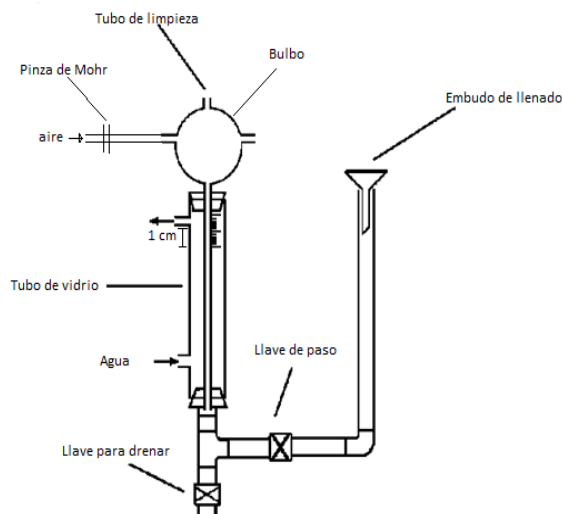


Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	110/ 162

## PROCEDIMIENTO

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL APARATO

Es una celda de vidrio en forma de U que tiene en una de las ramas un tubo capilar graduado. En la parte inferior de la celda se encuentran dos válvulas, de las cuales una sirve para permitir el paso del líquido entre las ramas de la U, y otra sirve para limpieza del equipo. El capilar se encuentra rodeado de una chaqueta de vidrio por la cual fluye agua para mantener la celda a temperatura constante. Ver la Figura 3.



**Figura 3.** Equipo para determinación de coeficientes de difusión.

### 4.2 MANEJO DEL EQUIPO

- Verificar el correcto funcionamiento del recirculador del baño de temperatura constante.
- Asegurarse de que la celda de difusividad esté perfectamente seca.
- Si fuese necesario, lubricar la llave de paso y la llave para drenar con vaselina o grasa de silicón para tener un sellado adecuado entre las dos ramas del equipo.
- Llenar el capilar de la celda a la mitad de la celda del fluido empleando el embudo y el vaso de precipitados, manteniendo cerrada la llave para



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>111/ 162</b>

drenar y abierta la llave de paso, para eliminar prácticamente todas las burbujas que se hayan formado. Continuando el llenado.

e) Cuando el nivel del líquido en el capilar se encuentra aproximadamente a 1 cm de la salida del agua cerrar la llave de paso.

f) Mantener constante la temperatura del baño (temperatura ambiente para la primera determinación). Posteriormente conectar las mangueras para iniciar el flujo de agua en las entradas correspondientes, esperando el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio térmico (20 min aproximadamente).

g) Anotar la altura del nivel del líquido en el tubo capilar en las condiciones iniciales.

h) Conectar la manguera de aire a la entrada correspondiente, la manguera debe estar perfectamente seca.

i) Abrir la válvula de aire regulando el flujo con ayuda de la pinza Mohr evitando la compresión del nivel líquido en el capilar.

j) Observe la altura del líquido en el capilar cada 30 minutos por un período de 2.5 Horas y registre. Si el nivel del líquido permanece constante explique el fenómeno.

k) Hacer otra determinación a una temperatura mayor o menor a 5 °C de la temperatura ambiente.

l) Una vez terminada la experimentación, se debe drenar el agua de recirculación y el fluido de trabajo.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

### 5.1 PRESENTACIÓN DE DATOS

Para cada sustancia presentar los datos de acuerdo a la tabla.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	112/ 162

**Tabla 4.** Datos experimentales obtenidos

TEMPERATURA (K)	t(s) $\pm 0.5$	Z(cm) $\pm 0.5$

1. Determinar los coeficientes de difusión para cada sustancia a las diferentes temperaturas.

**Tabla 4a.** Resultados obtenidos

TEMPERATURA (K)	$D_{AB}(\text{cm}^2/\text{s})$ Teórico	$D_{AB}(\text{cm}^2/\text{s})$ Experimental	% Error

2. Graficar

- a) La correlación de Gilliland,
- b) La correlación de Fuller, Schettler y Giddings.
- c) La correlación de Chapman-Enskog
- d) La correlación de la teoría cinética y de estados correspondientes para las sustancias manejadas a las temperaturas de operación del equipo.

3. Graficar  $D_{AB}$  experimental de cada sustancia con respecto a la temperatura (K).

4. Comparar las gráficas de los puntos 2 y 3 y discutir las.

5. Graficar  $\log D_{AB}$  experimental en función de  $\log T$ . A partir de la gráfica, determinar el exponente al cual está elevada la temperatura. Comparar este resultado con los exponentes de las correlaciones expuestas anteriormente.





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	113/ 162

### 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignada en el laboratorio.
- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Welty J & Wicks C. (1999). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. México: Limusa.
2. Hines, A. & Maddox R. (1987). *Transferencia de masa; fundamentos y aplicaciones*. México: Prentice - Hall. Treybal R. (1980). *Mass-transfer operations*. México: McGraw-Hill.
3. Lobo R. (1997). *Principios de transferencia de masa*. México: UAM.
4. Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: CECSA.
5. Piringer O. & Baner A. (2008). *Plastic Packaging: Interactions with Food and Pharmaceuticals*. Alemania: Wiley-VCH.
6. Li H. & Wilhelmsen Ø. *Review of available experimental data and models for the transport properties of CO<sub>2</sub>-mixtures relevant for CO<sub>2</sub> capture, transport and storage*. Enero 3, 2015, de Energy Process, Royal Institute of Technology  
Sitio web:
7. Green R. (1986). *Radionuclide transport as vapor through unsaturated fractured rock*. Enero 3, 2015, de University of Arizona.
8. Bird Robert Byron. (2006). *Fenómenos de transporte*. 2da edición, México. Limusa Wiley



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	114/ 162

## P-1

### ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DE UNA TORRE DE BURBUJEO

#### 1. OBJETIVOS.

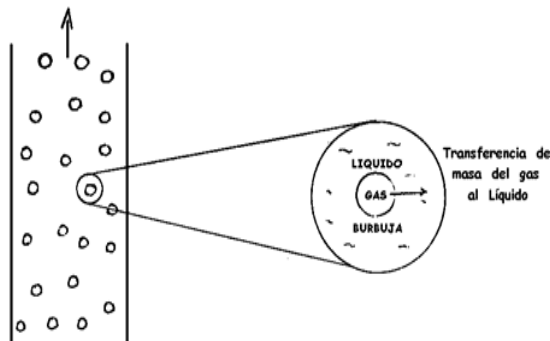
- 1.1 Analizar la hidrodinámica de una torre de burbujeo.
- 1.2 Determinar la fracción de volumen en gas en una torre de burbujeo.

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

##### 2.1 DEFINICIONES

La transferencia de masa a través de la interfase gas - líquido depende de los factores siguientes:

- Coeficiente de transferencia de masa.
- Área de contacto gas – líquido.
- Volumen de gas en el equipo de contacto gas - líquido.



**Figura 1.** Torre de burbujeo

Por ejemplo, en una torre de burbujeo se tiene el fenómeno presentado en la figura 1. Suponiendo que la transferencia de masa de una especie A en la fase gaseosa es de interés, se tienen las siguientes ecuaciones de transporte, de acuerdo a la Teoría de Resistencia de Película (Henley&Seader 1988; Bates &Schaefer 1977). En la fase gaseosa:

$$r_g = k_g a (C_{A_g}^* - C_{A_g}); [r_g] = \frac{\text{mol de A}}{\text{hr m}^3 \text{ de gas}} \quad (1)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	115/ 162

En la fase líquida:

$$r_g = k_g a (C_{AL}^* - C_{AL}); [r_L] = \frac{\text{mol de A}}{\text{hr m}^3 \text{ de gas}} \quad (2)$$

Dónde:

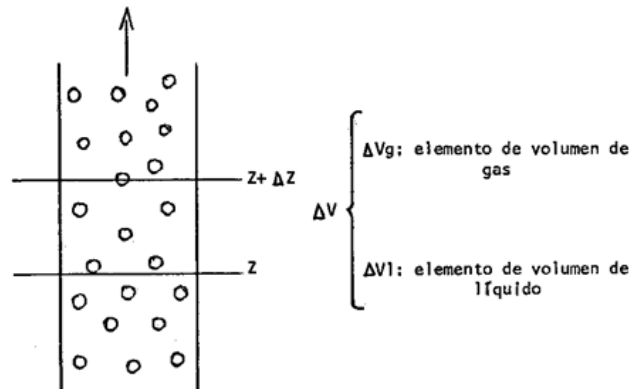
$k_g$  a: Coeficiente de transferencia de película en el gas en base al volumen del gas o al volumen del líquido.

$K_L$  a: Coeficiente de transferencia de película en el líquido en base al volumen del líquido.

$C_{AL}$ : Concentración de A en el líquido.

$C_{Ag}$ : Concentración de A en el gas.

$C_A^*$ : Concentración de A en el equilibrio.



**Figura 2.** Elemento de volumen para el balance de masa en la torre.

## 2.2 BALANCE DE MASA EN UNA TORRE DE BURBUJEO.

Para establecer el balance de masa de la especie A, en una torre de burbujeo, se toman en cuenta las características de la Figura 2. El líquido puede estar estacionado o moviéndose en flujo paralelo o a contracorriente. Para el caso de líquido estacionario, el balance de masa de A es el siguiente:

$$\left[ (Q_G C_{Ag}) \Big|_z - (Q_G C_{Ag}) \Big|_{z+\Delta z} \right] \Delta t - k_g a (C_{Ag} - C_{Ag}^*) \Delta V_g \Delta t = \Delta V_g \Delta C_{Ag} \quad (3)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	116/ 162

Si  $k_g a$  está referido a la unidad de volumen del gas, por ejemplo:

$$[k_g a] = [k_g][a] = \frac{m}{h} \frac{m^2 \text{ de contacto}}{m^3 \text{ de gas}} \quad (4)$$

$$\left[ (Q_G C_{Ag}) \Big|_z - (Q_G C_{Ag}) \Big|_{z+\Delta z} \right] \Delta t - k_g a (C_{Ag} - C_{Ag}^*) \Delta V_L \Delta t = \Delta V_g \Delta C_{Ag} \quad (5)$$

Si  $k_g a$  está referido a la unidad de volumen de líquido, por ejemplo:

$$[k_g a] = [k_g][a] = \frac{m}{h} \frac{m^2 \text{ de contacto}}{m^3 \text{ de líquido}} \quad (6)$$

Con respecto al volumen total de gas y líquido, se denomina  $H$ , a la fracción de gas de la mezcla gas - líquido, de donde:

$$\Delta V_g = H \Delta V \quad (7)$$

Y

$$\Delta V_L = (1 - H) \Delta V \quad (8)$$

El balance de A en el gas, en términos de  $H$  y  $\Delta V$  queda entonces como:

$$\left[ (Q_G C_{Ag}) \Big|_z - (Q_G C_{Ag}) \Big|_{z+\Delta z} \right] \Delta t - k_g a (C_{Ag} - C_{Ag}^*) H \Delta V \Delta t = H \Delta V \Delta C_{Ag} \quad (9)$$

Para  $k_g a$  en términos del volumen de gas.

$$\left[ (Q_G C_{Ag}) \Big|_z - (Q_G C_{Ag}) \Big|_{z+\Delta z} \right] \Delta t - k_g a (C_{Ag} - C_{Ag}^*) (1 - H) \Delta V \Delta t = H \Delta V \Delta C_{Ag} \quad (10)$$

Para  $k_g a$  en términos del volumen de líquido.

Como:

$$\Delta V = A_t \Delta z \quad (11)$$

Y

$$Q_G = A_t U_g \quad (12)$$



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	117/ 162

Dónde:

$A_t$  : Área de sección transversal de la torre

$U_g$  : Velocidad lineal del gas en base a la torre sin líquido (velocidad superficial del gas)

Las Ecs. (9) y (10) quedan como:

$$-U_g \frac{\partial C_{Ag}}{\partial z} - (k_g a)_g (C_{Ag} - C_{Ag}^*) H = H \frac{\partial C_{Ag}}{\partial t} \quad (13)$$

Y

$$-U_g \frac{\partial C_{Ag}}{\partial z} - (k_g a)_L (C_{Ag} - C_{Ag}^*) (1 - H) = H \frac{\partial C_{Ag}}{\partial t} \quad (14)$$

Para el caso de régimen permanente en donde las variables dinámicas o intrínsecas del sistema no dependen del tiempo.

$$-U_g \frac{\partial C_{Ag}}{\partial z} - (k_g a)_g (C_{Ag} - C_{Ag}^*) H = 0 \quad (15)$$

Y

$$-U_g \frac{\partial C_{Ag}}{\partial z} - (K_g a)_L (C_{Ag} - C_{Ag}^*) (1 - H) = 0 \quad (16)$$

El valor de  $H$  está dado por:

$$H = \frac{U_g}{U_L + U_g} \quad (17)$$

Dónde:

$H$ : Fracción de gas en el sistema gas - líquido dentro de la torre.

Se ha encontrado que  $H$  depende básicamente de las siguientes variables:

$U_g$ : Velocidad superficial de gas.

$\rho$ : Densidad del líquido

$\sigma$ : Tensión superficial del sistema gas - líquido



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	118/ 162

$d_t$ : Diámetro de la torre

$\mu$ : Viscosidad del líquido

$U_L$ : Velocidad superficial del líquido (sí éste se mueve)

Por ejemplo, para una torre de burbujeo, con flujo de líquido en paralelo, se ha encontrado la siguiente correlación:

$$H = \left[ (\mu - \mu_{H_2O})^{2.75} + 1.61 \frac{73.3 - \sigma}{74.1 - \sigma} \right] 10^{-4} U_g^{0.88} \quad (18)$$

La determinación de H es entonces fundamental para manejar adecuadamente el balance de masa del gas en torres de burbujeo con fines de análisis y diseño de equipo. Si hacemos uso de las propiedades de grupos adimensionales se propone una correlación de la forma  $\pi_1 = K\pi_2^a\pi_3^b$  donde a, b y K = constantes, dichas constantes se determinan con los valores obtenidos experimentalmente de cada propiedad, así como del valor de H, sustituyendo se tiene:

$$H = K \left[ \left( \frac{\sigma}{U_g \mu} \right)^a \right] \left[ \left( \frac{U_g d \rho}{\mu} \right)^b \right] \quad (19)$$

Aplicando logaritmos a cada miembro se llega al planteo de 3 ecuaciones y 3 incógnitas, aplicando un procedimiento similar se determinan las correlaciones para todos los sistemas.

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIALES

- 5 Vaso de precipitados de 250 ml
- 1 Matraz Erlenmeyer de 600 ml
- 1 Probeta graduada de 2 L
- 1 Probeta graduada de 500 ml
- 1 Picnómetro de 10 ml
- 1 Pipeta graduada de 5 ml
- 1 Soporte universal
- 10 Tubos de ensayo
- 1 Gradilla metálica



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>119/ 162</b>

- 1 Pinzas de tres dedos con nuez
- 1 Embudo de plástico de 18 cm de diámetro

### 3.2 REACTIVOS

No se necesitan

### 3.3 HERRAMIENTAS

- Cinta métrica
- Escalera

### 3.4 EQUIPO

- Torre de burbujeo
- 1 Cronómetro
- 1 Refractómetro
- 1 Viscosímetro de Ostwald 200

### 3.5 SERVICIOS

- Aire de la línea

### 3.6 MATERIAL BASICO

- Piseta
- Agua destilada
- 1 garrafón de 5 L

## 4. PROCEDIMIENTO

Se determinará la fracción del volumen de gas (H) en una torre de burbujeo utilizando:

- Agua destilada

### 4.1 MANEJO DE LA TORRE DE BURBUJEO.

- Abrir válvula 4 para evitar que al llenar la columna el líquido pase a los conductos de aire
- Abrir totalmente V-3



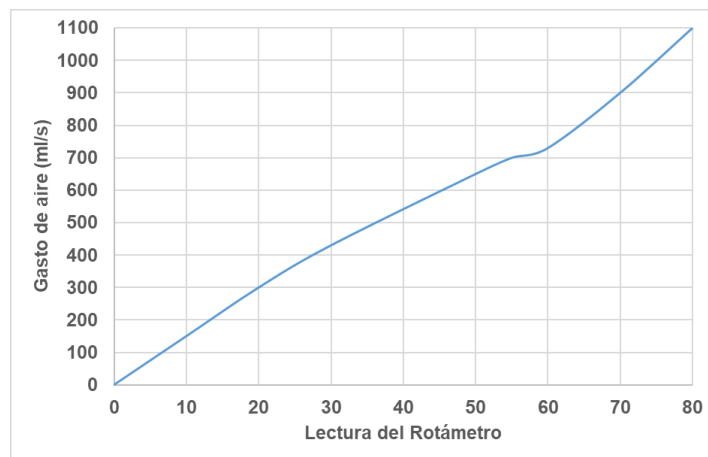
# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	120/ 162

- Abrir V-1 poco a poco al inicio para permitir el paso de aire al sistema
- Abrir V-2 poco a poco hasta que la presión en el manómetro no exceda a  $1\text{Kg/cm}^2$
- Regular el flujo de aire (5, 7.5, 10 L/min); utilice como referencia la figura 3
- Llenar la columna con una altura máxima de 110 cm.
- Una vez que esté llena columna se cierra la válvula 4 y se abre la válvula 5



**Figura 3.** Gráfica del comportamiento (Lectura del Rotámetro vs. Gasto de Aire)

- Permitir la transferencia de masa en un lapso de 30 minutos, registrar la variación de la altura de la columna.
- Tomar una muestra de aproximadamente 30 ml para medir viscosidad, densidad e índice de refracción. Regresar la solución al sistema.
- Con V-3 regular el flujo de gas a la velocidad de flujo siguiente y repetir lo realizado anteriormente.
- Para drenar cerrar totalmente V-5.
- Abrir totalmente V-6.

NOTA: El líquido que quede estancado en la columna extraerlo mediante succión, para evitar daños al equipo.





Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	121/ 162

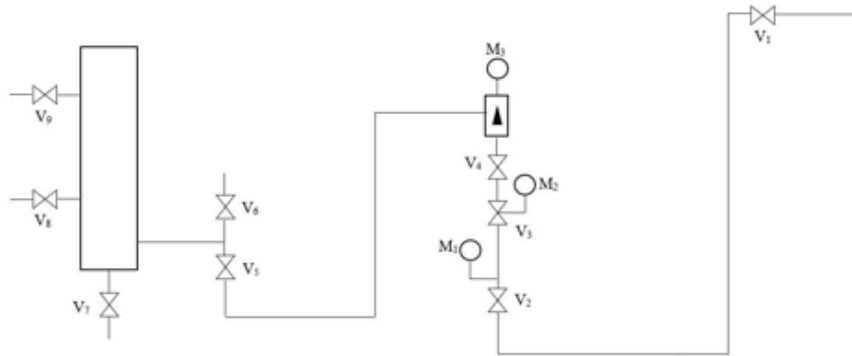


Figura 4. Sistema hidrodinámico de la torre de burbujeo.

V <sub>1</sub> : Válvula 1 (apertura del flujo de aire)	V <sub>6</sub> : Válvula 6 (purga de la línea de aire)
V <sub>2</sub> : Válvula 2 (línea de aire)	V <sub>7</sub> : Válvula 7 (drenado de la columna)
V <sub>3</sub> : Válvula 3	V <sub>8</sub> y V <sub>9</sub> : Válvulas 8 y 9 (toma de muestra)
V <sub>4</sub> : Válvula 4 (válvula de aguja para regulación del flujo de aire)	M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> y M <sub>3</sub> : Manómetros 1, 2 y 3 (medición de presión)
V <sub>5</sub> : Válvula 5 (válvula check para evitar el paso del líquido a la línea de aire)	

Figura 4. Torre de burbujeo

#### 4.2 DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL

La tensión superficial se determina con base a mediciones del índice de refracción utilizando la siguiente ecuación.

$$\sigma_{solución} = \left[ \frac{P_{solución}}{Rd_{solución}} \left( \frac{\eta^2 - 1}{\eta^2 + 2} \right) \right]^4 \quad (20)$$

Dónde:

$$P_{solución} = 42.6X_{H_2O} + 126.4X_{etanol} \quad (21)$$

$$Rd_{solución} = 3.725X_{H_2O} + 12.961X_{etanol} \quad (22)$$

En donde  $X_{H_2O}$  y  $X_{etanol}$  son las fracciones mol de los componentes de la solución y  $\eta$  es el índice de refracción de la solución, el cual se determinará en el refractómetro.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	122/ 162

### 4.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

La densidad se calculará con base a la determinación de la masa de un volumen conocido de solución, con ayuda de un picnómetro.

### 4.4 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD

La viscosidad de las soluciones se determinará en un viscosímetro de Ostwald a temperatura ambiente.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

Medir las características de la torre de burbujeo:

$d_t$ : Diámetro interno (Medirlo con Vernier)

- Cálculo de  $u_g$ :

$$U_g = \frac{Q_G}{A_t} = \frac{Q_G}{0.785d_t^2} \quad (23)$$

- Cálculo de H:

$$H = \frac{V_g}{V_L + V_g} = \frac{A_t \Delta Z}{A_t L + A_t \Delta Z} = \frac{\Delta Z}{L + \Delta Z} \quad (24)$$

Dónde:

$L$  : Altura de la columna de líquido

$\Delta Z$ : Aumento de la altura de la columna con líquido – gas



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>123/ 162</b>

## 5.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

**Tabla 1.** Resultados obtenidos

Flujo Volumétrico de gas $Q_G(\text{m}^3/\text{h})$	Densidad $\rho$	Viscosidad $\mu$	Tensión superficial $\sigma$	Velocidad superficial del gas $u_g$ (m/h)	$\Delta L$	H Fracción volumen de gas
$(Q_G)$				$(u_g)$		$(H)$
.				.		
.				.		
.				.		
$(Q_G)_n$				$(u_g)_n$		$(H)_n$

Para cada sistema construir una curva de  $H$  vs  $u_g$  y  $H$  vs  $Q_G$ .

Tomando en cuenta las variables siguientes:  $u_g$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $d_t$ , aplicando el Teorema de Buckingham para el análisis dimensional, proponga una correlación entre  $H$  y las variables antes mencionadas, determine los parámetros de la correlación utilizando los datos obtenidos experimentalmente.

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

No se generan residuos, el agua destilada utilizada puede almacenarse para usos posteriores.

- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>124/ 162</b>

### 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Henley, E.J., Seader, J.D. (1988). *Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química*. Barcelona: reverté
2. Bates R.B., Schaefer J.P. (1977) *Técnicas de Investigación en Química Orgánica* Prentice-Hall. Madrid: internacional
3. Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Compañía Editorial Continental.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	125/ 162

## P-2

### ANÁLISIS DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

#### 1. OBJETIVOS.

- 1.1 Analizar la operación de una torre de enfriamiento a distintas condiciones, de alimentación de agua y aire, evaluando los efectos de operación.
- 1.2 Investigar los tipos de torres de enfriamiento e identificar con qué tipo de torre cuenta la facultad.

#### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

##### 2.1 CONCEPTOS

##### 2.1.1 MEZCLAS VAPOR - GAS

En lo siguiente el término vapor será aplicado a aquella sustancia denominada A, en el estado vapor, la cual está relativamente cerca de su temperatura de condensación a la presión existente. El término gas será aplicado a la sustancia B, la cual es un gas sobrecalentado.

##### 2.1.2 HUMEDAD ABSOLUTA

La relación (masa de vapor/masa de gas) es la humedad absoluta Y: Si la cantidad se expresa en moles, la relación es la humedad molar absoluta Y, esto es:

$$Y' = \frac{P_A}{P_T - P_A} = \frac{M_A}{M_B} \left( \frac{\text{masa de A}}{\text{Masa de B}} \right) \quad (1)$$

$$Y = \frac{y_A}{y_B} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{P_A}{P_T - P_A} \left( \frac{\text{masa de A}}{\text{Masa de B}} \right) \quad (2)$$

O

$$Y = Y \frac{M_A}{M_B} \quad (3)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>126/ 162</b>

Dónde:

Y': Humedad absoluta

Y: Humedad molar absoluta

P<sub>A</sub>: Presión parcial de A

P<sub>B</sub>: Presión parcial de B

P<sub>T</sub>: Presión total del sistema

M<sub>A</sub>: Peso molecular de A

M<sub>B</sub>: Peso molecular de B

y<sub>A</sub>: Fracción mol de A

y<sub>B</sub>: Fracción mol de B

### 2.1.3 MEZCLAS DE VAPOR - GAS SATURADAS

Si un gas seco insoluble B, se pone en contacto con suficiente líquido A, el líquido se evaporará en el gas hasta que finalmente, en el equilibrio, la presión parcial de A en la mezcla vapor - gas alcanza su valor de saturación, que es la presión de vapor de A (p<sub>A</sub>) a la temperatura del sistema, esto es:

$$Y_s = \frac{p_A}{P_T - p_A} = \frac{M_A}{M_B} \left( \frac{\text{masa de A}}{\text{Masa de B}} \right) \quad (4)$$

Dónde:

Y<sub>s</sub>: Humedad molar absoluta de saturación

p<sub>A</sub> : Presión de vapor de A a la temperatura del sistema

P<sub>T</sub>: Presión total.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>127/ 162</b>

### 2.1.4 MEZCLAS VAPOR - GAS NO SATURADAS

Si la presión parcial de vapor en una mezcla de vapor - gas es, por alguna razón, menor que la presión de vapor en el equilibrio del líquido a la misma temperatura, la mezcla no está saturada.

### 2.1.5 TEMPERATURA DE BULBO SECO

Es la temperatura de una mezcla vapor - gas determinada en forma ordinaria por inmersión de un termómetro en la mezcla.

### 2.1.6 TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO ( $T_{bH}$ )

Es la temperatura que alcanza una pequeña cantidad de líquido cuando se evapora en una gran cantidad de mezcla vapor – gas no saturado.

### 2.1.7 SATURACIÓN RELATIVA

También llamada humedad relativa expresada como un porcentaje de la humedad de saturación. Se define como  $100 p_A / P_A$ , donde  $p_A$  es la presión de vapor de A a la temperatura de bulbo seco de la mezcla.

### 2.1.8 % DE SATURACIÓN

Es la relación entre la humedad absoluta ( $Y'$ ) y la que tendría en condiciones de saturación ( $Y_s'$ ) a la misma temperatura, multiplicado por 100.

### 2.1.9 CALOR HÚMEDO

Es el calor que se requiere para aumentar una unidad de masa de gas y su vapor acompañante en un grado centígrado. Para una mezcla con humedad absoluta  $Y'$ :

$$C_s = C_B + Y' C_A \quad (5)$$

Dónde:

$C_s$  : Calor húmedo

$C_B$  : Capacidad calorífica del gas

$C_A$  : Capacidad calorífica del vapor



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	128/ 162

### 2.1.10 ENTALPÍA

La entalpía relativa de una mezcla vapor - gas es la suma de las entalpías relativas del gas y del vapor, esto es:

$$H' = C_B(t_G - t_0) + Y'[C_A(t_G - t_0) + \lambda_0] = C_s(t_G - t_0) + Y'\lambda_0 \quad (6)$$

Dónde:

$H'$ : Entalpía de la mezcla

$\lambda_0$ : Calor latente de vaporización del vapor a  $t_0$

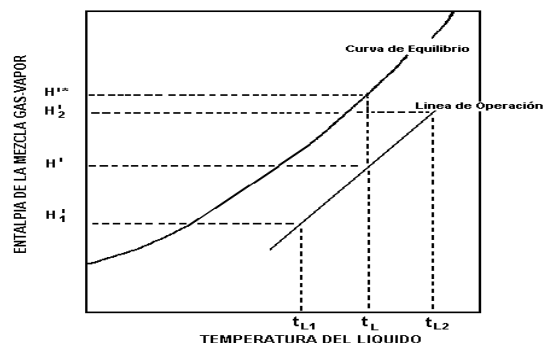
$t_G$ : Temperatura de bulbo seco de la mezcla vapor - gas

$t_0$ : Temperatura de referencia

### 2.2 ENFRIAMIENTO DE AGUA CON AIRE

El enfriamiento se lleva a cabo poniendo el agua en contacto íntimo con una corriente de aire, cuya temperatura de bulbo húmedo sea inferior a la del agua. En estas condiciones el agua se enfría por evaporación, y también por transmisión de calor sensible al aire si la temperatura de bulbo seco de éste es inferior. La diferencia entre la temperatura de entrada y salida del agua en la torre se conoce como Rango =  $(t_{L2} - t_{L1})$ . La diferencia entre la temperatura de salida del agua y la temperatura de bulbo húmedo de entrada del aire se conoce como Aproximación al Bulbo Húmedo o simplemente Aproximación =  $t_{L1} - t_{bH}$ .

La Figura 1 muestra la relación entre  $H'$  y  $H'^*$  en la representación gráfica de la curva de equilibrio y la línea de operación.



**Figura 1.** Grafica Entalpía vs Temperatura





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>129/ 162</b>

### 2.3 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

#### 2.3.1 TORRES DE TIRO NATURAL

El tiro se debe a la diferencia de densidades entre el aire saturado que sale de la torre y el aire que entra (ya que a menor humedad del aire es menor la densidad). El flujo de aire es inducido por una chimenea de grandes dimensiones colocada encima del relleno de la torre.

#### 2.3.2 TORRES CON TIRO MECÁNICO

En estas torres la cantidad y velocidad del aire tienen un control absoluto. Presentan además un buen control de la temperatura del agua de salida, pero su costo de operación es elevado debido a la energía necesaria para los ventiladores. Las torres de tiro mecánico se clasifican en torres de tiro inducido y torres de tiro forzado.

a) Torres de tiro forzado.

Estas torres tienen uno o varios ventiladores colocados a la entrada del aire, estos impulsan al aire a través de la torre.

En estas torres la velocidad de salida del aire es baja, ocasionando una recirculación de aire caliente y húmedo, en caso de que haya vientos favorables, se puede reducir la capacidad de la torre.

b) Torres de tiro inducido.

Este tipo de torres tienen los ventiladores colocados a la salida del aire de la torre y pueden ser de flujo cruzado o contra flujo.

\* Torres de flujo cruzado. El aire viaja en forma horizontal, mientras que el agua cae verticalmente, lo cual requiere de mayor superficie y consumo de potencia de ventiladores, aunque la carga de bombeo es reducida.

\* Torres a contraflujo. El agua de menor temperatura estará en contacto con el aire más seco y por consiguiente el aire más húmedo estará en contacto con el agua de mayor temperatura, lo cual representa una gran ventaja en los procesos de enfriamiento. Por otro



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>130/ 162</b>

lado, este tipo de torres requiere de un mayor consumo de potencia en los ventiladores y en el bombeo ya que estas torres son altas.

### 2.3.3 TORRES ATMOSFÉRICAS

Este tipo de torre utiliza el movimiento natural del aire, el cual ocurre horizontalmente, cayendo el agua verticalmente por gravedad.

Estas torres presentan la ventaja de ser económicas en su operación y mantenimiento, aunque presentan las desventajas de un elevado costo inicial, longitud alta, localización especial y que la temperatura de salida depende de la velocidad y dirección del viento.

## 3 MATERIALES Y EQUIPO

### 3.1 EQUIPO

- 1 Higrómetro
- 2 Termómetros 0-100 C

### 3.2 SERVICIOS

- Agua de enfriamiento
- Vapor

### 3.3 EQUIPO AUXILIAR

- Sistema de flujo de fluido de metal
- Intercambiador de metal

### 3.4 MATERIAL BÁSICO

- El definido por el profesor



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	131/ 162

### 4 PROCEDIMIENTO

#### 4.1 MANEJO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO (Figura 2)

Familiarizarse con el equipo e identificar las válvulas.

La primera etapa del experimento consiste en modificar el flujo de agua a la entrada de la torre de enfriamiento y mantener constantes las demás variables de acuerdo a lo siguiente:

1. Abrir V-1 y V-3 para permitir llenar la torre con agua de la red.
2. Abrir V-2 para permitir el paso del agua de retorno.
3. Mantener abiertas totalmente las dos entradas de aire.
4. Alinear tuberías y válvulas necesarias para enviar agua de enfriamiento al equipo de transferencia de calor que el asesor defina.
5. Encender la bomba BA-1 y con V-5 regular flujo de agua máximo.
6. Encender el motor del ventilador.
7. Esperar a que se alcance el régimen permanente y tomar lecturas de temperatura del agua en la tina de la torre, temperatura de bulbo seco y húmedo a la entrada y salida del aire (higrómetro) y velocidad del aire a la salida (anemómetro).
8. Modificar el flujo de agua con V-5 y repetir lo indicado en el inciso 7.
9. Cuando se tengan datos para 3 flujos de agua, se termina la primera parte del experimento.

La segunda etapa del experimento consiste en modificar el flujo de aire a la entrada a la torre de enfriamiento y mantener constantes las demás variables.

10. Realizar lo mismo que para la primera parte del experimento considerando los siguientes flujos de aire:
  - a) Flujo total (rejillas abiertas)
  - b) Flujo medio (cerrada una rejilla)
  - c) Flujo mínimo (semicerradas ambas rejillas)



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	132/ 162

11. Para cada flujo de aire realizar lo establecido en el inciso 7.
12. Al finalizar el experimento cerrar las entradas de aire, cerrar todas las válvulas, y apagar la bomba BA-1 y ventilador.

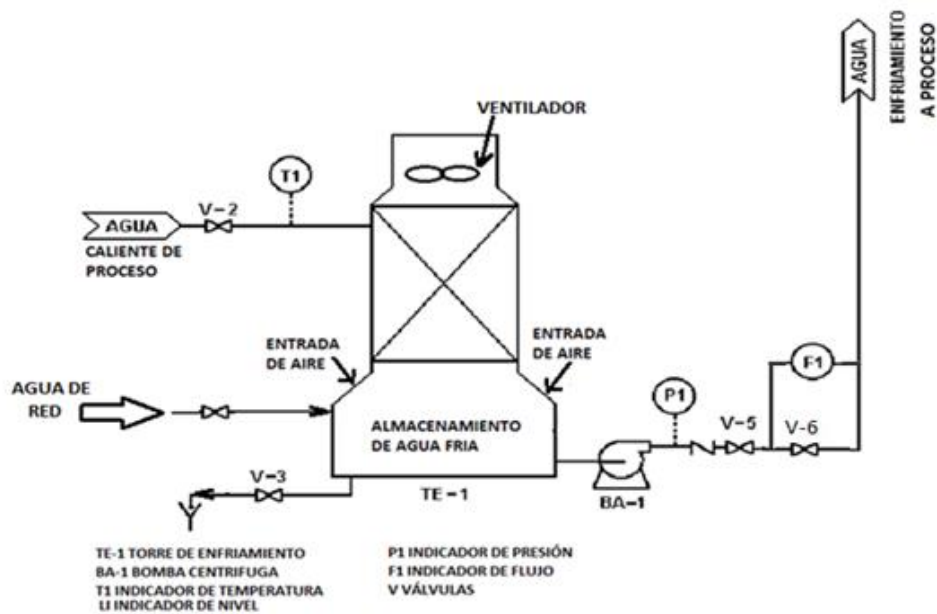


Figura 2. Diagrama de una torre de enfriamiento.

#### 4.2 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES IMPORTANTES

1. Para la realización de esta actividad se requiere que el equipo de transferencia de calor esté trabajando, por lo que el asesor deberá indicarles a los alumnos como trabajarlo, además de cómo coordinar las dos actividades.
2. Cuidar que el equipo de transferencia de calor y torre de enfriamiento estén bien alineados, para que siempre retorne el agua de enfriamiento.
3. En la medición de las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire de salida, tener cuidado con los higrómetros.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	133/ 162

## 5 TRATAMIENTO DE DATOS

### 5.1 PRESENTACIÓN DE DATOS.

Se presentarán unas tablas de datos para cada opción de trabajo, con el formato siguiente:

**TABLA 1.** Datos de la torre de enfriamiento modificando flujo de agua

No. Corrida	Gasto agua	$t_L$ entrada	$t_L$ salida	$t_G$ entrada	$t_G$ salida	$t_{bH}$ entrada	$t_{bH}$ salida	Velocidad de aire

**TABLA 2.** Datos de la torre de enfriamiento modificando flujo de aire.

No. Corrida	Flujo Aire	$t_L$ entrada	$t_L$ salida	$t_G$ entrada	$t_G$ salida	$t_{bH}$ entrada	$t_{bH}$ salida	Velocidad de aire

Dónde:

$t_L$  : Temperatura del agua

$t_G$  : Temperatura de bulbo seco del aire

$t_{bH}$  : Temperatura de bulbo húmedo de aire

### 5.2 TRATAMIENTO DE DATOS.

a. Construir la curva de saturación o curva de equilibrio en el rango  $32\text{ }^\circ\text{F} \leq t \leq 212\text{ }^\circ\text{F}$ , utilice la ecuación

$$H' = C_B(t_G - t_0) + \left[ \frac{P_A}{P_T - P_A} \frac{M_A}{M_B} \right] [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0] \quad (7)$$

Dónde:



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>134/ 162</b>

$t_0$  : Temperatura de referencia  $32\text{ °F} = 0\text{ °C}$

$P_A$  : Presión de vapor de agua a la temperatura  $t_G$

$P_T$  : Presión de operación de la torre 585 mm Hg

$C_B$  : Capacidad calorífica promedio del aire entre  $t_G$  y  $t_0$

$C_A$  : Capacidad calorífica promedio del vapor entre  $t_G$  y  $t_0$

$\lambda_0$  : Entalpía de vaporización del agua a  $t_0$

b. Evaluar los datos siguientes para cada caso:

- Entalpías de entrada y salida del aire (Línea de Operación) (ver fig. 1)

- Gasto de aire  $G'_s$  (a partir de la pendiente de la línea de operación).

c. Haciendo uso de la carta psicométrica elaborada para  $P=585$  mmHg, analizar y explicar cómo afectan las modificaciones de flujo de aire y agua en la operación de la torre de enfriamiento.

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignada en el laboratorio.
- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Henley, E.J., Seader, J.D. (1988). *Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química*. Barcelona: Reverte
2. Mc Cabe Smith. *Operaciones unitarias en ingeniería química* ( 4º Ed.). Mc Graw hill.
3. Wankat, P. C., & y Pozo, V. G. (2008). *Ingeniería de procesos de separación*. Pearson Educación.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	135/ 162

### P-3

## DESTILACIÓN BINARIA EN UNA TORRE EMPACADA

### 1. OBJETIVOS

- 1.1 Familiarizarse con el sistema de destilación de metal.
- 1.2 Operar el sistema de destilación de metal para separar una mezcla de etanol - agua.
- 1.3 Analizar la pureza de los productos de domos y de fondos.

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La destilación es un proceso que consiste en separar los distintos componentes de una mezcla mediante la adición de calor. Para ello se calienta esa sustancia, normalmente en estado líquido, para que sus componentes más volátiles pasen a estado gaseoso o de vapor y a continuación volver esos componentes al estado líquido mediante condensación por enfriamiento.

El principal objetivo de la destilación es separar los distintos componentes de una mezcla aprovechando sus distintos grados de volatilidad. Otra función de la destilación es separar los elementos más volátiles de los no volátiles de una mezcla.

Si la diferencia entre las temperaturas de ebullición o volatilidad de las sustancias es grande, se puede realizar fácilmente la separación completa en una sola destilación, no obstante, en ocasiones los puntos de ebullición de todos o algunos de los componentes de una mezcla no difieren considerablemente entre sí por lo que no es posible obtener la separación completa en una sola operación de destilación.

En la industria química y petroquímica es común encontrar columnas empacadas en procesos de separación, tales como: destilación, absorción-agotamiento y extracción líquido-líquido.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>136/ 162</b>

### 2.1 EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR

Los cálculos de una columna de destilación están basados en los datos de equilibrio líquido - vapor. La determinación experimental, y en particular la estimación de dichos datos, es un campo que se encuentra en continuo desarrollo.

### 2.2 METODOS DE DESTILACIÓN

En la práctica, la destilación puede llevarse a cabo por dos métodos principales. El primero implica la producción de un vapor por ebullición de la mezcla líquida que se quiere separar, condensando enseguida estos vapores, sin llevar ninguna porción del líquido condensado como reflujo al re hervidor para que se ponga en contacto con el vapor que se desprende. En el segundo método se envía una parte del condensado al re hervidor de tal forma que este retorno se encuentra en íntimo contacto y en contracorriente con los vapores que se desprenden y van hacia el condensador. Este último método tiene una gran importancia y ha recibido el nombre de rectificación. La rectificación ha recibido un gran desarrollo y es el más utilizado en la práctica como método de separación, además de que generalmente es un proceso continuo.

Existen dos tipos importantes de destilación que no implican rectificación, el primero de ellos es denominado destilación de equilibrio o destilación flash, y el segundo es el de la destilación diferencial. La destilación de equilibrio implica la vaporización de una fracción determinada de una carga de líquido, manteniendo tanto el líquido como el vapor formado, en íntimo contacto hasta el final de la operación, de manera que el vapor está siempre en equilibrio con el líquido, retirando el vapor y condensándolo. En la destilación diferencial o destilación sencilla, el vapor que se genera al hervir el líquido se va separando a medida que se forma y enseguida se condensa.

Este tipo de destilación se aproxima a los procesos comerciales discontinuos o intermitentes, también se le conoce como destilación Rayleigh





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>137/ 162</b>

### 2.3 EQUIPO

Hay una variedad considerable de dispositivos para hacer que el contacto entre las dos corrientes se lleve a cabo y que pueden dividirse en dos tipos principales: columnas de platos y columnas empacadas o de relleno.

Las columnas de platos se subdividen a su vez en columnas de campanas burbujeadoras y columnas de platos agujereados, existiendo en la actualidad gran variedad de ambos.

En las columnas empacadas los platos se sustituyen por materiales que presenten una gran superficie de contacto. Se han utilizado una gran variedad de materiales de relleno, tanto en forma como en composición. En la forma tenemos que las más comunes son: anillos Raschig, anillos Pall, silletas Berl, silletas Intalox, etc. En la composición tenemos que existen materiales como cerámica, madera, acero al carbón, acero inoxidable, etc.

### 2.4 TORRES EMPACADAS

Una columna de destilación empacada consiste de un recipiente cilíndrico que contiene una o más placas que soportan el material de empaque, accesorios para distribución y entrada y salida de fluidos.

El vapor fluye a contracorriente con el líquido a través de la sección empacada, y el empaque proporciona una gran área de contacto entre las fases.

Las columnas empacadas tienen las siguientes ventajas:

- Mayor capacidad y con diámetros menores de 0.6 m son más baratas que las columnas de platos, excepto si se usan aleaciones.
- Los fluidos corrosivos pueden manejarse con materiales resistentes tales como cerámica o carbón.
- El empaque normalmente tiene baja caída de presión por etapa teórica, lo cual es importante en destilaciones al vacío.
- Los líquidos espumantes pueden manejarse más fácilmente debido a la baja agitación del líquido por el vapor.



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	138/ 162

Unidad de transferencia.

El concepto de unidad de transferencia se basa en la idea de dividir la sección de relleno en varias unidades de contacto llamadas unidades de transferencia. A la altura de relleno necesaria para una unidad se le llama altura de la unidad de transferencia, y se representa por HTU.

Los cambios de concentración con la altura producida por las torres empacadas son continuos en lugar de por etapas como sucede en las columnas de platos, por lo que el procedimiento de cálculo debe tomar esto en consideración.

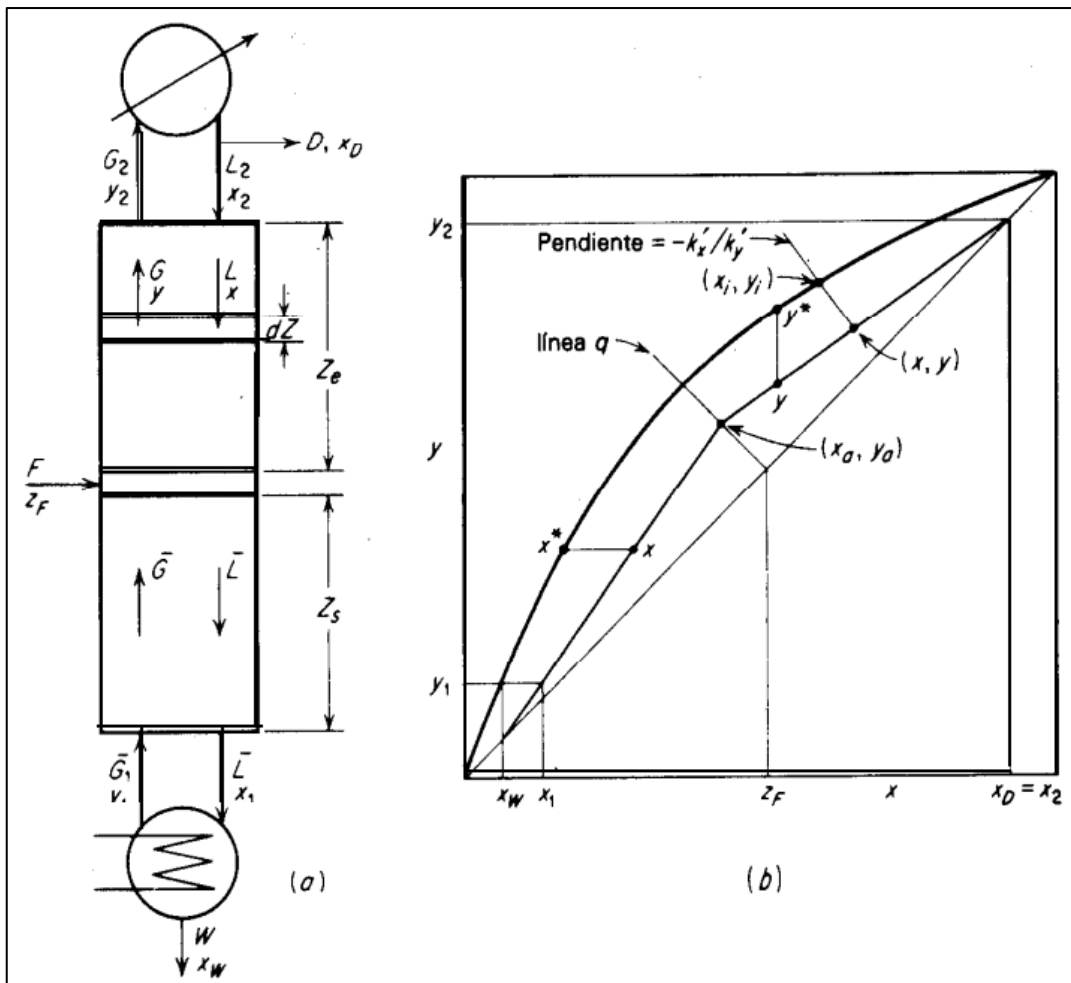


Figura 1. Fraccionamiento en una torre empacada [5]



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS  
LABORATORIOS DE DOCENCIA

MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE  
PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	139/ 162

En la figura 1a se muestra un dibujo esquemático de un fraccionador de torre empacada, mientras que en la figura 1b se presenta el diagrama de operación de la torre.

En este tipo de torres el flujo está basado en el área transversal.

$N_A = -N_B$ , el flux de transferencia de masa es:

$$N_A = \frac{d(Gy)}{a.dz} = k'_y(y_i - y) = \frac{d(Lx)}{a.dz} = k'_x(x - x_i) \quad (1)$$

Dónde:

$N_A$  : Flux de transferencia de masa del componente A.

$k'_y$ : Coeficiente de transferencia de masa fase gas.

$k'_x$ : Coeficiente de transferencia de masa fase líquida.

por lo tanto

$$Ze = \int_0^{Ze} dz = \int_{(Gy)_a}^{(Gy)_2} \frac{d(Gy)}{k'_y a(y_i - y)} = \int_{(Lx)_a}^{(Lx)_2} \frac{dLx}{k'_x a(x - x_i)} \quad (2)$$

donde  $Ze$  : altura de empaque para la sección de enriquecimiento, m.

Para la sección de agotamiento  $Zs$ , se tendrá una expresión similar con sus respectivos límites de integración.

Para cualquier punto  $(x, y)$  en la línea de operación, el punto correspondiente  $(x_i, y_i)$  en la curva de equilibrio se obtiene en la intersección con una línea de pendiente  $\frac{k'_x}{k'_y} = \frac{k'_x a}{k'_y a}$ , trazada de  $(x, y)$ , como se muestra en el diagrama de operación de la figura 1. Cuando  $k'_x > k'_y$ , la resistencia principal a la transferencia de masa está en el vapor,  $y_i - y$  se lee con más exactitud que  $x - x_i$ . La integral intermedia de la ecuación (2) es la más usada, evaluada gráficamente como el área bajo la curva de  $1/k'_y a(y_i - y)$  como ordenada,  $Gy$  como abscisa. Cuando  $k'_x < k'_y$  es mejor utilizar la última integral.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>140/ 162</b>

Con la suposición de que  $G$  y  $L$  son constantes dentro de cualquier sección de la torre, las alturas de las unidades de transferencia

$$H_{tG} = \frac{G}{k'_y a} \quad (3)$$

$$H_{tL} = \frac{L}{k'_x a} \quad (4)$$

Son lo suficientemente constantes, de manera que la ecuación (2) puede escribirse:

$$Ze = H_{tG} \int_{y_a}^{y_2} \frac{dy}{(y_i - y)} = H_{tG} N_{tG} \quad (5)$$

$$Ze = H_{tL} \int_{x_a}^{x_2} \frac{dx}{(x - x_i)} = H_{tL} N_{tL} \quad (6)$$

Con expresiones similares para  $Zs$ . El número de unidades de transferencia  $N_{tG}$  y  $N_{tL}$  están dados por las integrales de las ecuaciones (4) y (5). Debe considerarse que el área interfacial  $a$  y los coeficientes de transferencia de masa dependen de los flujos másicos, los cuales, debido al cambio de pesos moleculares promedio con la concentración, pueden variar considerablemente aún si los flujos molares son constantes. La consistencia de  $H_{tG}$  y  $H_{tL}$  por lo tanto no debe suponerse sin una revisión.

Normalmente la curva de equilibrio para cualquier sección de la torre varía en la pendiente lo suficiente para que los coeficientes de transferencia de masa y las alturas de las unidades de transferencia sean usadas. Sin embargo, si la curva es esencialmente recta, se puede escribir:

$$Ze = H_{tOG} \int_{y_a}^{y_2} \frac{dy}{(y^* - y)} = H_{tOG} N_{tOG} \quad (7)$$

$$Ze = H_{tOL} \int_{x_a}^{x_2} \frac{dx}{(x - x^*)} = H_{tOL} N_{tOL} \quad (8)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>141/ 162</b>

Dónde:

$$H_{tOG} = \frac{G}{K'_y a} \quad (9)$$

$$H_{tOL} = \frac{L}{K'_x a} \quad (10)$$

$y^*$  -  $y$  es el gradiente en términos de las composiciones del vapor y  $x - x^*$  para el líquido (ver Figura 1). En estos casos, pueden utilizarse las siguientes ecuaciones para determinar el número de unidades de transferencia sin integración gráfica.

$$N_{tOG} = \frac{y_1 - y_2}{(y - y^*)_M} \quad (11)$$

Donde  $(y - y^*)_M$  es el promedio logarítmico de la diferencia de concentración en los extremos.

$$(y - y^*)_M = \frac{(y - y^*)_1 - (y - y^*)_2}{\ln \frac{(y - y^*)_1}{(y - y^*)_2}} \quad (12)$$

Para soluciones diluidas donde aplica la ley de Henry, tenemos

$$N_{tOG} = \frac{\ln \left[ \frac{(y_1 - mx_2) \left( 1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}}{(y_2 - mx_2) \left( 1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}} \right]}{1 - \frac{1}{A}} \quad (13)$$

$$N_{tOL} = \frac{\ln \left[ \frac{\left( x_2 - \frac{y_1}{m} \right) (1 - A) + A}{\left( x_1 - \frac{y_1}{m} \right) (1 - A) + A} \right]}{1 - A} \quad (14)$$



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>142/ 162</b>

Donde  $A = L/mG$ ,  $m$  es la pendiente de la línea de equilibrio. Las  $K'$  se definen como:

$$\frac{1}{K'_y} = \frac{1}{k'_y} + \frac{m}{k'_x} \quad (15)$$

$$\frac{1}{K'_x} = \frac{1}{m.k'_y} + \frac{1}{k'_x} \quad (16)$$

$$H_{tOG} = H_{tG} + \frac{mG}{L} H_{tL} \quad (17)$$

$$H_{tOL} = H_{tL} + \frac{L}{mG} H_{tG} \quad (18)$$

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIALES

- 1 Termómetro de -10 a 100 °C. Graduación de 1°C.
- 5 Matraces Erlenmeyer de 500 ml

#### 3.2 REACTIVOS

No se utilizan reactivos.

#### 3.3 HERRAMIENTAS

No se utilizan herramientas.

#### 3.4 EQUIPO

Sistema de destilación de metal.

1 conductímetro



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>143/ 162</b>

### 3.5 SERVICIOS

La operación del sistema de destilación requiere del suministro de varios servicios antes de iniciar el arranque.

#### **Agua de enfriamiento**

El sistema de destilación utiliza los servicios de un circuito cerrado de agua de enfriamiento con el objeto de disminuir la demanda de agua fresca. Para la utilización de este circuito es necesario seguir el siguiente procedimiento.

- Llenar el tanque de la Torre de Enfriamiento abriendo la válvula de alimentación.
- Una vez que esté lleno el tanque, verificar que los electrodos de paro automático se encuentren en posición correcta.
- Accionar los interruptores tanto de la bomba como del ventilador para poner en servicio el circuito.
- Verificar que las válvulas que suministran agua de enfriamiento a otros equipos estén cerradas, con el objeto de utilizar el mayor caudal posible en la Torre de Destilación.

#### **Vapor**

El vapor utilizado como medio de calentamiento proviene del Generador de Vapor que se encuentra en el Cuarto de Máquinas del Laboratorio de Ingeniería. Este servicio deberá solicitarse a los Técnicos del Laboratorio, al inicio de la actividad.

#### **Energía Eléctrica**

Todos los motores eléctricos instalados en el Laboratorio cuentan con un sistema de protección contra sobrecargas, el cual se encuentra en el Cuarto de Máquinas y es necesario solicitar a los Técnicos la conexión de estos equipos.

Los botones de arranque y paro se encuentran en área de la Torre de Destilación.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>144/ 162</b>

### 4. PROCEDIMIENTO

#### 4.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El equipo puede ser utilizado en operaciones de destilación tipo intermitente y continuo. A continuación, se da una breve descripción del equipo y los accesorios con que cuenta.

- Torre de destilación (TA-01).  
Tipo empacada de 0.2027 m de diámetro interno por 3.42 m de altura de empaque con 3 distribuidores de líquido, construida en acero inoxidable tipo 304. Empacada con anillos Pall de 5/8" de acero inoxidable tipo 304.
- Rehervidor (EA-01).  
Tipo marmita (Kettle) de 16 tubos de 3/4" calibre 16 BWG, 0.91 m (3 pies) de longitud en arreglo en cuadro de 1 pulgada, construido en acero inoxidable tipo 304. Área de transferencia de calor 0.8744 m<sup>2</sup>.
- Precalentador (EA-02).  
Tipo intercambiador de doble tubo de 1x1/2" de tubo IPS cédula 40 de acero inoxidable tipo 304. Área de transferencia de calor 0.453 m<sup>2</sup>.
- Condensador No. 1 (EA-03).  
Tipo intercambiador de tubos y coraza 1-1, 26 tubos de 3/4 de pulgada calibre 16 BWG, en arreglo en cuadrado de 1 pulgada, construido con acero inoxidable tipo 304.  
Área de transferencia de calor 1.56 m<sup>2</sup>.
- Condensador No. 2 (EA-04).  
Tipo intercambiador de tubos y coraza 1-1, 16 tubos de 3/4 de pulgada calibre 16 BWG, en arreglo en cuadro de 1 pulgada, construido en acero inoxidable tipo 304. Área de transferencia de calor 0.96 m<sup>2</sup>.
- Enfriador de destilado (EA-05).





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>145/ 162</b>

Tipo intercambiador de doble tubo de 1x1/2 pulgadas de tubo IPS cédula 40, construido en acero inoxidable tipo 304. Área de transferencia de calor 0.725 m<sup>2</sup>.

- Enfriador de fondos (EA-06).

Tipo intercambiador de doble tubo de 1x1/2 pulgadas de tubo IPS cédula 40, construido en acero inoxidable tipo 304. Área de transferencia de calor 0.6342 m<sup>2</sup>.

- Tanque de reflujo (DA-04).

Horizontal, longitud tangente a tangente 0.718 m construido con tramo de tubo de 12 pulgadas cédula 40 de acero inoxidable tipo 304.

- Tanque de alimentación (DA-01).

Vertical, longitud tangente a tangente 1.524 m, diámetro interno de 0.914 m y tapas ASME Flanged & Dished, construido en placa de 1/4 de pulgada de espesor de acero inoxidable tipo 304.

- Tanque receptor de destilado (DA-02).

Igual al anterior.

- Tanque receptor de residuo (DA-03).

Igual al anterior.

- Bomba de alimentación (PA-10).

Bomba dosificadora de diafragma marca m ROY, con motor de 1/2 HP.

- Bomba de alimentación (PA-09).

Bomba centrífuga marca Sentinel con motor de 1/2 HP.

- Bomba de reflujo (PA-06).

Bomba centrífuga marca Sentinel con motor de 1/2 HP.

- Bomba de residuo (PA-07).

Bomba centrífuga marca Sentinel con motor de 1/2 HP.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>146/ 162</b>

- Bomba de residuo (PA-08).  
Bomba dosificadora de diafragma marca m ROY con motor de 1/2 HP.
- Bomba de trasiego (PA-19).  
Bomba de turbina construida en teflón con motor marca Paramount de 1/4 HP.
- Indicadores de presión.  
Manómetros de tubo Bourdon tipo carátula de reloj diferentes rangos y marcas.
- Indicadores de temperatura.  
Termómetros bimetálicos tipo carátula de reloj diferentes rangos y marcas.

### 4.2 OPERACIÓN

Antes de iniciar la operación del equipo es necesario verificar que todas las válvulas del sistema estén cerradas.

1. Llenar el tanque de alimentación DA-01.
  - a) Si se trabaja con agua de la red, verificar que se encuentre colocado el cartucho del filtro FA-02, abrir V2 y V1 que actuará como venteo, V3, V4, V20 y V30 permanecen cerradas. Colocar la manguera de agua de servicio y llenar hasta un 80 - 90 % de la capacidad de DA-01.
  - b) Si se trabaja con algún solvente diferente al agua es necesario utilizar la bomba de trasiego PA-19, para lo cual se colocarán mangueras para conectar los tambores o garrafones en los que se encuentre el solvente. Revisar que se encuentre colocado el cartucho de FA-01, abrir V1 y V2 que actuarán como venteo V3, V4, V20 y V30 de la bomba permanecen cerradas. Accionar el botón de arranque de la bomba y llenar hasta un 80-90 % de la capacidad de DA-01.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>147/ 162</b>

Puesto que la capacidad de los tambores o garrafones es pequeña, será necesario cambiarlos cada vez que se vacíen, se debe parar la bomba en cada cambio.

2. Alinear la alimentación desde el tanque DA-01, hasta el rehervidor EA-01, de acuerdo al flujo con el que se va a trabajar y al punto de alimentación a la torre.
  - a) Para Flujos entre 0 y 2 l/min, utilizar la bomba dosificadora PA-10. Consultar las instrucciones de operación de esta bomba que se encuentran colocadas en el cuerpo del motor.
  - b) Para flujos entre 2 y 10 l/min utilizar la bomba centrífuga PA-09. El control de flujo en la línea puede hacerse de la siguiente forma: abrir completamente V6 y V3, accionar el arrancador de la bomba, abrir lentamente V7 hasta el flujo seleccionado; si no es suficiente el caudal, cerrar lentamente V8 hasta obtener la lectura correcta.
  
3. Si es necesario precalentar la alimentación, proceder de acuerdo a lo siguiente:
  - a) Abrir V42 y V44 en la línea de alimentación de vapor.
  - b) Regular la presión de vapor por medio de la válvula reguladora de presión V43.
  - c) Abrir lentamente V49 dando tiempo para estabilizar la temperatura en la línea de alimentación. La lectura de temperatura en la línea de alimentación. Se hará en el tablero de control por medio del indicador multipunto.
  - d) Al abrir V49 la presión puede variar por lo que será necesario un reajuste.
  - e) La temperatura de salida del precalentador en la línea de alimentación a la torre deberá ser como máximo, 5 o 10 °C abajo del punto de ebullición.
  
4. Comprobar que llega alimentación al rehervidor EA-01, por inspección visual en el indicador de nivel LI No. 3.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>148/ 162</b>

5. Cuando se observe líquido en el indicador de nivel LI No. 4, arrancar el equipo de bombeo de fondos, previa alineación de válvulas. El retiro de fondos se hará ya sea por PA-07 o PA-08, dependiendo de los flujos manejados y observando las indicaciones de operación para cada bomba, establecidos en el punto No. 2. Previamente debe revisarse que al enfriador EA-06 llegue agua de enfriamiento. Llevar los fondos a DA-03 o DA-01, según las indicaciones del instructor.
6. Alimentar vapor al rehervidor abriendo V48 y comprobar que la trampa de vapor colocada en la línea de salida del condensador funciona adecuadamente. En caso de un mal funcionamiento, reportar a los Técnicos. En este punto será necesario un reajuste en la presión del vapor.
7. Observar el aumento de temperatura en el interior de la Torre por medio del indicador - registrador de temperatura, instalado en el tablero de control.
8. Alimentar agua a los condensadores, alineando válvulas y comprobando que se encuentren instalados los cartuchos de FA-03 y FA-04. Revisar que la válvula de venteo V70 esté abierta para operar a presión atmosférica.
9. Cuando se compruebe visualmente que hay destilado en el tanque de acumulación DA-04, por medio de LI No. 6, empezar a retirarlo por medio de V-16. Previa alineación de válvulas y alimentación de agua EA-05.
10. Llevar el destilado a DA-02 o a DA-01, en caso de una operación repetitiva.

### 4.3 OPERACIÓN CON REFLUJO

Si se desea una operación con reflujo se procede a operar la Torre hasta llegar a las condiciones establecidas en el punto 8. Enseguida continuar con el punto 11.

11. Seleccionar el punto de alimentación de reflujo, V40 o V41.
12. Alinear válvulas haciendo pasar el reflujo por PA-06 y V36, dejando cerrada V31.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>149/ 162</b>

13. Cuando el nivel en LI No. 5, esté aproximadamente a la mitad accionar el arrancador de PA-06, observando las indicaciones dadas en el punto 2.
14. En caso de ser necesario realizar un ajuste en los flujos de alimentación y fondos.
15. Ya sea que la operación sea con o sin reflujo, se recomienda que el nivel indicado en LI No. 4 se mantenga constante y aproximadamente a la mitad para evitar inundaciones en el rehervidor.

#### 4.4 PARO

16. Suspender el suministro de vapor, cerrando únicamente V42.
17. Continuar la alimentación por aproximadamente 15 minutos más y parar la bomba de alimentación.
18. Si se está operando con reflujo, continuar hasta vaciar la sección del tanque DA-04, correspondiente al reflujo. Controlar por medio de inspección visual de LI No. 5. Cuando se vacíe parar la bomba.
19. Si la operación no es con reflujo será necesario efectuar lo indicado en los puntos 11, 12, 13 y 18.
20. Retirar la mayor cantidad posible de fondos hasta que no se tenga nivel visible en LI No. 4. Parar la bomba.
21. Suspender el suministro de agua de enfriamiento parando la bomba y el ventilador de la torre de enfriamiento.
22. Cerrar todas las válvulas de las líneas de suministro de vapor y agua de enfriamiento.
23. Drenar el rehervidor.
24. Cerrar todas las válvulas del equipo.

#### 5.5 PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA

##### 4.5.1 Falla de Energía Eléctrica.

En caso de que se suspenda el suministro de energía eléctrica, los motores de las bombas del sistema de destilación dejan de funcionar en forma automática, así como también el suministro del agua de enfriamiento, y el vapor se seguirá operando por unos cuantos minutos más, lo que puede ocasionar un



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>150/ 162</b>

sobrecalentamiento principalmente en el precalentador EA-02 por lo que es necesario cerrar inmediatamente después de que se detecte este tipo de falla, la válvula de alimentación de vapor V42. Cuando se reanude el servicio es necesario restablecer en primer lugar el agua de enfriamiento, en segundo lugar, las corrientes de proceso y por último el servicio de vapor.

### 4.5.2 Falla de Agua de Enfriamiento.

El suministro de agua de enfriamiento puede fallar por dos causas:

Utilización excesiva en otros equipos, en cuyo caso será necesario suspender las actividades en los otros equipos o reducir el consumo, cuando menos hasta que el sistema de destilación pare.

Falla en el equipo de enfriamiento (bomba o torre de enfriamiento), en este caso se debe suspender la alimentación de vapor y reportar la falla a los Técnicos, los cuales determinarán si es posible continuar o es necesario suspender la actividad utilizando el procedimiento de PARO.

### 4.5.3 Falla en el Suministro de Vapor.

En caso de falla en el suministro de vapor, ésta deberá reportarse a los Técnicos para que restablezcan el servicio, o bien, si se trata de una falla en el equipo, éstos determinarán si el desperfecto amerita la suspensión de la actividad.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

Determinar la conductividad eléctrica de las muestras de destilado tomadas a diferentes tiempos una vez que el sistema se encuentra a régimen permanente.

Después de realizar las determinaciones, depositar las muestras en el garrafón de recolección en caso de no trabajar con agua de la red.

## 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>151/ 162</b>

- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos.
- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Henley, E.J. et al. (2000), *Operaciones de Separación por Etapas de equilibrio en Ingeniería Química*. Primera edición. E.U.A. Editorial Reverté Ediciones, S.A. de C.V. (México)
2. Genkopolis, C.J (1998), *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera edición. México. Editorial compañía editorial continental, S.A. DE C.V.
3. Rousseau, F. (2004), *Principios elementales de los procesos químicos*. Tercera edición. México. Editorial Limusa Wiley
4. Halland Charles. *Fundamentals of multicomponents destilation*. Ed. Mc Graw-hill.
5. Treybal R.E., (2003), *Operaciones de Transferencia de Masa*. Segunda edición. México. Editorial McGrawHill.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	152/ 162

### P- 4

## DESTILACIÓN DIFERENCIAL CON RECTIFICACIÓN EN UNA COLUMNA EMPACADA

### 1. OBJETIVOS

- 1.1 Operar adecuadamente una columna de destilación empacada con anillos Raschig de vidrio.
- 1.2 Analizar la pureza del destilado.

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La columna empacada es un dispositivo utilizado para el contacto continuo del líquido y del gas tanto en flujo a contracorriente como a corriente paralela, que consiste en un envolvente cilíndrico que se ha llenado con empaque o con dispositivo de superficie grande que contiene un plato de soporte y un dispositivo de distribución de líquido, diseñado para proporcionar la irrigación eficaz del empaque. El líquido se distribuye sobre estos y escurre hacia abajo, a través de un lecho empacado, de tal forma que expone una gran superficie al contacto con el gas.

El flujo en contracorriente en un sistema de destilación, es que el producto de cabeza está considerablemente más enriquecido en componente más volátil, que lo que corresponde al equilibrio con el producto de fondo; por lo que es posible utilizar dispositivos para conseguir el flujo en contra corriente con la finalidad de obtener producto de alta pureza.

El vapor fluye a contracorriente con el líquido a través de la sección empacada, y el empaque proporciona una gran área de contacto entre las fases.

La columna empacada es un dispositivo simple que consiste en un envolvente en forma de cilindro que tiene en su interior un plato de soporte para el material de empaque, un dispositivo de distribución de líquido, con un diseño tal que proporcione una irrigación eficaz al empaque. Es posible implementar otros dispositivos para lograr una redistribución del líquido que se puede encauzar hacia abajo de la pared.





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>153/ 162</b>

Los anillos de Raschig (llamados así en honor a su inventor, el químico alemán Friedrich August Raschig) son piezas de geometría tubular cuyo diámetro es aproximadamente igual a su longitud y que se emplean como relleno para columnas en procesos de destilación y en otros procesos químicos ingenieriles.

Generalmente se fabrican con material cerámico o metálico y poseen una elevada superficie específica, lo que facilita la interacción entre una fase líquida estacionaria y una fase móvil gaseosa.

Los anillos de Raschig conforman lo que se conoce como relleno aleatorio, y el propio Friedrich Raschig logró llevar a cabo con ellos destilaciones mucho más eficientes que las que se conseguían empleando columnas de platos para destilación fraccionada.

### FUNCIONAMIENTO DE UNA COLUMNA EMPACADA

Probablemente la mayor influencia en el funcionamiento de la columna este dada por la distribución de líquido. Una mala distribución de este traerá como consecuencia variaciones en la caída de presión esperada.

Las columnas altas necesitaran re-distribuidores. El espacio entre estos dependerá del tipo de empaque.

La distribución del gas es menos crítica que la distribución del líquido. Los platos que soportan el empaque deben tener una fracción de espacios vacíos semejante a la de la columna.

La relación entre diámetro de la columna y diámetro del empaque es importante, ya que si los empaques son muy grandes se pueden producir efectos sobre la caída de presión con respecto a los espacios cercanos a la pared de la columna. Para anillos Raschig esta relación debe ser al menos de 20:1, pero preferiblemente de 30:1. Otros empaques más modernos pueden funcionar hasta de 10:1. Será necesario seguir las recomendaciones del fabricante. Esta relación es importante cuando se hacen trabajos scale-up (escalamiento), es decir cuando se pasa de una operación de laboratorio a una de nivel industrial.

Ventajas de una columna empacada:



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>154/ 162</b>

- Mayor capacidad y con diámetros menores de 0.6 m son más baratas que las columnas de platos, excepto si se usan aleaciones.
- Los fluidos corrosivos pueden manejarse con materiales resistentes tales como cerámica o carbón.
- El empaque normalmente tiene baja caída de presión por etapa teórica, lo cual es importante en destilaciones al vacío.
- Los líquidos espumantes pueden manejarse más fácilmente debido a la baja agitación del líquido por el vapor.

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1 MATERIALES

- 20 vasos de precipitados de 50 ml.
- 1 pipeta graduada de 1 ml
- 1 pipeta graduada de 5 ml
- 1 pipeta volumétrica de 1 ml
- 1 pipeta volumétrica de 5 ml
- 2 probetas de 2 L
- 2 Termómetros de inmersión totales de -20 a 100 °C graduación de 1°C
- 1 embudo de plástico de 18 cm de diámetro

#### 3.2 REACTIVOS

- 16 L de disolución etanol – agua (El profesor decidirá proporción, se recomienda 2 L etanol y 14 L agua).

NOTA: Otros compuestos, a juicio del profesor, pueden utilizarse para la destilación, tales como: acetato de etilo, acetona, benceno, butanol, cloroformo, hexano, propanol, tolueno o xileno, dado que el sistema es lo suficientemente flexible para manejarlos. La capacidad de destilación, así como la pureza del producto depende de las características de la mezcla de alimentación



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>155/ 162</b>

### 3.3 HERRAMIENTAS

- Escalera
- Casco

### 3.4 EQUIPO

- Refractómetro.
- Sistema de destilación de la columna empacada de vidrio.

### 3.5 SERVICIOS

- Agua de enfriamiento
- Energía eléctrica.
- Vacío

### 3.5 MATERIAL BÁSICO

- El definido por el profesor

## 4. PROCEDIMIENTO

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El equipo puede ser utilizado en operaciones de destilación tipo intermitente y continua (Ver figuras 1 y 2)

- Torre de destilación de TA-01
- Condensador EA-01
- Refrigerante de destilado EA-01
- Matraz de alimentación DA-01
- Matraz receptor de destilado DA-02
- Válvula de reflujo VP-03
- Termopozo en parte superior de la torre
- Mantilla de calentamiento
- Indicador de vacío



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>156/ 162</b>

- Rotámetros para agua de enfriamiento
- Indicadores de temperatura para agua de enfriamiento

### AGUA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de destilación utiliza los servicios de un circuito cerrado de agua de enfriamiento, para la utilización de este circuito es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Llenar el tanque de la torre de enfriamiento abriendo la válvula de alimentación.
- Una vez que esté lleno el tanque verificar que los electrodos de paro automático se encuentran en posición correcta.
- Accionar los interruptores tanto de la bomba como del ventilador para poner en servicio el circuito.
- Verificar que las válvulas que suministran agua de enfriamiento a otros equipos estén cerradas, con el objeto de utilizar el mayor caudal posible de la torre de destilación.

### SUMINISTRO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

- 1) Abrir VA-01 de alimentación de la torre
- 2) Mantener cerrada VA-02 de desfogue
- 3) Dirigir y regular el flujo con las válvulas VA-03, VA-04, VA-05 y VA-06
- 4) Mantener cerrada VA-06, para la alimentación del condensador abrir VA-05
- 5) Para retornar el agua a la torre de enfriamiento abrir VA-07.

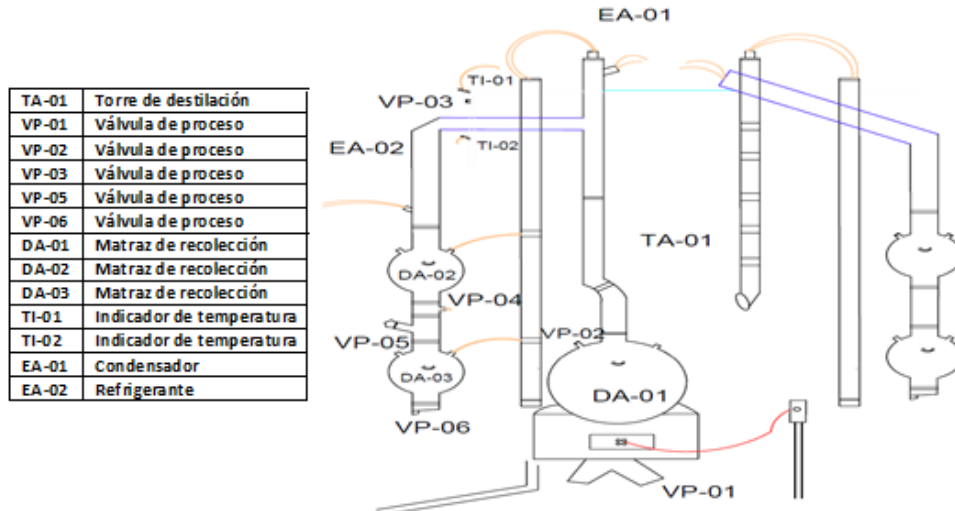


# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

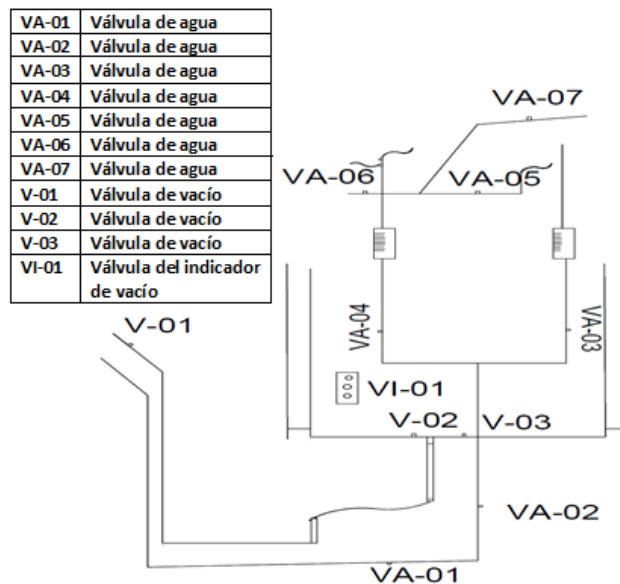
## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	157/ 162



**Figura 1.** Sistema de destilación empacada (frente)



**Figura 2.** Sistema de destilación empacada (parte trasera)



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>158/ 162</b>

### 4.2 OPERACIÓN DE LA TORRE

- 1) Identificar los componentes, instrumentos y válvulas del sistema de destilación de la columna empacada de vidrio.
- 2) Verificar que todas las válvulas del sistema estén cerradas.
- 3) Corroborar que se encuentre totalmente vacío y limpio el matraz de alimentación DA-01, de lo contrario drenar y limpiar.
- 4) Llenar el matraz DA-01, con 16 L una mezcla etanol-agua. En ambos procedimientos a utilizar para este punto, se debe revisar que la válvula VP-01 permanezca cerrada y que la válvula de venteo se encuentre abierta.
  - a). Llenado en forma manual: quitar el tapón del matraz DA-01, para poder utilizar un embudo para el llenado cargando el contenedor de la solución y verter.
  - b). Llenado por bomba: Utilizar la bomba peristáltica PA-01, para lo cual se colocará la manguera en el recipiente con solución hacia la succión y la otra manguera en la descarga hacia el matraz. Accionar el botón de arranque de la bomba y llenar con la solución etanol-agua.
- 5) En este punto, se debe de activar el medio de calentamiento (mantilla) y el sistema de agua de enfriamiento, abriendo las válvulas para permitir el paso a través del condensador y del enfriador del sistema.
- 6) Colocar el termómetro de inmersión total en el tapón de hule de la boquilla del matraz, verificando que todas las demás boquillas se encuentren cerradas.

Si se operará a vacío:

- **IMPORTANTE:** Para proceder en vacío, se debe cuidar que todas las válvulas de proceso (VP) estén cerradas, incluidas las superiores de los matraces DA-02 y DA-03 hasta el final de la operación del vacío.
- Se regulará la presión de vacío por medio de la válvula V-01 si es requerida.
- Abrir lentamente PV-01 dando tiempo para estabilizar la temperatura en la línea de alimentación. La lectura de temperatura, se hará por medio de un termómetro.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>159/ 162</b>

- Al abrir PV-01 la presión puede variar por lo cual será necesario un reajuste con la VP-02.
- 7) Observar el aumento de temperatura en las partes superior e inferior de la torre, tomar muestras de temperatura cada 20 minutos.
  - 8) Mantener cerrada VP-03, hasta que se alcance la temperatura de ebullición del etanol, una vez alcanzada, se abrirá la válvula hasta el nivel de reflujo requerido para favorecer la purificación del etanol. Se recomienda entre 25-50% de apertura.
  - 9) Llegado este punto, empezar a retirar muestras puntuales por medio de VP-06; al abrirla se debe retirar el acumulado para poder tomar muestra cada 10 min. aproximadamente y recabando los datos de temperatura y presión si fue requerido.
  - 10) Medir índice de refracción, recolectar y medir el volumen del cuerpo y cabeza del destilado.
  - 11) Finalizar la destilación cuando quede aproximadamente 5 L, dejar enfriar sin drenar el matraz, medir el volumen del residuo y del destilado obtenido.

### 4.3 PARO DE LA TORRE

- 1) Detener la alimentación eléctrica de la mantilla, cuando la relación de la disolución a destilar llegue a la cola del destilado (cuando la temperatura de la solución se acerca a la temperatura de ebullición del componente menos volátil).
- 2) Abrir el venteo del matraz del destilado
- 3) Suspender el suministro de la torre de enfriamiento, apagar la bomba y el ventilador de la torre de enfriamiento, cerrar todas las válvulas en caso de que nadie más la ocupe cerrar rejillas.
- 4) Cerrar todas las válvulas de las líneas de suministro de vacío y agua de enfriamiento.
- 5) Cerrar todas las válvulas del equipo.

### 4.4 PARO DE EMERGENCIA

En el caso de manejar sustancias químicas tóxicas, inflamable, explosiva o que provoca quemaduras en los ojos o piel.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>160/ 162</b>

Es muy importante que todos los usuarios estén preparados para identificar accidente o el manejo de las sustancias que van a trabajar, de acuerdo a su hoja de seguridad en donde se describe las propiedades de la sustancia química, los contenedores de las materias primas y destilado deben estar tapados y contar con una etiqueta que los identifica para facilitar su uso posterior.

### CAUSAS DE FALLAS

#### ✓ Fallo de Energía Eléctrica

Despresurizar la torre, recuperar destilado y residuos, cerrar válvulas y apagar interruptores de la energía eléctrica

#### ✓ Fallo de Agua de Enfriamiento

El suministro de agua de enfriamiento puede fallar por dos ocasiones:

a. Utilización excesiva en otros equipos, en cuyo caso será necesario suspender las actividades en los otros equipos o reducir el consumo, cuando menos hasta que el sistema de destilación pare.

b. Falla en el equipo de enfriamiento (bomba o torre de enfriamiento) en ese caso se debe suspender la alimentación de agua de enfriamiento.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS

### 5.1 PRESENTACION DE DATOS

1. Construir experimentalmente la curva de calibración mediante la tabla siguiente.

Usando etanol grado de alta pureza.

**Tabla 1.** Resultados obtenidos.

% etanol	% agua	Vol. ml ETANOL	Vol. ml AGUA
0	100	0	5
20	80	1	4
40	60	2	3
60	40	3	2
80	20	4	1





# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
SGC-FESZ-IQ-ML02	23/07/2024	3	161/ 162

2. Construir una curva de calibración de composición contra índice de refracción y comparar con la gráfica, el índice de refracción de cada una de las muestras colectadas durante la destilación.

3. Analizar y discutir los resultados

### 6. MANEJO DE RESIDUOS

- Los reactivos sobrantes deberán regresarse al asesor con el fin de que sean utilizados por otros equipos del grupo
- Los residuos perfectamente etiquetados deberán colocarse en el área dispuesto para residuos, asignado.
- Es obligación de los alumnos revisar y conocer el manejo de los reactivos y residuos sobrantes durante la práctica de laboratorio
- Los residuos generados son identificados como residuo peligroso de acuerdo a la NOM-O52-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

### 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Henley, E.J., Seader, J.D (1988). *Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química*. Barcelona, Reverte.
2. Halland Charles. *Fundamentals of multicomponents destilation*. Ed. Mc Graw-hill.
3. Henley, S.D. "Operación de Separación por Etapas de Equilibrio en I.Q.". Barcelona, España.
4. Quadcom S.A. de C.V. (2007). "Manual de Ingeniería". Miguel Hidalgo, México.



# SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA

## MANUAL DE LABORATORIO Y TALLER DE PROYECTOS DE 7º SEMESTRE



Código	Fecha de aprobación	Versión	Página
<b>SGC-FESZ-IQ-ML02</b>	23/07/2024	<b>3</b>	<b>162/ 162</b>

### ANEXOS

- Link del aula virtual con información relacionada a planta piloto como es el uso y manejo de los equipos más detallada como material complementario:  
<https://tuaulavirtual.educatic.unam.mx/course/view.php?id=515>.  
Para ingresar al aula virtual la contraseña es: **LTP**
- Link del Blog de información que es de interés para la realización de las actividades en laboratorio:  
<https://www.ltpiq.info/>