

---

---

## **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

### **INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL:**

*“REDISEÑO DEL MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO INTEGRAL III”*

#### **EMPRESA PARA LA QUE SE TRABAJÓ:**

*INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.*

#### **ALUMNO:**

*PANIAGUA CONDE HUGO.*

#### **NÚMERO DE CONTROL:**

*12270221.*

#### **ASESOR:**

*ING. MARCO ANTONIO MAZARIEGOS MORALES*

#### **REVISORES:**

*MC. ROBERTO DAVID VAZQUEZ SOLIS*

*ING. JORGE CIRO JIMÉNEZ OCAÑA*

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; A 03 DE AGOSTO DE 2016**

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	7
PROBLEMAS A RESOLVER.....	8
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
CAPÍTULO 1.....	9
GENERALIDADES.....	9
CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA.....	9
UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	10
MISIÓN Y VISIÓN.....	11
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO.....	11
1.5. ORGANIGRAMA.....	12
CAPÍTULO 2 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	13
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCENTRICOS: CORRIENTE EN PARALELO Y CONTRACORRIENTE (INTERCAMBIO DE CALOR LÍQUIDO- LÍQUIDO):.....	13
CAPÍTULO 3 EVAPORACIÓN Y CRISTALIZACIÓN.....	29
EVAPORADOR TOTAL DE PELÍCULA ASCENDENTE.....	29
PRODUCIR CRISTALES AZULES DE SULFATO DE COBRE.....	37
CAPÍTULO 4 HUMIDIFICACION Y SECADO.....	47
SECADO INTERMITENTE DE PAPAS ( <i>SOLANUM TUBEROSUM</i> ).....	47
TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO (HUMIDIFICACIÓN)..	56
CAPITULO 5 DESTILACION.....	67
DESTILACIÓN DIFERENCIAL (ECUACION RAYLEIGH).....	67
DESTILACIÓN FRACCIONADA (COLUMNA DE VIGREUX).....	78
CAPÍTULO 6 EXTRACCION.....	89
EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CACAHUATE CON EL EQUIPO SOXHLET.....	89
EXTRACCION DEL ACEITE ESENCIAL DE JUNCIA DEL ÁRBOL DE <i>PINUS SYLVESTRIS</i> MEDIANTE ARRASTRE CON VAPOR.....	98
CAPITULO 7 ABSORCION.....	108
ABSORCIÓN CON REACCION QUIMICA SIMULTÁNEA DE CO <sub>2</sub> .....	108
CONCLUSIÓN.....	114
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	115

## **INTRODUCCIÓN**

La carrera de Ingeniería Química que ofrece el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, tiene dentro de su retícula asignaturas como Laboratorios Integrales, que tienen como finalidad que los alumnos adquieran experiencias en un ambiente controlado de laboratorio, con prácticas diseñadas para este fin.

En los libros de texto y diferentes materiales referentes a Química, normalmente es poco lo que hablan acerca del trabajo en el laboratorio, además de que en algunos manuales tienen poca adaptación para lograr el aprendizaje deseado y de forma más clara (en ocasiones resultan inadecuados).

Este manual espera servir de guía para la realización de las prácticas y reportes correspondientes a la asignatura de Laboratorio Integral III. Cada una de éstas prácticas ha sido revisada y comprobada, de manera que podemos asegurar que los procedimientos son confiables y conducen a la obtención de los resultados deseados.

También estas prácticas propuestas están abiertas a innovaciones y sugerencias con el fin de mejorar tanto este manual como el aprendizaje, y pueden mencionarlas con la persona encargada de impartir la asignatura o el/la responsable de este manual.

Este manual incluye por cada práctica:

1. Fundamentos teóricos de las operaciones a realizar.
2. Manejo y operación de los equipos utilizados.
3. Procedimientos de práctica (s).
4. Sección ilustrativa y de recomendación.
5. Resumen de resultados obtenidos en la práctica.
6. Actividades complementarias para cada práctica.

Durante la lectura previa de cada una de las prácticas descritas en este manual, nos percatamos que hay otras formas o métodos de poder experimentar mismos fenómenos o fenómenos que influyen en al menos una variable de las que se quieren obtener en cada una de las prácticas. Por lo que si se tiene una adaptación a la misma o una práctica diferente en la que se acomoden a los materiales que se tienen en el laboratorio en el que se llevan a cabo, pueden proponerse para mejora de la asignatura y para el aprendizaje del alumnado.

Este documento es una guía que debe ser consultada antes y durante la realización de prácticas.

Con este manual se pretende que los alumnos de la carrera de Ing. Química adquieran la habilidad de diseñar, montar y correr diferentes prácticas que cumplan con los procesos que se quieren conocer, así también como modificar o adaptar las practicas propuestas en este manual; también pueden obtener y analizar los resultados de los experimentos y ratificar los

conocimientos aprendidos durante los diferentes cursos de procesos de separación, en específico procesos de separación II y III.

Este manual es una herramienta para que el alumno fortalezca su formación profesional como ingeniero químico.

## JUSTIFICACIÓN

El presente documento diseño como guía para la realización de las secciones de prácticas del Laboratorio Integral III en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, actualmente existe un manual con el que se ha trabajado anteriormente, pero debido a los cambios que se le han hecho al programa y a la implementación de la caldera, surge la necesidad de la revisión en su estructura, ya que hacían falta prácticas que complementaran el contenido temático de dicho programa.

Se agregaron tres prácticas más, las cuales son.

- Torre de enfriamiento de tiro forzado (humidificación)
- Una experiencia con el evaporador total de película ascendente
- Absorción de  $CO_2$  con hidróxido de sodio.

Se espera que con este manual rediseñado el alumno tenga una herramienta más para crecer en su formación profesional como ingeniero químico.

## OBJETIVOS.

### 1.- OBJETIVO GENERAL:

- Desarrollar la capacidad del alumno para la obtención de datos experimentales y su interpretación de acuerdo con teorías en las operaciones unitarias ya conocidas por el alumno.

### 2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Adquirir la habilidad de diseñar, plantear y desarrollar experimentos en el área de Ingeniería Química.
- Comprobar y analizar el porqué de los resultados de la sesiones de práctica.
- Desarrollar el interés y la creatividad en la investigación científica.
- Generar nuevos conocimientos a partir del desarrollo de los experimentos.
- Potenciar la habilidad y confianza en el manejo de equipos de laboratorio y escala piloto, así como utilizar los equipos de seguridad necesarios en cada práctica.

## **PROBLEMAS A RESOLVER**

- ❖ La poca información que tienen los alumnos de los conceptos que conocen durante cursan diversas asignaturas, los cuales se pretenden reforzar.
- ❖ Formar a los alumnos como excelentes diseñadores y optimizadores de prácticas y procesos en las operaciones unitarias.

## **ALCANCES Y LIMITACIONES.**

Se pretende ayudar a los alumnos que cursan la carrera de Ing. Química del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, con una herramienta de apoyo estructurada didácticamente para el desarrollo de prácticas en el Laboratorio Integral III.

Durante las sesiones realizadas enmarcadas en este manual, existieron muchas limitaciones como la falta de material como lo son tapones, mangueras, pegamento, termómetros. Dentro de servicios auxiliares en ocasiones el laboratorio carece de agua para enfriamiento.



## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES.**

#### **CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA.**

El Tecnológico Nacional De México, en Tuxtla Gutiérrez, es una empresa educativa formadora de ingenieros en sus diferentes áreas. Fundada en los años 70, esta institución hoy en día cuenta con 8 licenciaturas:

Ingeniería Mecánica

Ingeniería en Sistemas Computacionales

Ingeniería Industrial

Ingeniería Electrónica

Ingeniería Eléctrica

Ingeniería BioQuímica

Ingeniería Química

Ingeniería en Gestión Empresarial

#### **2 Maestrías en:**

Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica

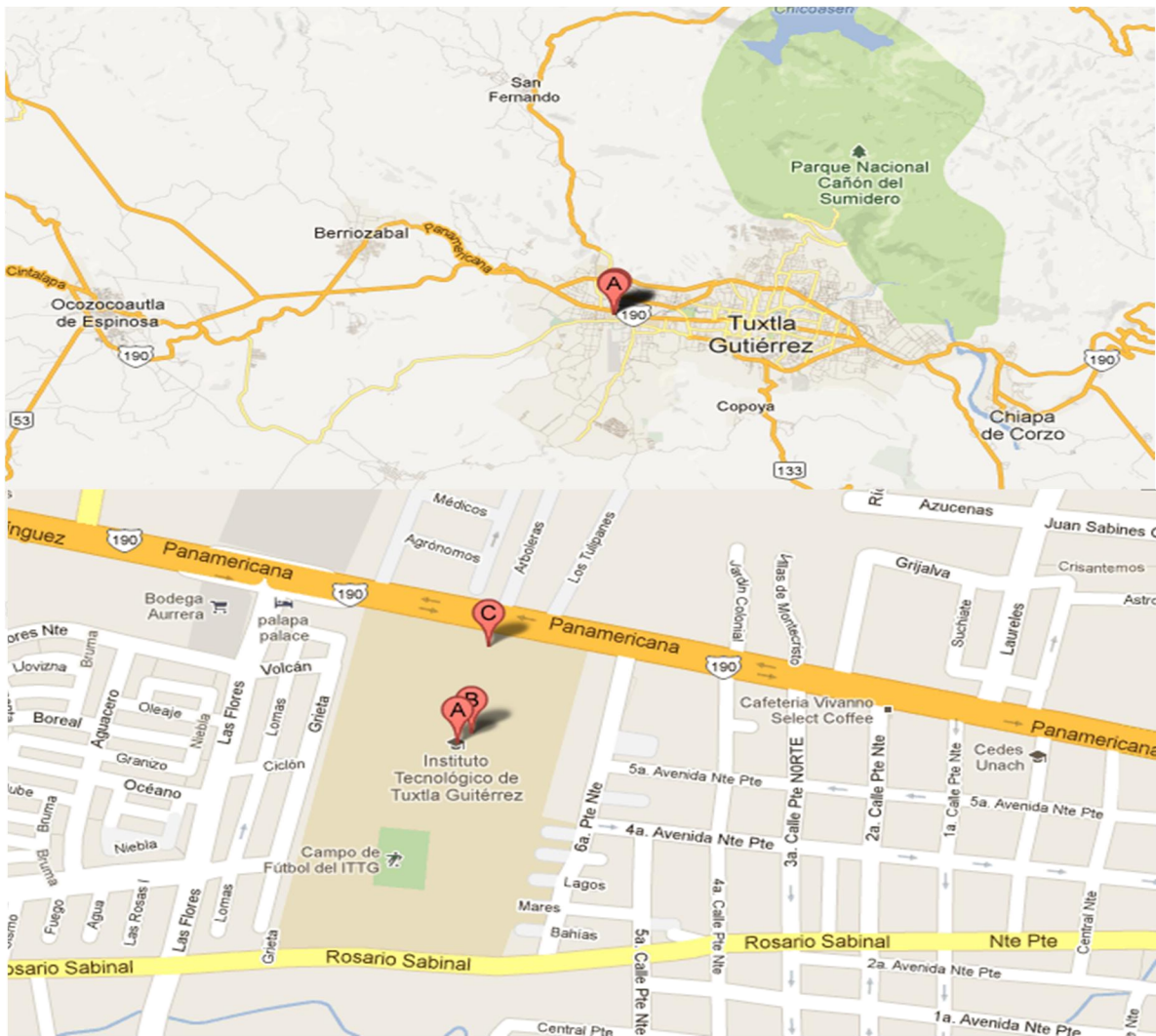
Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

#### **1 Doctorado en:**

Doctorado en Biotecnología

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El instituto tiene la siguiente dirección y está ubicado en Tuxtla Gutiérrez,  
Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Apartado Postal: 599,  
Tel. (961)61 5 04 61 Fax: (961)61 5 16 87. Vista de google mapas.



## MISIÓN Y VISIÓN.

### Misión:

- Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

### Visión:

- Ser una institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

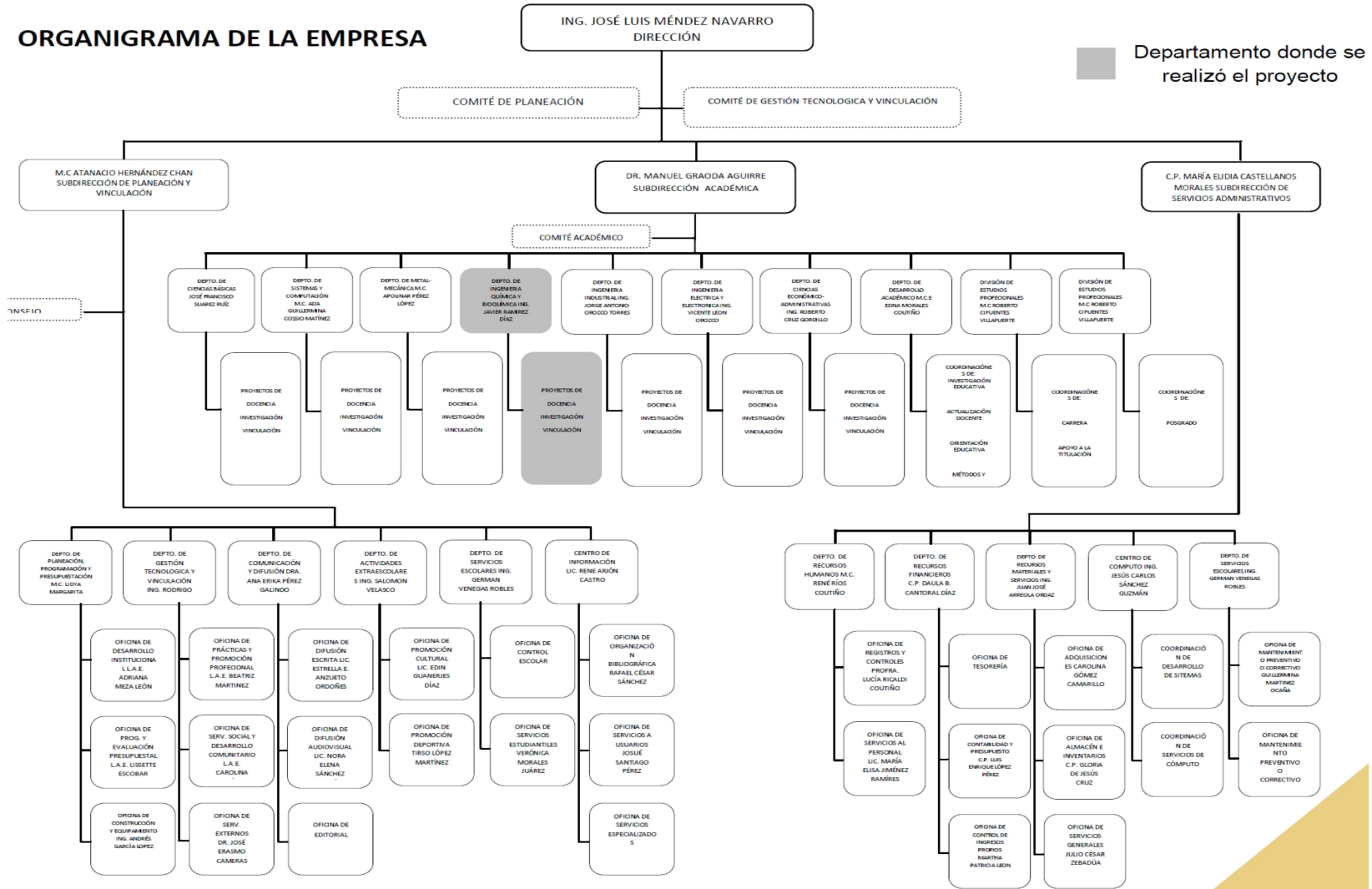
## CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO.

El manual de prácticas se desarrolló en el laboratorio de Ingeniería Química el cual está ubicado en el instituto, este laboratorio está asignado como el edificio Ñ.

En el contamos con un laboratorio el cual cuenta con las herramientas para llevar a cabo las sesiones de práctica. Este laboratorio está compuesto por 4 mesas de trabajo, un equipo de intercambiadores de calor, un equipo de extracción por arrastre de vapor, 4 molinos, un pizarrón acrílico, etc.

1.5. ORGANIGRAMA.

ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



## CAPÍTULO 2 TRANSFERENCIA DE CALOR

### INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCENTRICOS: CORRIENTE EN PARALELO Y CONTRACORRIENTE (INTERCAMBIO DE CALOR LÍQUIDO- LÍQUIDO):

#### PROPÓSITOS.

- Aprender el funcionamiento experimental de un intercambiador de calor de tubos concéntricos.
- Plantear y resolver los balances de calor involucrados en el intercambiador.
- Determinar del coeficiente global de transmisión de calor ( $U$ ), a partir del balance térmico y de la diferencia de temperaturas entre fluidos en diferentes condiciones de trabajo.

#### MARCO TEÓRICO.

Un *intercambiador de doble tubo*, como su nombre indica consta de dos tubos concéntricos; por el tubo interior circula un fluido y por el espacio anular existente entre los dos tubos, otro fluido (ver figura 1). El flujo de los fluidos puede ser en paralelo (igual sentido) o en contracorriente (sentidos opuestos). Éste último presenta generalmente mayor eficacia térmica. Resultan útiles cuando son necesarios saltos térmicos muy elevados, cuando se trabaja a presiones elevadas o cuando el tamaño del intercambiador es pequeño (caso de aplicaciones de laboratorio).

Generalmente en el intercambio de calor entre un vapor y un líquido, el primero actúa como el fluido caliente y el segundo como el fluido frío. Así por parte del vapor intervienen dos formas diferentes de calor: *calor latente* relacionado con el cambio de estado del vapor a líquido, que sucede porque aquél pierde calor que cede al fluido frío y suele condensarse y el *calor sensible* relacionado con la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida del fluido caliente. El conjunto de los dos conceptos de calor forma el total de energía intercambiada. Si el vapor no llegara a condensarse todo el calor intercambiado sería *sensible* (KERN, 1984).

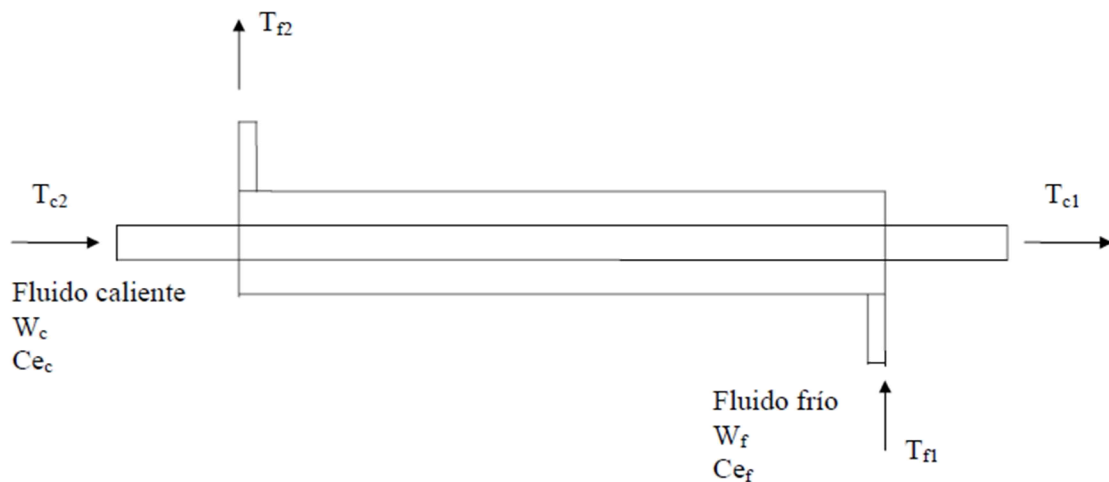


Fig. 1.- Esquema de un intercambiador de calor de doble tubo en contracorriente.

### BALANCE DE CALOR

El esquema de los fluidos que recorren el intercambiador de calor si el flujo es en contracorriente se presenta en la figura 2.

De esta forma el flujo de *calor sensible* cedido por el vapor se determina:

$$(Q/\theta)_{cs} = W_c \cdot C_{ec} \cdot (T_{c2} - T_{c1})$$

Por otro lado el flujo de *calor latente* cedido por el vapor al condensarse se determina a partir de la expresión:

$$(Q/\theta)_{cv} = W_c \cdot \Lambda_v$$

Con lo que en total el calor intercambiado es:

$$(Q/\theta)_{ct} = W_c \cdot C_{ec} \cdot (T_{c2} - T_{c1}) + W_c \cdot \Lambda_v$$

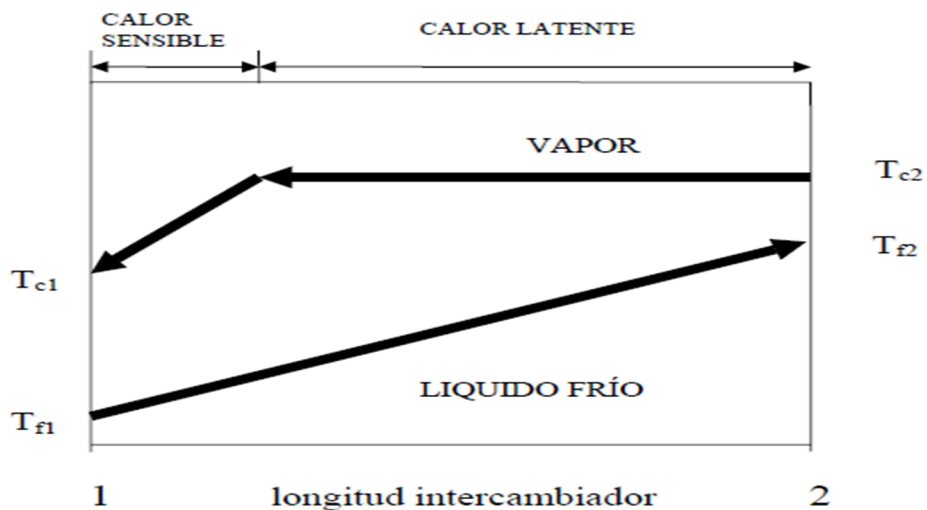


Fig. 2.- Esquema de la circulación de los fluidos en contracorriente en el intercambiador de calor.

Mientras el calor absorbido por el fluido frío, como en la práctica, se determina:

$$(Q/\theta)_f = W_f \cdot C_{ef} \cdot (T_{f2} - T_{f1})$$

Donde  $(Q/\theta)_{cs}$  y  $(Q/\theta)_{cv}$  son los flujos de calor sensible y latente de condensación del vapor.

$W_c$  y  $W_f$  son los flujos másicos (masa/tiempo) de los fluidos caliente y frío respectivamente.

$C_{ec}$  y  $C_{ef}$  son los calores específicos de los fluidos caliente y frío respectivamente.

$\lambda_v$  es el calor latente de condensación del vapor.

$T_{c2}$  y  $T_{f1}$  son las temperaturas de entrada de los fluidos caliente y frío respectivamente.

$T_{c1}$  y  $T_{f2}$  son las temperaturas de salida de los fluidos caliente y frío respectivamente.

En condiciones estacionarias y suponiendo, para simplificar que el sistema no tiene pérdidas de energía, los flujos de calor de ambos fluidos deben ser iguales.

$$(Q/\theta)_c = (Q/\theta)_f = (Q/\theta)$$



## ***DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR.***

En un intercambiador de doble tubo, cualquiera que sea el tipo de flujo, se cumple:

$$(Q/\theta) = U_m \cdot A_m \cdot (\Delta T)_m$$

Suponiendo que U es constante respecto a  $\Delta T$  y siendo

$(Q/\theta)$  es el calor transmitido por unidad de tiempo.

$U_m$  es el coeficiente global de transmisión de calor

$A_m$  es el área de intercambio de calor

$(\Delta T)_m$  es la diferencia de temperaturas media logarítmica entre los dos fluidos, tal que:

$$(\Delta T)_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Donde  $\Delta T_1$  es la diferencia de temperaturas entre las correspondientes a la sección 1 para los dos fluidos =  $T_{c1} - T_{f1}$ .

$\Delta T_2$  es la diferencia de temperaturas entre las correspondientes a la sección 2 para los dos fluidos =  $T_{c2} - T_{f2}$ .

Aplicando la simplificación de despreciar el calor sensible, tener en cuenta en los cálculos que  $T_{c1} = T_{c2}$ .

En el transcurso de la experiencia se miden las temperaturas y deben conocerse los caudales másicos, con lo que se puede calcular el calor. En caso de no poder conocer los caudales másicos, caso del vapor, podría trabajarse en los cálculos con la masa de condensado. El área de intercambio se calcula a partir de la geometría del intercambiador, por tanto, puede determinarse el coeficiente global de calor mediante la expresión:

El área  $A_m$  es la superficie a través de la cual se produce el intercambio de calor en el intercambiador. En la presente práctica la superficie interna del tubo interior es utilizada en el cálculo anterior.

$$U_m = \frac{(Q/\theta)}{A_m \cdot \Delta T_m}$$

## MATERIALES

Para esta práctica es necesario disponer de una instalación de intercambiadores de calor que se encuentra en el laboratorio Ing. Química.

- Probeta graduada de 250 ml.
- Un vaso precipitado de 500 ml.
- Cronómetro.
- Regla de 30 cm.
- vernier.

## **REACTIVOS Y SERVICIOS AUXILIARES**

- Agua.

### **SECCIÓN DE RECOMENDACIÓN.**

Al estar registrando las temperaturas del panel de control se recomienda que los alumnos no se acerquen tanto al panel de tuberías debido a que este logra calentarse hasta 65°C aproximadamente, se menciona esto para evitar posibles quemaduras.

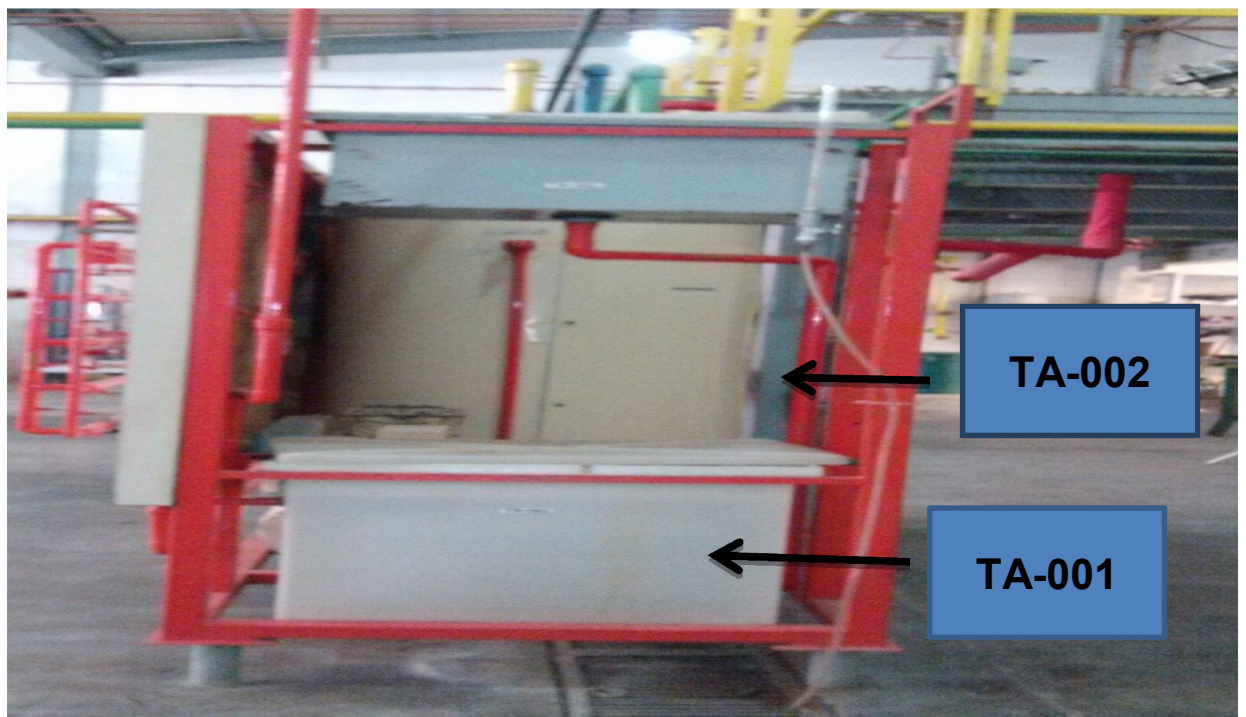
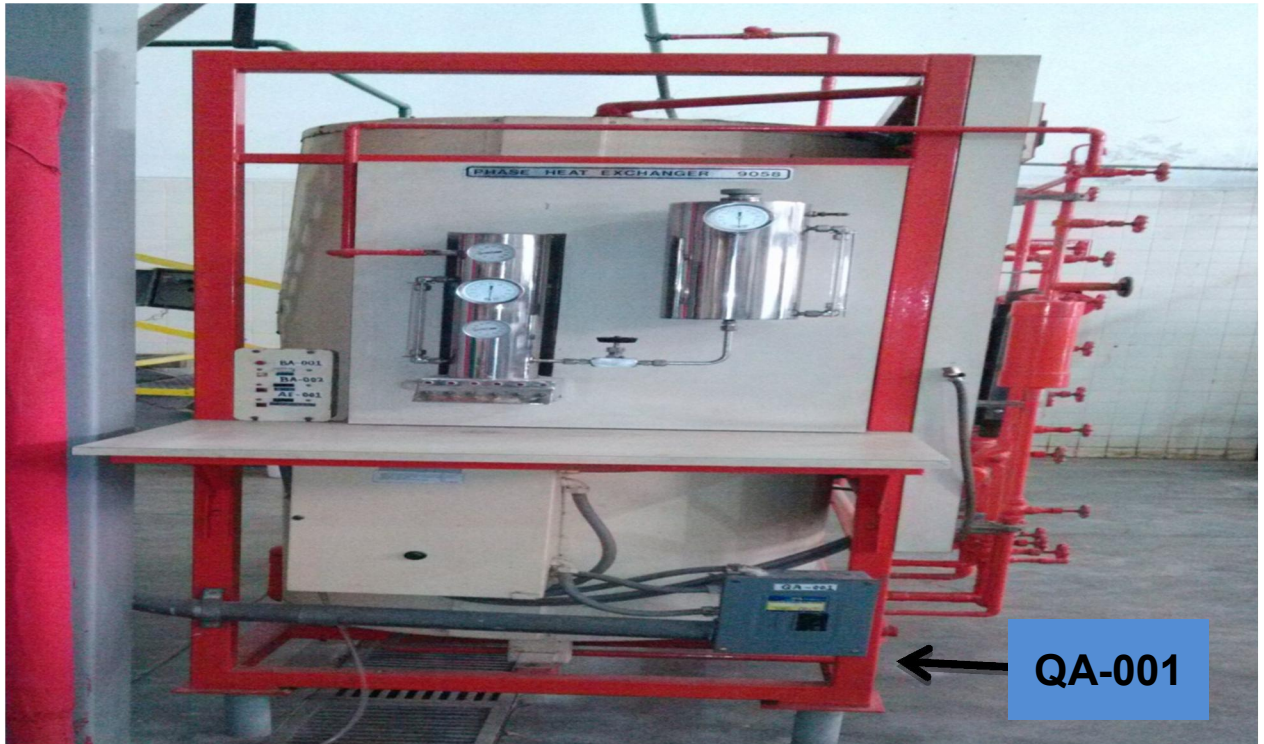
### **PROCEDIMIENTO.**

Indicaciones para trabajar con el intercambiador de doble tubo en el laboratorio de Ingeniería Química.

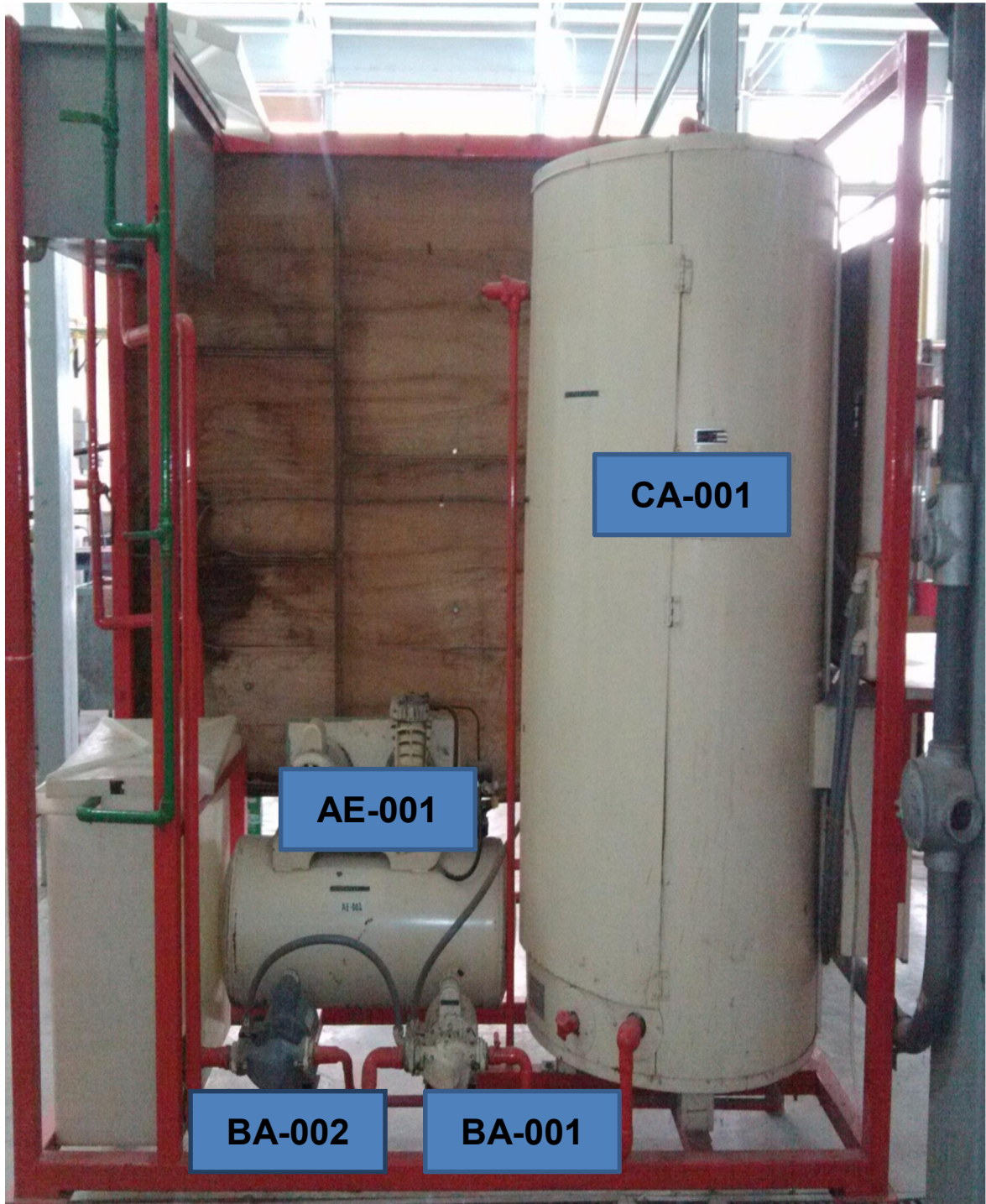
- 1) Identificar el centro de carga QA-001 y encenderlo.
- 2) Verificar que los tanques de alimentación TA-001 (agua caliente) y TA-002 (agua fría) estén llenos. Si no es así tendremos que llenarlos.
- 3) Encender la bomba BA-001 (agua caliente) transcurrido 1 hora aproximadamente de calentamiento del equipo.
- 4) Circular el agua caliente en el tubo interno hasta estabilizar la temperatura (64°C aproximadamente) .Esto se logra gracias al calentamiento del calentador CA-001.
- 5) Visualizar los tubos por los cuales se hará el intercambio y con la ayuda de una llave indicar la dirección de los flujos.
- 6) Identificar y registrar en el panel del equipo las diferentes tuberías por las cuales realizaremos las corridas de intercambio.

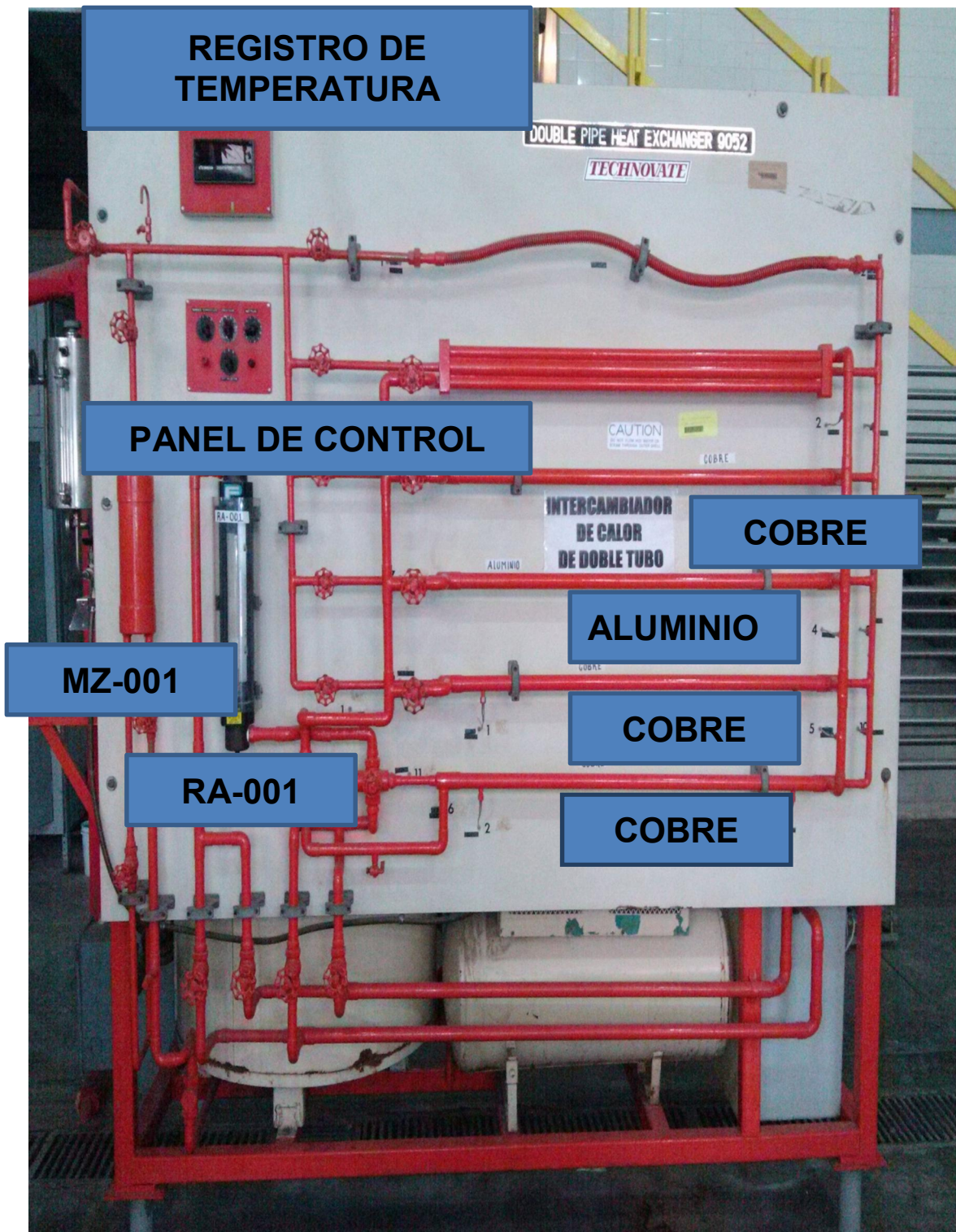
- 7) Circular por el tubo interno el agua caliente a un flujo másico constante.
- 8) Encender la bomba BA-002 (agua fría), este fluido pasara por el tubo externo .El intercambio de los flujos puede ser a contracorriente o paralelo según se haya decidido en el paso 5.
- 9) Seleccionar con la ayuda del rotámetro RA-001 la velocidad del fluido que pasa por el tubo externo y registrar esta velocidad. El intercambiador de calor está equipado con un rotámetro RA-001 que nos permite variar la velocidad de la corriente en un rango de 10 a 15 LPM (litros por minuto).
- 10) Anotar las temperaturas de los flujo a contracorriente y paralelo con los cuales se hace decido trabajar.
- 11) Apagar la bomba TA-002 (agua fría) y se deja por un momento la bomba TA-001.
- 12) Medir el flujo volumétrico de tubo interno (agua caliente) ayudándonos de una probeta y un cronómetro.
- 13) Apagar la bomba TA-001 y el centro de carga QA-001.
- 14) Medir la longitud del tubo (interno) y con un VERNIER medir el diámetro del tubo interior.
- 15) Si se requiere hacer un intercambio pero esta vez con aire el equipo también está integrado con un compresor AE-001.

**SECCIÓN ILUSTRATIVA.**









**TABLAS DE RESULTADOS.**

<b>TABLA DE RESULTADOS DE LAS CORRIDAS A CONTRACORRIENTE EN EL TUBO DE COBRE A 10 Y 14 LPM CORRIENTE FRÍA.</b>					
(T1C=corriente caliente y t1f=corriente fría)					
<b>N° corrida.</b>	<b>Temperaturas °C</b>	<b>Calor suministrado KJ/MINUTO</b>	<b>(ΔT) m °C</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>U m (KJ/M<sup>2</sup> H °C)</b>
<b>Corrida 1 a contracorriente tubo de cobre a 10 LPM en la corriente fría.</b>	<b>T1c=</b>				
	<b>T2c=</b>				
	<b>t1f=</b>				
	<b>t2f=</b>				
<b>Corrida 2 a contracorriente tubo de cobre a 14 LPM en la corriente fría.</b>	<b>T1c=</b>				
	<b>T2c=</b>				
	<b>t1f=</b>				
	<b>t2f=</b>				



<b>TABLA DE RESULTADOS DE LAS CORRIDAS A CONTRACORRIENTE EN EL TUBO DE ALUMINIO A 10 Y 14 LPM CORRIENTE FRÍA.</b> (T1C=corriente caliente y t1f=corriente fría)					
N° corrida.	Temperaturas °C	Calor suministrado KJ/MINUTO	( $\Delta T$ ) m °C	Área m <sup>2</sup>	U m (KJ/M <sup>2</sup> H °C)
<b>Corrida 3 a</b>  <b>contracorriente tubo de</b>  <b>aluminio a 10 LPM en la</b>  <b>corriente fría.</b>	T1c=				
	T2c=				
	t1f=				
	t2f=				
<b>Corrida 4 a</b>  <b>contracorriente tubo de</b>  <b>aluminio a 14 LPM en la</b>  <b>corriente fría.</b>	T1c=				
	T2c=				
	t1f=				
	t2f=				

<b>TABLA DE RESULTADOS DE LAS CORRIDAS EN PARALELO EN EL TUBO DE ALUMINIO A 10 Y 14 LPM CORRIENTE FRÍA.</b> <b>(T1C=corriente caliente y t1f=corriente fría)</b>					
N° corrida.	Temperaturas °C	Calor suministrado KJ/MINUTO	( $\Delta T$ ) m °C	Área m <sup>2</sup>	U m (KJ/M <sup>2</sup> H °C)
<b>Corrida 1 en paralelo en el tubo de aluminio a 10 LPM en la corriente fría.</b>	<b>T1c=</b>				
	<b>T2c=</b>				
	<b>t1f=</b>				
	<b>t2f=</b>				
<b>Corrida 2 en paralelo en el tubo de aluminio a 14 LPM en la corriente fría.</b>	<b>T1c=</b>				
	<b>T2c=</b>				
	<b>t1f=</b>				
	<b>t2f=</b>				

<b>TABLA DE RESULTADOS DE LAS CORRIDAS EN PARALELO EN EL TUBO DE COBRE A 10 Y 14 LPM CORRIENTE FRÍA.</b> <b>(T1C=corriente caliente y t1f=corriente fría)</b>					
N° corrida.	Temperaturas °C	Calor suministrado KJ/MINUTO	( $\Delta T$ ) m °C	Área m <sup>2</sup>	U m (KJ/M <sup>2</sup> H °C)
<b>Corrida 3 en paralelo en el tubo de cobre a 10 LPM en la corriente fría.</b>	T1c=				
	T2c=				
	t1f=				
	t2f=				
<b>Corrida 4 en paralelo en el tubo de cobre a 14 LPM en la corriente fría.</b>	T1c=				
	T2c=				
	t1f=				
	t2f=				

### **CUESTIONARIO.**

- 1) ¿Menciona tres tipos de intercambiadores más usuales en la industria?
- 2) ¿Qué función cumple un intercambiador de calor?
- 3) Según los datos encontrado de  $U$  ¿En qué dirección se aprovecha más el calor de la corriente caliente? ¿Por qué?
- 4) ¿Escriba la ecuación de balance de energía si hacemos pasar vapor saturado en contacto con agua fría?
- 5) Si aumentamos la velocidad en la corriente fría (tubo externo), manteniendo constante el flujo interno ¿Qué pasa con los valores de  $U$ ?

## **CAPÍTULO 3 EVAPORACIÓN Y CRISTALIZACIÓN**

### **EVAPORADOR TOTAL DE PELÍCULA ASCENDENTE**

#### **PROPÓSITOS**

- Conocer y experimentar el funcionamiento de un evaporador de película ascendente a nivel laboratorio.
- Determinar el coeficiente global de transmisión de calor en el evaporador y el refrigerante recto.
- Concentrar una solución diluida por medio del evaporador total de película ascendente.
- Determinar los balances de materia para el evaporador y el separador flash.

#### **MARCO TEÓRICO**

Los evaporadores se emplean para concentrar soluciones en la Ingeniería de procesos y la tecnología de alimentos. Una parte del disolvente se separa por evaporación, quedando la solución remanente con una concentración más elevada de sólidos disueltos. Una gran ventaja es su diseño sencillo y su bajo costo. Los evaporadores de película se emplean sobre todo cuando se tratan de soluciones sensibles a la temperatura, como por ejemplo la leche.

Un evaporador de película ascendente consta de una calandria de tubos dentro de una carcasa, la bancada de tubos es más larga que en el resto de evaporadores (10-15). El producto utilizado debe ser de baja viscosidad

debido a que el movimiento ascendente es natural. Los tubos se calientan con el vapor existente en el exterior de tal forma que el líquido asciende por el interior de los tubos, debido al arrastre que ejerce el vapor formado. El movimiento de dichos vapores genera una película que se mueve rápidamente hacia arriba.

La solución práctica a un problema de evaporación está en una estrecha relación con el carácter del líquido que se concentra:

- **Concentración:** A medida que aumenta la concentración la solución adquiere cada vez un carácter más individualista. La densidad y viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta que la solución se transforma en saturada o se vuelve demasiada viscosa para una transferencia de calor adecuada.
- **Formación de espuma:** Algunos materiales, en especial las sustancias orgánicas, forman espuma durante la vaporización. Una espuma estable acompaña al vapor que sale del evaporador, causando un fuerte arrastre.
- **Sensibilidad a la temperatura:** Muchos productos químicos finos, productos farmacéuticos y alimentos se deterioran cuando se calientan a temperaturas moderadas durante tiempos relativamente cortos.
- **Incrustaciones:** Algunas soluciones depositan costras sobre la superficie de calentamiento. En estos casos el coeficiente global

disminuye progresivamente hasta que llega un momento en que es preciso interrumpir la operación del evaporador y limpiar los tubos.

## **MATERIALES**

- Evaporador de película ascendente
- Refractómetro
- 1 vaso precipitado de 1 L
- 2 probetas de 1L
- Balanza analítica
- 1 agitador
- Termómetro infrarrojo

## **REACTIVOS Y SERVICIOS AUXILIARES**

- Agua
- Azúcar

## **PROCEDIMIENTO**

### **Planta piloto.**

1. Verificar que la caldera cuente con agua suavizada antes de encenderla.
2. Prender el equipo y dejar que este llegue a una presión aproximada a  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

### Laboratorio de Ingeniería Química.

3. Verificar que las mangueras recircula agua de enfriamiento estén bien conectadas al condensador para evitar fugas, se usaran 3 bolsas de hielo.
4. Se procede a preparar una solución de 20 lt de a  $2^{\circ}$  brix .
5. Colocar la solución en el tanque de alimentación.
6. Antes de alimentar vapor se debe purgar para eliminar suciedad
7. Prender el evaporador en el botón verde y al mismo tiempo empezar a alimentar vapor, este se alimenta en un rango de 7 y 10  $lb/pul^2$  .
8. Enseguida encender la bomba (S2) y abrir la válvula de alimentación verificando que el rotámetro marque 5 y 10 L/min.
9. Encender el pre calentador(S3)
10. Enseguida se enciende la bomba de vacio (S6) abriendo la válvula al máximo (400 mmHg) y se cierran las válvulas de los tanques de almacenamiento de condensado y concentrado para que este hermético.
11. Cuando el control de nivel de reflujo (R) este a la mitad de su capacidad, verificar en el display y si se enciende C3 (foco rojo), de ser asi se debe encender la bomba (S4) y abrir la válvula de recirculación (C4).
12. Verificar que la válvula de descarga al concentrado este poco abierto, de tal forma que el flujo de almacenamiento sea pequeño y estable.



13. Mantener estable el equipo aproximadamente 1 hora.
14. Medir el condensado de vapor, para determinar la cantidad de calor que este aporta al sistema.
15. Medir las temperaturas correspondientes con un termómetro infrarrojo manteniendo una distancia de aproximadamente medio metro del área de medición.
16. Al término de la hora se procede a apagar la caldera, así como también la bomba de circulación, la de vacío y el pre calentador.
17. Apagar el evaporador en el botón verde.
18. Esperar a que se recupere la parte faltante del concentrado, medir el volumen y los grados brix. Antes de medir el volumen se abren las válvulas de vacío que se encuentran por encima de los contenedores de concentrado y condensado.
19. Medir el volumen del condensado.

### **Limpieza del equipo**

Nota: antes de comenzar la limpieza, las válvulas de vacío que se encuentran por encima de los tanques de almacenamiento del condensado y concentrado deben estar abiertas.

20. Con la presión que el evaporador aun presenta se procede a limpiar.
21. Se llena el tanque de alimentación de agua.
22. Se enciende el equipo nuevamente.

23. Encender la bomba de alimentación, enseguida abrir toda la válvula de alimentación.
24. Dejar que se llene el control de nivel de reflujo (R). la llave de paso debe de estar cerrada para evitar que el fluido pase al contenedor de concentrado.
25. Colocar una manguera en la guía de la alimentación, abrir la válvula para drenar.
26. Cerrar la válvula de descarga en la guía de alimentación
27. Encender la bomba de recirculación
28. Abrir la válvula de paso, para no tener recirculación y enviar el flujo al tanque de concentrado.
29. Apagar el equipo y descargar el agua del tanque de concentrado.
30. Limpiar el área de trabajo.

### TABLAS DE RESULTADOS

Solución de azúcar		Cantidad de evaporado (agua)	
Masa		Vol.	
Vol.		Tiempo.	
Concentración		Flujo. vol.	
$T_{entrada}$			

Cantidad de solución en el evaporador		Vapor de caldera	
Vol.		Condensado	
Tiempo		Tiempo	
		Flujo. Vol.	
		Flujo. Vol.	

<b>Agua en el condensador (enfriamiento)</b>		<b>Concentrado</b>	
Vol.		Vol.	
Tiempo 1.		concentración	
Tiempo 2.			
Tiempo 3.			
Flujo. Vol.			
$T_{entrada}$			

Con los datos de las tablas anteriores se establece el balance de materia.

<b>Tabla de datos de la solución (agua + azúcar)</b>	
PM agua	
PMsacarosa	
$\rho_{agua}(28^{\circ}C)$	
$\rho_{sacarosa}(28^{\circ}C)$	
Moles de agua(66 ml)	
Moles de sacarosa(66ml)	
$T_{entrada}$	

<b>Tabla de resultados obtenidos en el evaporador</b>		
<b>Muestras</b>	<b>Mililitros</b>	<b>Grados Brix</b>
Alimentación solución (F)		
Fondo (L)		
Vapor de agua(V)		
F=L+V	F	
Remanente de solución=		ml

<b>Balance de materia en el evaporador</b>			
	Alimentación (F)	Residuo(L)	Vapor (V)
Moles muestra			
Xazucar			
Xagua			
Total			

<b>Calor suministrado al evaporador de película ascendente</b>								
<b>Calor latente de vaporización (1atm y 100°C) = 2262.292 kJ/kg</b>								
corri da	Temperatu ras (°C)	T m	Flujo volumétr ico ( $m^3/h$ )	Densid ad ( $kg/m^3$ )	Flujo mási co (kg/h )	Cpm (Kj/kg °C)	$\Delta T$ ( °C )	Calor suministr ado a la corriente (kj/h)
1	T1c							
	T2c							
	t1f							
	t2f							

\*Tc: corrientes calientes

\*tc: corrientes frías

### CUESTIONARIO

1. ¿Qué balances se pueden hacer en el evaporador?
2. Menciona 3 ejemplos de sustancias que pueden concentrarse en el evaporador de película ascendente.
3. ¿bajo qué principio funciona el evaporador de película ascendente?
4. Diferencias entre el evaporador simple y el de película ascendente.
5. Menciona los equipos auxiliares a la torre.

## **PRODUCIR CRISTALES AZULES DE SULFATO DE COBRE.**

### **PROPÓSITOS.**

- Experimentar el proceso de cristalización del sulfato de cobre con o sin nucleación a nivel de laboratorio.
- Realizar un balance de materia en el proceso.
- Determinar el rendimiento de los cristales en base húmeda a partir de la solución que se prepare.

### **MARCO TEÓRICO.**

La **cristalización** es un proceso de separación de un sólido a partir de una disolución. Al incrementarse la concentración del sólido por encima del punto de saturación, el exceso de sólido se separa en forma de cristales. Este proceso se emplea en Química con frecuencia para purificar una sustancia sólida siendo una operación necesaria para aquellos productos químicos salinos que se presentan comercialmente en forma de polvos o cristales pequeños y que se desean obtener en forma de cristales mayores (GEANKOPLIS, 2000).

El **sulfato de cobre (II)**, también llamado vitriolo azul, sulfato cúprico, piedra azul o caparrosa azul, es un compuesto químico derivado del cobre que forma cristales azules, solubles en agua (su solubilidad, a 20 °c, es de

20'7 g/100 ml de agua). Su forma anhidra ( $\text{CuSO}_4$ ), que se puede obtener calentando suavemente el hidrato, es blanca.

La cristalización consiste en la formación de sustancias sólidas cristalinas a partir de sus disoluciones en un disolvente adecuado.

Gran parte de los sólidos se presentan en estado cristalino, con una estructura geométrica regular y ordenada. El tamaño y perfección de los cristales depende de las condiciones en que éstos se han formado. Cuando una disolución saturada, o un líquido fundido, se enfría lentamente el número de cristales que comienza a formarse es pequeño, creciendo poco a poco su tamaño y dando tiempo, por tanto, a los iones, átomos y moléculas a ocupar posiciones ordenadas en el cristal, que harán que éste sea tanto más perfecto cuanto más lento es el proceso. Por el contrario, un enfriamiento rápido da lugar a numerosos cristales pequeños e imperfectos. De igual forma actúan las impurezas, interfiriendo en la ordenación del cristal, que no consigue así un desarrollo ordenado de sus caras.

Un compuesto cristalino obtenido en condiciones favorables puede alcanzar un elevado grado de pureza, por lo que la cristalización se utiliza como uno de los métodos más eficaces y accesibles de purificación de sustancias sólidas en el laboratorio ya que cuando se forma un cristal las impurezas quedan en las aguas de cristalización, por lo que si se efectúa varias veces

la disolución y posterior cristalización de una sustancia, ésta será cada vez más pura.

La cristalización puede realizarse por fusión, disolución o sublimación:

- Por fusión: Se funde la sustancia a cristalizar, para posteriormente dejarla enfriar, apareciendo los cristales sobre las paredes del recipiente.

- Por disolución: Se prepara una disolución saturada del sólido a cristalizar, dejando que se evapore lentamente el disolvente, de tal manera que de la disolución se sobresatura y de ella irán separando lentamente los cristales del sólido disuelto. Como de ordinario los sólidos son más solubles en caliente que en frío, se conseguirá la sobresaturación de la forma siguiente: calentando la disolución a temperatura elevada y disolviendo todo el sólido que sea posible, así, la disolución se sobresatura al enfriar de esta forma aparecerá el compuesto cristalizado más rápidamente.

Por sublimación: Algunas sustancias sólidas tienen la propiedad de alcanzar directamente, por calentamiento, el estado gaseoso sin paso previo por el estado líquido. Al enfriar los vapores se condensan en forma de cristales muy puros, ya que las impurezas, al no sublimar, quedan perfectamente separadas de la sustancia pura.

## **MATERIALES.**

- ❖ 2 vasos de precipitado de 250 ml.
- ❖ Agitador de vidrio.
- ❖ Mechero.
- ❖ Tripie.
- ❖ Tela de asbesto.
- ❖ Embudo.
- ❖ Papel filtro.
- ❖ Cristalizador.
- ❖ Alambre.
- ❖ Ligas.
- ❖ Clic.

## **REACTIVOS.**

- Sulfato de cobre (II).
- Agua destilada.

## **SECCIÓN DE RECOMENDACIÓN.**

Antes de iniciar la práctica se les recomienda a los alumnos tener cuidado con la sal con la cual se va a trabajar, esta sal provoca algunas irritaciones en los ojos si existe el contacto de la misma con esta superficie, no se puede ingerir debido a que provoca vomito instantáneo, si se puede manipular y es recomendable lavarse las manos con suficiente agua después de utilizarlo.



**PROCEDIMIENTO.**

1. Monte con un soporte metálico un sistema de filtración rápida.
2. Pesar el filtro que utilizaremos para la filtración y registrar este dato.
3. Preparar una solución saturada de sulfato de cobre llevada a 95 grados centígrados. Para esto nos apoyaremos de la siguiente tabla de resultados.

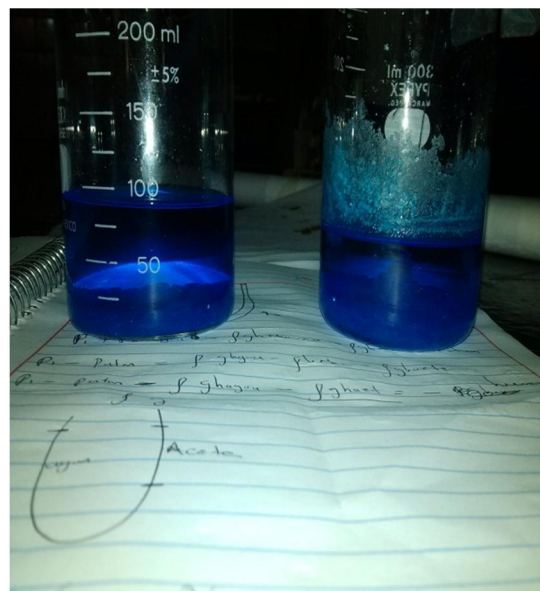
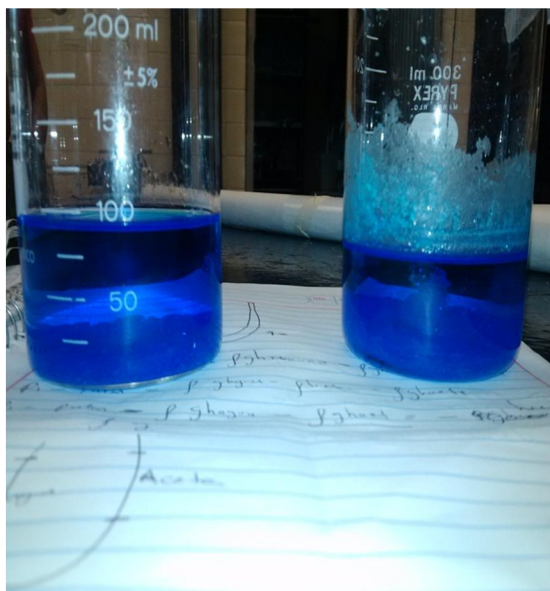
*Tabla de solubilidad del  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a diferentes temperaturas*

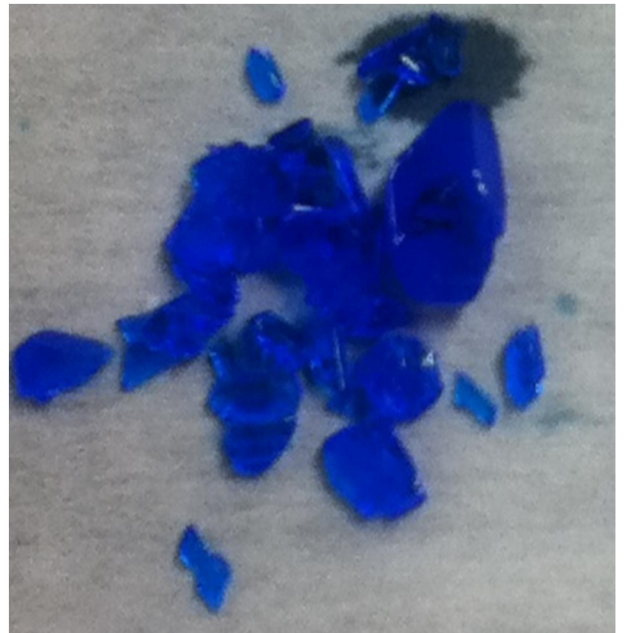
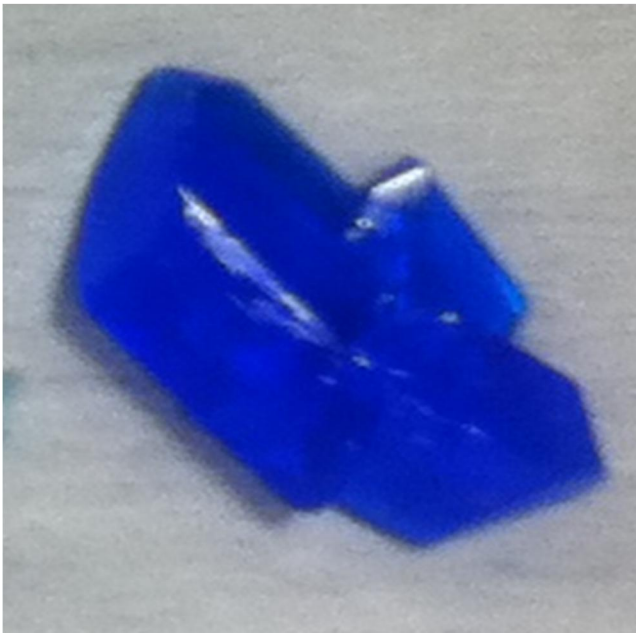
T (°C)	S (g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ /100 g de solución)
0	18,2
10	21,41
20	24,46
30	28,11
40	30,83
50	34,25
60	38,48
80	46,25
100	54,12

4. Calentar el agua a 95 °C aproximadamente la cual utilizaremos para hacer la solución. La sal se dejara caer lentamente y se agitara hasta que la solución ya no acepte más sal.
5. Mojar el papel filtro con agua tibia para hacer más fácil la filtración y este se pegue a las paredes del embudo.
6. Filtrar la solución en caliente.
7. Pesar el papel filtro con posibles impurezas insolubles.
8. separar el resultado de la filtración en volúmenes iguales.

9. Engarzar en un pedazo de alambre un granito de sal (semilla) en uno de los recipientes. Este tiene que estar sumergido en la solución pero no debe tocar el fondo del recipiente, tampoco las paredes.
10. Tapar los dos recipientes completamente para evitar la evaporación.
11. Dejar reposar los 2 recipientes durante un tiempo (5 a 8 días).
12. Decantar la solución, transcurrido el tiempo recomendado (medir y registrar la temperatura ambiente de la mezcla).
13. Recoger los cristales formados en cada uno de los recipientes y pesarlos en un vidrio de reloj cuya masa fue determinada previamente.
14. Realizar un balance de materia y determinar el rendimiento de los cristales obtenidos.
15. Anotar las formas de las características de los cristales en las dos condiciones trabajadas.
16. Analizar resultados obtenidos y sacar sus conclusiones.

SECCION ILUSTRATIVA.





**TABLA DE RESULTADOS.**

<b>REGISTRO DE RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
	SOLUCION INICIAL PREPARADA	TORTA DE FILTRADO	SOLUCIÓN FILTRADA	SEPARACIÓN 50% CON SEMILLA	SEPARACIÓN 50% SIN SEMILLA
N MOLES					
XW: FRACCION MOLAR DE AGUA					
XC: FRACCION MOLAR DE CRISTALES					
	MOLES CRISTALES OBTENIDOS				

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CRISTALES EN LAS 2 CONDICIONES PROPUESTAS.	
RECIPIENTE CON SEMILLA	RECIPIENTE SIN SEMILLA

### **CUESTIONARIO.**

- 1) ¿Cuál es tu concepto de: solución diluida, saturada y sobresaturada?
- 2) ¿Qué diferencia notas entre una disolución cristalizada de forma natural o si se le añade núcleo o semilla? explique su respuesta.
- 3) ¿Cuál es el efecto si a la solución a cristalizar se le coloca núcleos o semillas?
- 4) ¿Para qué nos sirve la curva de solubilidad de algunas sales?
- 5) ¿Qué importancia tiene filtrar la solución a cristalizar?
- 6) ¿Qué tipos de nucleación existe?
- 7) ¿El tiempo para cristalizar es un factor importante en el crecimiento de los cristales?
- 8) ¿Qué papel juega la temperatura en la solubilidad de algunas sales?

## **CAPÍTULO 4 HUMIDIFICACION Y SECADO**

### **SECADO INTERMITENTE DE PAPAS (*SOLANUM TUBEROSUM*)**

#### **PROPÓSITOS.**

- Determinar la curva de secado a temperatura constante de *solanum tuberosum*.

#### **MARCO TEORICO.**

El secado de sólidos es una operación de transferencia simultánea de materia y energía de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia de presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

Suele ser la operación final de un proceso de fabricación y se hace antes del envasado; con ello se reducen los costos de transporte, se evita la humedad que pueda causar la corrosión y se obtienen productos más manejables.

Dos subprocesos ocurren cuando un sólido es sometido a un secado térmico:

- Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de la superficie. La eliminación del agua en forma de vapor de la superficie del material, depende de las condiciones externas tales como. Temperatura, humedad, flujo de aire, presión, área de la superficie expuesta y tipo de secador.

- Transferencia de la humedad interna del sólido a la superficie de éste y su subsiguiente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física, temperatura y contenido de humedad.

Cualquiera de los dos subprocesos descritos puede ser el factor limitante que gobierne la velocidad de secado, a pesar de que ambos ocurren simultáneamente.

### **EQUIPOS DE SECADO.**

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que está secando.

El equipo de secado, puede ser tan sencillo como un soplador con una resistencia adaptada, o tan complejo como un secador rotatorio.



## **SECADORES DE BANDEJAS.**

El secador de bandejas, o secador de anaqueles, consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar los materiales a secar, en el cual se hace correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. En general, el aire es calentado por vapor, pero no saturado, de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente.

## **MATERIALES.**

- ❖ Papel aluminio.
- ❖ 4 papas frescas.
- ❖ 1 pelador.
- ❖ 1 cuchillo.
- ❖ 1 bandeja de aluminio.
- ❖ 1 regla.
- ❖ Balanza analítica.
- ❖ Termómetro de bulbo seco y húmedo.
- ❖ Cronómetro.
- ❖ Cerillos.
- ❖ Cables de conexión de balanza.

## **REACTIVOS.**

- En esta práctica no se utilizaron.

## **SECCIÓN DE RECOMENDACIONES.**

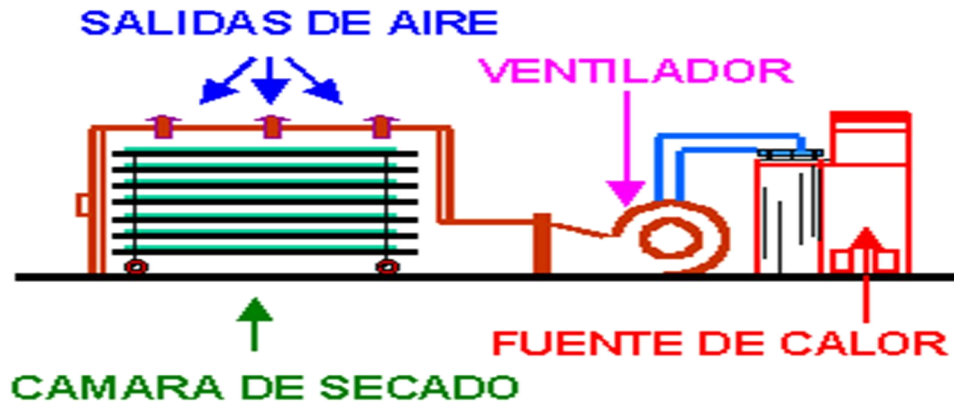
En esta práctica se recomienda tener mucho cuidado y evitar errores de medición, el secado es un proceso en el cual lleva mucho tiempo por ello se pide atención durante su realización. El secado se realiza en un área distinta al del laboratorio, en la cual tendremos que trasladar la balanza analítica y esto implica calibrarla de nuevo. Debemos colocar la balanza lo más cerca del secador para hacer más fácil la medición. Se recomienda también tardar lo menos posible en el pesado de la muestra, además de esto tendremos que cerrar el área en donde se realiza el proceso para evitar el flujo del aire.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

1. Abrir la llave del gas que esta adjunto al equipo y encender los quemadores que se encuentran en la parte baja del secador de bandejas hasta que alcance una temperatura aproximada de 80°C (Esto alrededor de 30 minutos).
2. Seleccionar la papa con base al color y textura que corresponden al vegetal maduro y macizo (todos los vegetales de la misma variedad).
3. Pelar y posteriormente cortar las papas en formas homogéneas.
4. Colocar en la bandeja papel aluminio hasta que esta esté cubierta, pesar la bandeja y anotar esta información.

5. Hacer cuadritos de 4x4 cm y de 4 mm de espesor y colocarlo en la bandeja hasta llenarla completamente toda el área de contacto y pesar nuevamente la bandeja y registrar este dato.
6. Verificar que el secador este a la temperatura mencionada anteriormente si es así encender el equipo para que entre el aire y esperar unos minutos para que se estabilice .
7. introducir la charola en el secador de bandejas y retirar la bandeja en un intervalo de 15 minutos, pesarla y anotar resultados .Repetir esta actividad 9 a 14 veces en intervalos de 15 minutos.
8. Una vez terminada las sesiones apagar el equipo y cerrar la llave del gas.
9. Graficar una curva de secado de tiempo vs (gramos agua/ gramos solido seco)

**SECCIÓN ILUSTRATIVA.**





- Gramos solido seco + agua = (gr charola + aluminio + solido seco + agua) - (gr charola + aluminio).
- Gramos de agua = (gr solido seco + agua) tiempo 1 - (gr solido seco + agua) tiempo 2.
- Gramos de agua inicial se refiere a la cantidad de agua perdida en todo el proceso considerando que la materia solida no se evapora sino solamente el agua durante todo el proceso hacemos una sumatoria y esa cantidad será la cantidad de agua inicial en proceso que se fue perdiendo paulatinamente durante el proceso a eso llamaremos gramos iniciales en el tiempo 0.

Gramos de agua inicial = gramos iniciales tiempo 0 - gramos en el tiempo 1.

- Conociendo la cantidad de agua inicial en el proceso únicamente por diferencia sabremos la cantidad de solido seco que hubo durante todo el proceso.

Gramos solido seco = (gramos solido seco + agua) tiempo 0 - (gramos de agua inicial) tiempo 0.

- Gramos de agua inicial / gramos solido seco = (gramos agua inicial) tiempo 0 / (gramos de solido seco) tiempo 0.

### **CUESTINARIO.**

- 1) ¿Qué tipos de secadores existen?
- 2) ¿Mencione algunos métodos de secado de alimentos?
- 3) ¿En qué consiste el proceso de secado?
- 4) ¿Qué factores interviene en el proceso de secado?
- 5) Con base a su curva de secado ¿Qué pasa con la curva si hacemos los intervalos de medición más pequeños?
- 6) ¿En este proceso utilizamos un secado de convección, radiación o conducción?

## **TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO (HUMIDIFICACIÓN)**

### **PROPÓSITOS**

- Diseñar y construir una torre de enfriamiento para determinar el coeficiente global de transferencia de masa.
- Comprender y aprender el funcionamiento de una torre de enfriamiento y determinar su eficiencia.

### **MARCO TEÓRICO**

Posiblemente la aplicación más notable de un aparato que opera con contacto directo entre un gas y un líquido, es la torre de enfriamiento. Las torres de enfriamiento se emplean para poner en contacto agua caliente que proviene de los sistemas de enfriamiento de procesos con aire para el propósito de enfriar el agua y poder usarla de nuevo en el proceso. Una torre de enfriamiento reduce ordinariamente los requerimientos de enfriamiento de agua por cerca de 98%, aun cuando hay alguna contaminación natural causada por la saturación del aire con el vapor de agua (Kern, 1999).

El aire y el agua son sustancias de bajo costo, y cuando se deben manejar volúmenes grandes, como en muchas operaciones de enfriamiento de agua, es esencial el equipo de costo inicial bajo y de costo de operación también reducido. En algunos lugares, la armazón y el empaque interno son de abeto de Douglas, o bien de pino, material que es muy durable cuando se tiene un contacto continuo con agua. Las torres de enfriamiento se utilizan

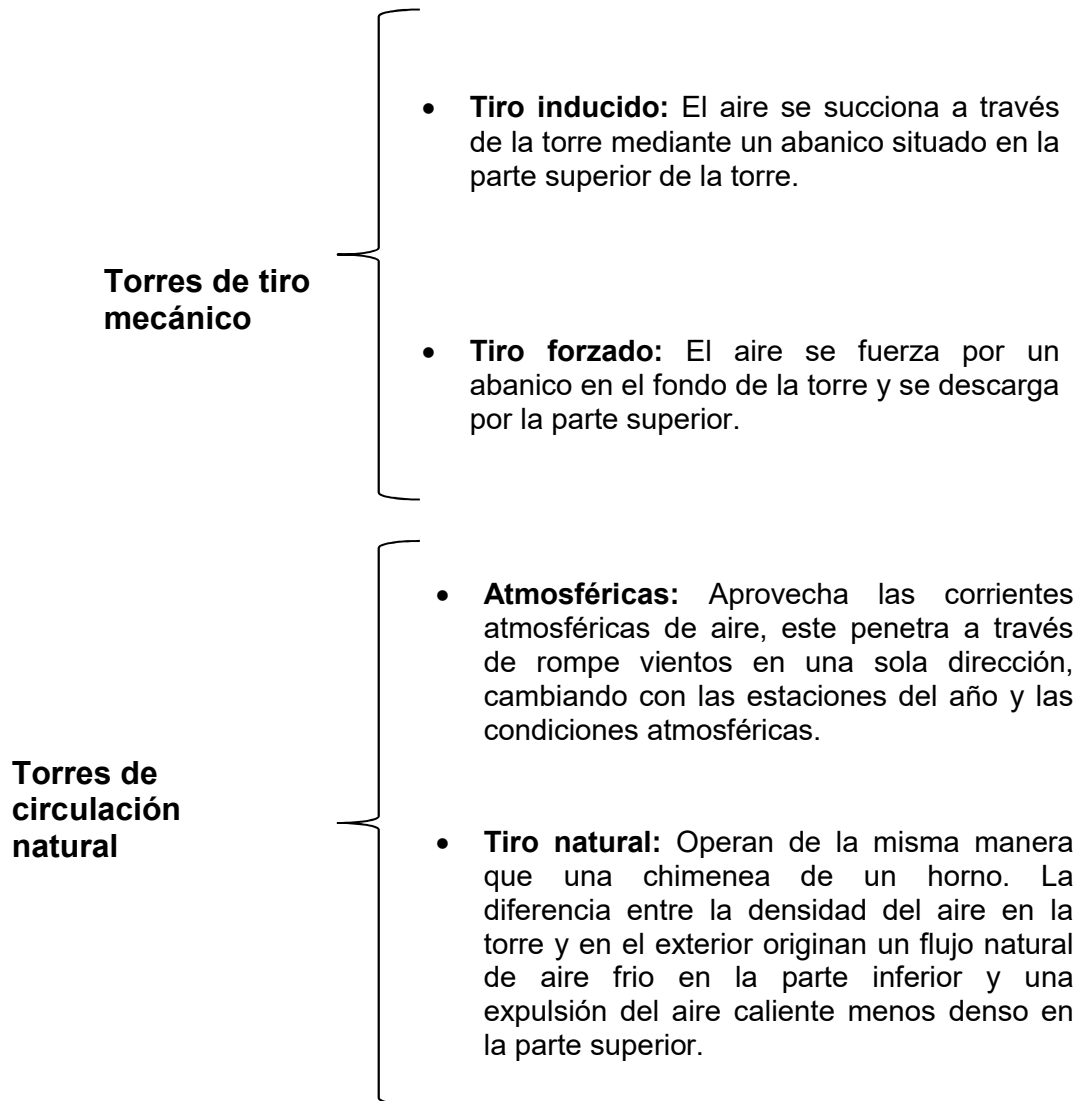


con mayor frecuencia, en especial para grandes cargas de enfriamiento (Foust y col. 2006).

Los procesos de humidificación (enfriamiento) forman parte muy importante en las plantas industriales. Son parte de diferentes aplicaciones que van desde el enfriamiento de agua en pozos petrolíferos, hasta la aplicación en centrales nucleares y termoeléctricas. En la mayoría de los procesos donde se requiera suministrar o retirar cierta cantidad de calor, contacto de la corriente de líquido con gas seco y/o húmedo plantea una solución al proceso. En la humidificación se transfiere calor y líquido hacia el gas. Puede llevarse a cabo para controlar la humedad presente dentro de un espacio, o más frecuentemente, para enfriar y recuperar el agua de los sistemas de enfriamiento.

## CLASIFICACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se clasifican de acuerdo con los medios por los que se suministra el aire. Todas emplean hileras horizontales de empaques para suministrar gran superficie de contacto entre el aire y agua.



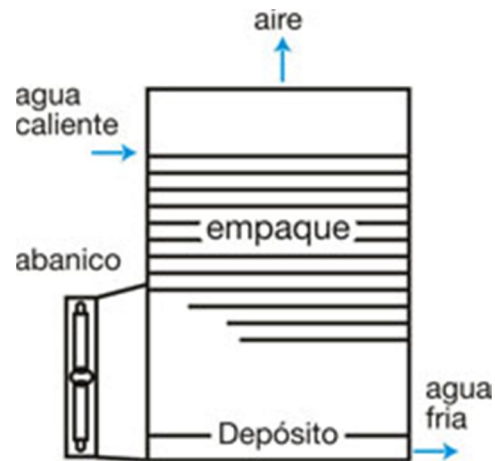


Figura.1. Torre de tiro forzado

(Kern, 1999).

Las torres de tiro mecánico pueden ser del tipo de tiro forzado (figura.1.), en donde el aire se empuja en la torre mediante un ventilador en el fondo. Estas torres están sujetas particularmente a la recirculación del aire caliente y húmedo que es descargado, dentro de la toma del ventilador, debido a la baja velocidad de descarga y que materialmente reduce la efectividad de la torre. En el tipo de tiro forzado (figura 1) el aire entra a través de una abertura circular mediante un abanico, y debido a esto se debe suministrar una altura de torre y su volumen correspondiente de relativa inefectividad, que se usa como entrada de aire (Treybal, 1993).

### **COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA**

Los fenómenos de transporte tienen lugar en aquellos procesos, conocidos como procesos de transferencia, en los que se establece el movimiento de una propiedad ( masa, momentum o energía) en una o varias direcciones bajo la acción de una fuerza impulsora. Al movimiento de una propiedad se le

llama flujo. Los procesos de transferencia de masa son importantes ya que la mayoría de los procesos químicos requieren de la purificación inicial de las materias primas o de la separación final de productos y subproductos. Para esto en general, se utilizan las operaciones de transferencia de masa.

La transferencia de masa cambia la composición de soluciones y mezclas mediante métodos que no implican necesariamente reacciones Químicas y se caracteriza por transferir una sustancia a través de otra u otras a escala molecular. Cuando se ponen en contacto dos fases que tienen diferente composición, la sustancia que se difunde abandona un lugar de una región de alta concentración y pasa a un lugar de baja concentración.

Para la obtención de la altura de la zona empaquetada ( $z$ ) se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\frac{k_y a z}{L'} = \int_{T_{L1}}^{T_{L2}} \frac{dt_L}{H'^* - H'} \quad (1)$$

En esta ecuación, el segundo miembro contiene las condiciones termodinámicas para el proceso de enfriamiento en función de las propiedades de entrada y salida del aire. El lado izquierdo es independiente de las condiciones termodinámicas de la torre y como se aprecia el único factor que no se puede obtener por medio de los datos de las condiciones de diseño, es el grupo  $k_y a$ .

Para obtener el valor del grupo  $k_y a$  es necesario conocer:

- Temperatura del agua a la entrada de la torre
- Temperatura del agua a la salida de la torre
- Flujo másico de agua
- Temperatura de bulbo seco del aire a la entrada
- Temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida
- Temperatura del bulbo húmedo del aire a la entrada
- Área transversal de la torre
- Altura de la zona empaquetada

Con estos datos se puede obtener, indirectamente el diagrama de operación del equipo experimental y a partir de este, el diagrama de integración-gráfica para obtener el valor de la integral de la ecuación (1). Finalmente, se reemplazan los valores conocidos en dicha ecuación y se obtiene el valor de  $k_y a$

### **EFICIENCIA DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO**

La eficiencia de enfriamiento de estas unidades, está dada en general por la siguiente relación:

$$\epsilon = \frac{\text{enfriamiento real}}{\text{enfriamiento ideal}} \times 100$$

El enfriamiento real, está dado por el rango de enfriamiento y el enfriamiento ideal está dado por la suma del rango de enfriamiento y la aproximación.

El rango de enfriamiento es  $= T_{L2} - T_{L1}$  (°C) y la aproximación es  $= T_{L1} - T_{w1}$  (°C) que reemplazados en la expresión propuesta quedara:

$$\epsilon = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{L1} + T_{L1} - T_{w1}} \times 100 = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{w1}} \times 100 \dots (2)$$

Esta última expresión pone de manifiesto que el rango de enfriamiento y la aproximación definen los límites del rendimiento de una torre dada, es decir que si el agua se enfriara en una instalación ideal, la mínima temperatura que podrá alcanzar sería la temperatura del bulbo húmedo, es decir  $T_{L1} = T_{w1}$  con lo que se obtendría una eficiencia máxima.

## **MATERIALES**

Para esta práctica es necesario disponer de una instalación de una torre de enfriamiento que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Química.

- ❖ Probeta graduada de 250 ml.
- ❖ Cronómetro.
- ❖ Flexómetro.
- ❖ vernier.
- ❖ Psicrómetro.
- ❖ Anemómetro.
- ❖ Termómetro.
- ❖ Resistencia eléctrica.
- ❖ Mangueras.

## **REACTIVOS Y SERVICIOS AUXILIARES.**

- Agua.
- Aire.

## **SECCIÓN DE RECOMENDACIÓN.**

Para el desarrollo de esta práctica tienen que coordinarse de manera adecuada, ya que hay que medir diversas variables en la torre. Para que esta práctica se desarrolle de una manera adecuada, el agua debe ser calentado a la temperatura de 40-45 °C ; al tomar medidas de temperaturas en el tanque con el termómetro tener cuidado con el agua, para evitar cualquier tipo de accidentes.

Es importante que para hacer una buena práctica procurar formar un sello hidráulico en el fondo de la torre, para evitar que el aire se dirija hacia la parte de abajo.

Realizar la práctica rápidamente para evitar que se caliente el aire en el compresor, ya que tendríamos datos erróneos, y por consecuencia resultados malos.

## **PROCEDIMIENTO**

Haremos el experimento con un solo caudal de agua y un mismo caudal de aire.

1. Verificar que el aspersor y el tanque de almacenamiento de agua se encuentren limpias para evitar que se tape la boquilla.

2. Verificar que la llave de paso esté completamente cerrado y llenamos el tanque con agua al 90-95 %; con ayuda de una resistencia, dejamos que se caliente alrededor de 40-45 grados centígrados (lo comprobamos con ayuda de un termómetro).
3. Conectar la manguera a la descarga del compresor y arrancarlo.
4. Con ayuda del anemómetro medimos la velocidad del aire a la entrada, con el psicrómetro medimos la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo a la entrada.
5. Abrir la llave (una vuelta como se indica en la figura 2).
6. Conectar la manguera de descarga de aire a la torre.
7. En la parte inferior de la torre, dejar que se inunde, para que el aire fluya de manera ascendente.
8. Dejar que la torre trabaje de manera continua y de inmediato medir las temperaturas de salida.
9. Medir el flujo de agua a la salida con ayuda de una probeta de 250ml, se tomarán 3 mediciones, una al inicio, intermedio y a la mitad como se indica en la figura 3.
10. Si no se logran tomar todas las mediciones, volver al paso No. 2 y realizar todo el procedimiento.
11. A lo largo de la experimentación, hemos de vigilar que la temperatura del agua no baje de los 40 grados centígrados.
12. Una vez finalizado la práctica, cerrar la llave de paso.



SECCIÓN ILUSTRATIVA

Figura.2.



Figura.3.



Figura.4.



Salida de agua

**TABLAS DE RESULTADOS**

<b>TABLA. 1. DIMENSIONES DE LA TORRE</b>		
<b>Z (m)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Di (m)</b>

<b>TABLA.2. DATOS DE LA CORRIDA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>						
<b>T<sub>L1</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>L2</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>w1</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>w2</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>G1</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>G2</sub>(°C)</b>	<b>L(L/h)</b>

<b>TABLA.3. CALCULOS OBTENIDOS CON LOS DATOS DE LAS TABLAS 1 Y 2</b>					
<b>Y<sub>2</sub> (kg/kg)</b>	<b>Y<sub>1</sub> (kg/kg)</b>	<b>H<sub>2</sub> (kJ/kg)</b>	<b>H<sub>1</sub> (kJ/kg)</b>	<b>K<sub>ya</sub> (kg/hr.m<sup>3</sup>)</b>	<b>ε(%)</b>

## CAPITULO 5 DESTILACION

### DESTILACIÓN DIFERENCIAL (ECUACION RAYLEIGH).

#### PROPÓSITOS.

- Realizar un balance de materia y energía en el proceso.
- Verificar la validez de la ecuación de RAYLEIGH.

#### MARCO TEORICO.

En este tipo de destilación también llamado diferencial abierta por lote. Este método de destilación es el que se efectúa normalmente en los laboratorios cuando se trabaja sin reflujo, llevando continuamente los vapores producidos hasta un condensador (OCÓN GARCIA & TOJO BARRIENTOS, 1977).

Primero se introduce líquido en un recipiente de calentamiento. La carga líquida se hierve lentamente y los vapores se extraen con la misma rapidez con que se forman, enviándolos a un condensador donde se recolecta el vapor condensado (destilado). La primera porción de vapor condensado es más rica en el componente más volátil A. A medida que se procede con la vaporización, el producto vaporizado es más pobre en A (OCÓN GARCIA & TOJO BARRIENTOS, 1977).

En la figura 11.3-2 se muestra un destilador simple. La operación se inicia introduciendo en el destilador una carga de  $L_1$  moles de componentes **A** y **B** con una composición  $x_1$  fracción mol de **A**.

En un momento dado, habrá  $L$  moles de líquido remanentes en el destilador con una composición  $x$  y la composición del vapor que se desprende en equilibrio es  $y$ . Se ha vaporizado entonces una cantidad diferencial  $dl$ . La composición del recipiente varía con el tiempo. Para determinar la ecuación de este proceso, se supone que se vaporiza una cantidad pequeña  $dl$ . La composición del líquido varía de  $x$  a  $x - dx$  y la cantidad de líquido de  $L$  a  $L - dl$ . Se hace un balance de materia con respecto a **A**, donde la cantidad original = cantidad remanente en el líquido + cantidad de vapor.

$$xL = (x - dx)(L - dl) + ydl$$

Efectuando la multiplicación del lado derecho,

$$xL = xL - xdL - Ldx + dx dL + yd$$

Despreciando el término  $dx dL$  y reordenando

$$\frac{dL}{L} = \frac{dx}{y - x}$$

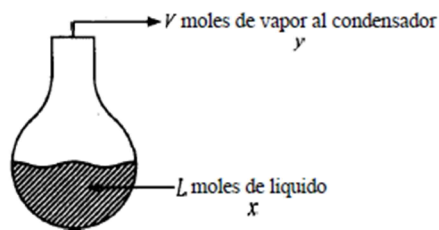


FIGURA 11.3-2. Destilación simple por lotes o diferencial.

Integrando

$$\int_{L_2}^{L_1} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_1}{L_2} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{y-x} \quad (11.3-10)$$

Donde  $L_1$  son los moles originales cargados,  $L_2$  son los moles remanentes en el destilador,  $x_1$  es la composición original y  $x_2$  es la composición final del líquido contenido en la caldera.

A la ecuación (11.3-10) se le llama ECUACIÓN DE RAYLEIGH. La composición promedio del total de material destilado, y promedio se obtiene por medio de un balance de materia:

$$L_1 x_1 = L_2 x_2 + (L_1 - L_2) y_{prom}$$

Cuando se conoce una relación matemática entre las concentraciones de equilibrio, la integración puede hacerse analíticamente como indicamos en los casos siguientes:

1. Si en el intervalo de operación la volatilidad relativa permanece constante, nos lleva a la siguiente expresión

$$\ln \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{\alpha - 1} \ln \frac{x_1}{x_2} + \frac{\alpha}{\alpha - 1} \ln \frac{1 - x_2}{1 - x_1}$$

Y de aquí

$$\frac{L_1}{L_2} = \sqrt[\alpha]{\frac{x_1 (1 - x_2)}{x_2 (1 - x_1)}}$$

2. Si en el intervalo de operación la relación analítica entre las composiciones de equilibrio obedece a la ley de Henry,  $y = ax$  , , la ecuación (11.3-10) se transforma en

$$\ln \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{a-1} \ln \frac{x_1}{x_2}$$

C) Si en el intervalo de operación la relación entre las composiciones de equilibrio viene dada por la ecuación de una recta de la forma :  $y = ax + b$  , la ecuación (11.3-10) se transforma en

$$\ln \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{a-1} \ln \frac{(a-1)x_1 + b}{(a-1)x_2 + b}$$

En el caso en que la relación entre  $x$  y  $y$  se encuentra tabulada, el valor de la integral indicada en la ecuación (11.3-10) se puede llevar a cabo por medios gráficos, representando la función  $\frac{1}{y-x}$  en función de  $x$  , y determinando el área bajo la curva entre  $x_1$  y  $x_2$  . La curva de equilibrio proporciona la relación entre  $y$  y  $x$  .

## **MATERIALES.**

- ❖ 2 soportes universales.
- ❖ 2 pinzas universales.
- ❖ 1 matraz de destilación de 500 ml.
- ❖ 1 probeta graduada de 500 ml.
- ❖ 1 probeta graduada de 250 ml.
- ❖ 2 probeta graduada de 100 ml.
- ❖ Tela con asbesto.
- ❖ 2 tapones de hule mono horadado.
- ❖ Papel aluminio.
- ❖ 1 cristalizador o baño María.
- ❖ 1 alcoholímetro de °GL.
- ❖ 2 vasos de precipitados de 500 ml.
- ❖ 2 matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- ❖ 1 parrilla eléctrica.
- ❖ Termómetros.
- ❖ Refrigerante recto.
- ❖ Cuerpos de ebullición.
- ❖ Mangueras de hule.

## **REACTIVOS.**

- Agua.
- Aceite de cocina.
- Etanol °80 GL.

## **SECCION DE RECOMENDACIONES.**

Se aconseja asegurar bien el matraz y si es posible pegar en la boca del mismo silicón en la superficie del tapón para evitar la evaporación del alcohol y no tengamos perdidas. Por otra parte cabe mencionar que esta práctica se puede hacer con un baño maría (manta calefactora) si el proceso es muy acelerado, esta sesión se realizó con mechero tal como se muestra en la sesión de imágenes.

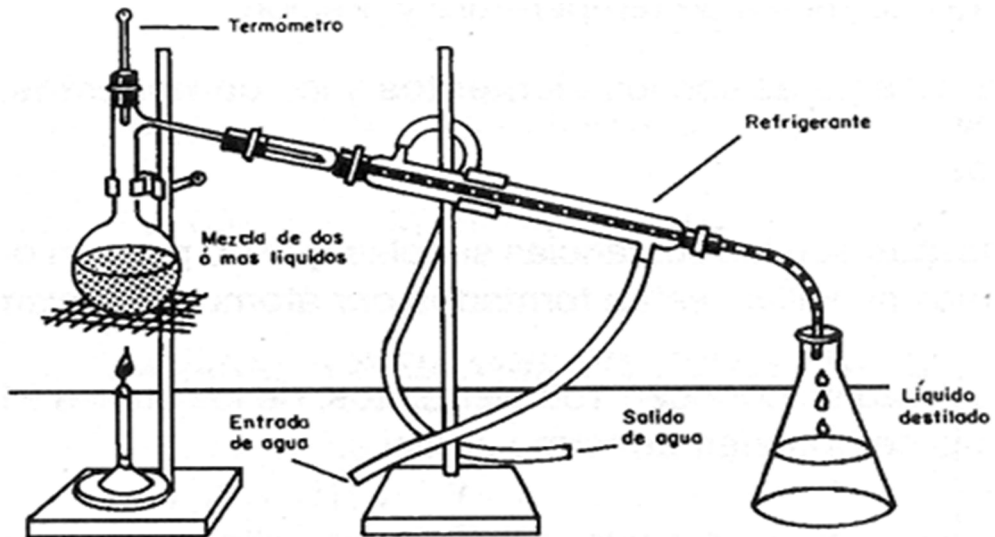
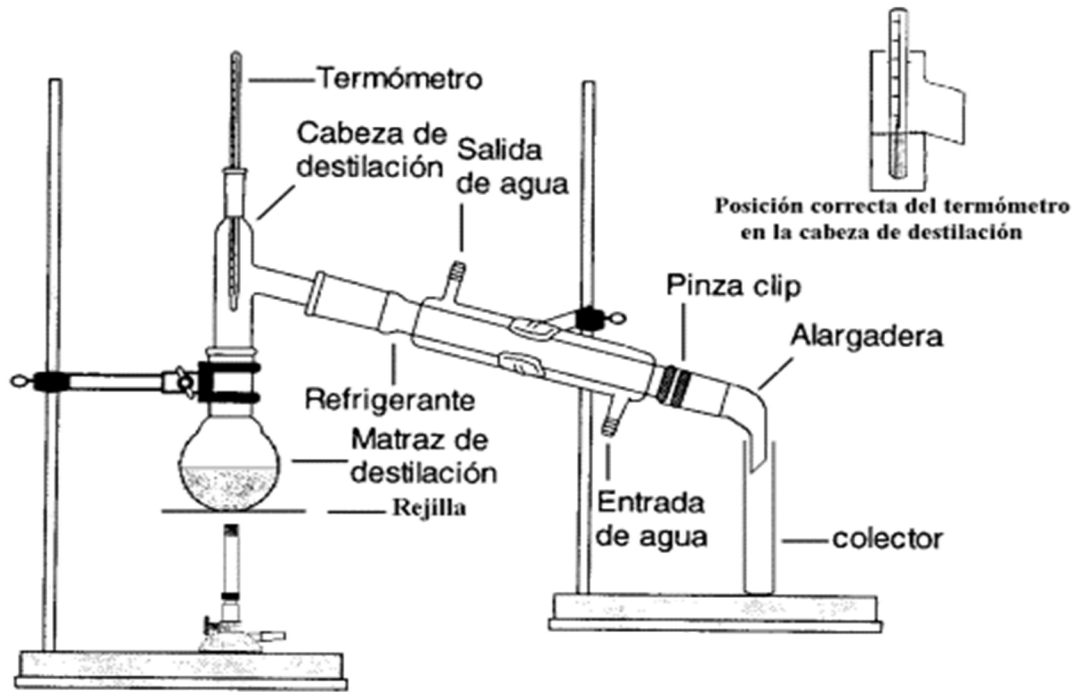
## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

- 1.- Lavar material y secar.
- 2.- Instalar el equipo para destilación simple.
- 3.- Preparar una disolución de etanol-agua con una concentración de °50 G.L. y viértala en el matraz de destilación colocando cuerpos de ebullición ( verificar que no haya fugas).
- 4.- Calentar en baño de aceite y registrar la temperatura cuando se destile la primera gota y continúe con la destilación hasta que recupere en el primer corte 100 ml de producto destilado , en una matraz Erlenmeyer .  
Registre la temperatura final del primer corte destilado.



5. Recuperar el segundo corte , en otro matraz Erlenmeyer 100 ml del producto destilado y registre la temperatura de inicial y la final.
- 6.- Suspender la destilación , enfriar y medir por separado los volúmenes y la concentración de ambos cortes de destilado y la del producto de fondo.
- 7.- Mezclar ambos cortes destilado y determinar volumen total de la mezcla y la concentración promedio en °G.L.
- 8.- Construir una tabla de resultados y aplicar los modelos de destilación de la ecuación de RAYLEIGH para determinar su validez.

**SECCIÓN ILUSTRATIVA.**



**TABLA DE RESULTADOS.**

TABLA DE RESULTADOS PARA EL 1 CORTE											
	Volumen ml	_____ G.L ml.	M kg	N mol	Fracción		Calor suministrado al sistema KJ/S	Calor absorbido por el agua fría KJ/S			
L1	_____ ml	_____ alcohol									
		_____ agua									
		_____ G.L	M kg	N mol	Fracción						
V	_____ ml	_____ alcohol									
		_____ agua									
		_____ G.L	M kg	N mol	Fracción				EC. RAYLEIGH.		
L2	_____ ml	_____ alcohol									
		_____ agua									

TABLA DE RESULTADOS PARA EL 2 CORTE										
	Volumen ml	_____ G.L ml.	M kg	N mol	Fracción		Calor suministrado al sistema KJ/S	Calor absorbido por el agua fría KJ/S		
L1	_____ ml	_____ alcohol								
		_____ agua								
		_____ G.L	M kg	N mol	Fracción					
V	_____ ml	_____ alcohol								
		_____ agua								
		_____ G.L	M kg	N mol	Fracción				EC. RAYLEIGH.	
L2	_____ ml	_____ alcohol								
		_____ agua								

### **CUESTIONARIO.**

1. Tomando en cuenta el número de componentes .¿Qué tipo de mezcla se utilizó en la práctica?
2. ¿Qué otros nombres recibe la destilación diferencial?
3. Explique brevemente el proceso de destilación diferencial y en cuantas etapas se realizó ?
4. ¿Cómo varía la temperatura del sistema al transcurrir el proceso de destilación?
5. ¿Cómo cambia la concentración en cada uno de los cortes destilados?
6. Analice los resultados y explique si se cumple o no con la ecuación de RAYLEIGH.

## **DESTILACIÓN FRACCIONADA (COLUMNA DE VIGREUX).**

### **PROPÓSITOS.**

- Identificar las partes de una destilación fraccionada.
- Experimentar como se lleva a cabo el proceso de destilación fraccionaria.
- Realizar un balance de materia y energía en el proceso.

### **MARCO TEORICO.**

La destilación fraccionada no es nada más que una técnica para realizar una serie completa de pequeñas separaciones (destilación simple), en una operación sencilla y continua. Se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo. La columna fraccionadora que se usa con más frecuencia es la llamada torre de burbujeo, en la que las placas están dispuestas horizontalmente, separadas unos centímetros, y los vapores ascendentes suben por unas cápsulas de burbujeo a cada placa, donde burbujan a través del líquido. Las placas están escalonadas de forma que el líquido fluye de izquierda a derecha en una placa, luego cae a la placa de abajo y allí fluye de derecha a izquierda. La interacción entre el líquido y el vapor puede ser incompleta debido a que puede producirse espuma y arrastre de forma que parte del líquido sea transportado por el vapor a la placa superior. En este caso, pueden ser necesarias cinco placas para hacer el trabajo de cuatro placas

teóricas, que realizan cuatro destilaciones. Un equivalente barato de la torre de burbujeo es la llamada columna apilada, en la que el líquido fluye hacia abajo sobre una pila de anillos de barro o trocitos de tuberías de vidrio.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que una gran fracción (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor, porque el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra.

La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento. Una columna de destilación fraccionada proporciona una gran superficie para el intercambio de calor, en las condiciones de equilibrio, que se establece entre el vapor que asciende y el líquido (condensado) que desciende, por la utilización de diferentes "platos" (placas). Esto tiene como consecuencia una serie completa de evaporaciones y condensaciones parciales en toda la longitud de la columna de fraccionamiento (*OCÓN GARCÍA & TOJO BARRIENTOS, 1977*). Cuando el condensado en algún punto de la columna toma calor del vapor, parte se evapora de nuevo y el vapor formando el más rico en el componente más volátil (el de menor ebullición). Al mismo tiempo, cuando el vapor cede calor al condensado, parte del mismo se condensa, siendo este condensado más rico en el componente menos volátil (el de mayor punto de ebullición), bajo este panorama podemos decir que partiendo de la base de la columna, a medida que aumenta la altura aumenta el enriquecimiento del componente más volátil e

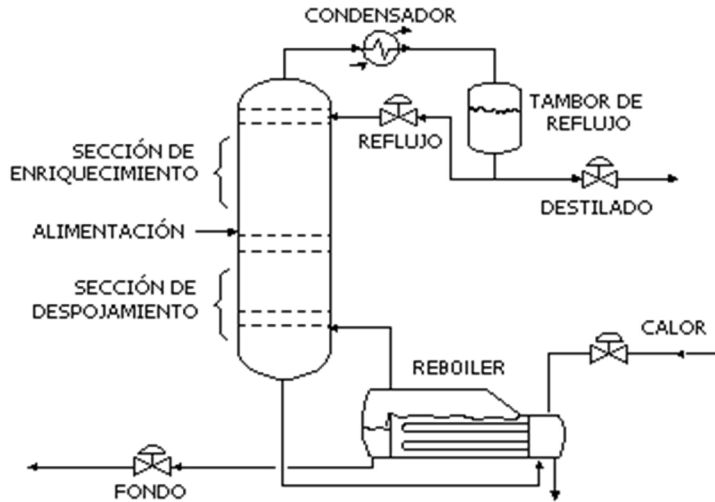
inversamente con el componente menos volátil. También se establece a lo largo de la columna un gradiente de temperaturas que varían desde el punto de ebullición del componente **X** hasta el punto de ebullición del componente **Y**. Existe una influencia adicional al equilibrio termodinámico líquido-vapor, y este es el intercambio de energía (perdida) que se verifica a lo largo de la columna de fraccionamiento.

Las columnas de destilación están compuestas de varias partes, cada una de las cuales es usada para transferir calor o mejorar la transferencia de masa. Una columna típica tiene varios componentes principales:

- ➔ Un recipiente vertical donde tiene lugar la separación de los componentes líquidos
- ➔ Interiores de columna tales como platos o relleno que se utilizan para incrementar el contacto entre líquido y vapor
- ➔ Un hervidor o boiler para vaporizar el producto de fondo
- ➔ Un condensador para enfriar y condensar el vapor que sale por la parte superior de la columna
- ➔ Un tambor de reflujo para recibir el vapor condensado del tope de la columna para que el líquido (reflujo) pueda reciclarse a la columna

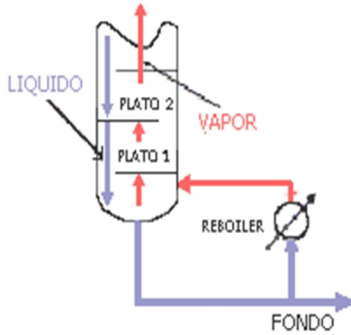


El recipiente vertical aloja los interiores de la columna y junto con el condensador y el hervidor, constituyen una columna de destilación. El esquema siguiente representa una unidad de destilación típica con una sola alimentación y dos corrientes de producto:



La mezcla líquida que se va a procesar se conoce como alimentación y se introduce generalmente en un punto situado en la parte media de la columna en un plato que se conoce como plato de alimentación. El plato de alimentación divide a la columna en una sección superior (de enriquecimiento o rectificación) y una inferior (despojamiento). La alimentación circula hacia la parte inferior de la columna donde es dirigida al rehervidor (o boiler).

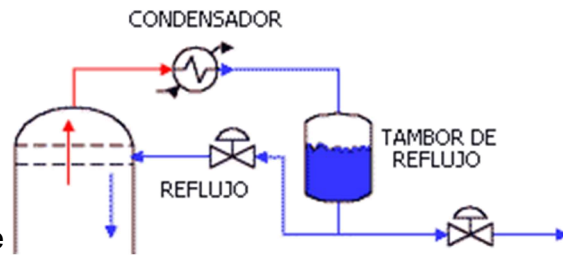
Se suministra calor al hervidor para generar vapor. La fuente de calor puede ser cualquier fluido adecuado, aunque en la mayoría de las plantas Químicas se utiliza vapor de agua. En las refinerías, las fuentes de calor pueden ser corrientes de salida de otras columnas. El vapor generado en el rehervidor se introduce nuevamente en la columna en la parte inferior. El líquido que se extrae del



El vapor que sale del reboilidor se llama producto de fondo o simplemente

producto de fondo.

El vapor se



mueve hacia la parte superior de la columna, y al salir por la parte superior, es enfriado por un condensador. El líquido condensado es retenido en un recipiente denominado tambor de reflujo. Parte de este líquido es reciclado a la parte superior de la columna y se llama reflujo. El líquido condensado que se saca del sistema se llama destilado o producto de tope.

De esta manera, hay flujos internos de vapor y líquido dentro de la columna, además de flujos externos de corrientes de alimentación y productos, entrando y saliendo de la columna.

Existen varios tipos de columnas de destilación: la **columna sencilla** rellena, que está rellena de pequeños trozos de cristal para que se condense el vapor ascendente; la **columna de Vigreux**, tiene una serie de hendiduras para aumentar la superficie; el **tubo de Young**, posee una espiral de vidrio o metal enrollados en una varilla vertical; y la **columna de platos**, está provista de pequeños estrechamientos en los que se recoge líquido condensado a intervalos regulares.

## **MATERIALES.**

- ❖ Parrilla eléctrica.
- ❖ Equipo Vigreux
- ❖ 2 soportes metálicos.
- ❖ Probeta de 1000 ml.
- ❖ Cristalizador.
- ❖ Cronómetro.
- ❖ Papel aluminio.
- ❖ Cuerpos de ebullición.
- ❖ 2 Mangueras de látex.
- ❖ Vaso de precipitado de 1000 ml.
- ❖ Alcoholímetro de ° G.L.
- ❖ Probeta de 100 ml.
- ❖ 2 termómetros.
- ❖ Tapón de hule.
- ❖ 2 matraces Erlenmeyer de 250 ml.

## **REACTIVOS.**

- Etanol 70 ° G.L.
- Agua destilada.
- Aceite de cocina.

## **SECCIÓN DE RECOMENDACIÓN.**

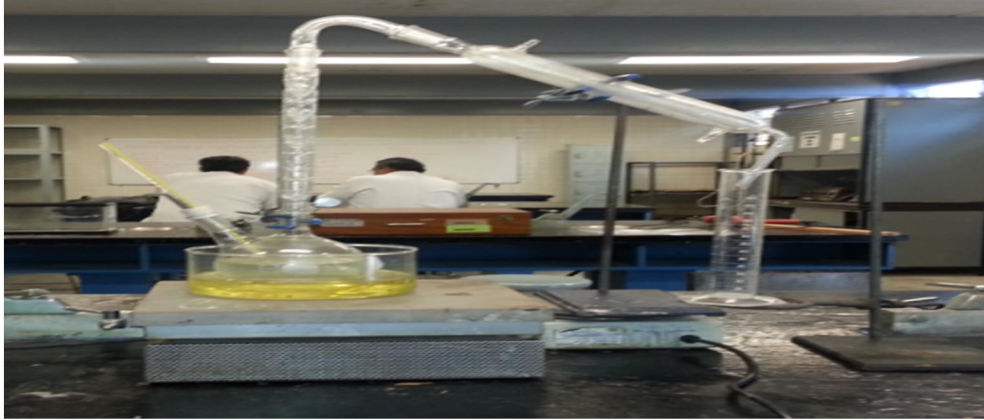
Para esta sesión de práctica se recomienda tener mucho cuidado durante la operación, esta práctica se puso en el cristizador aceite como manta calefactora, se aconseja que en vez de aceite utilizar agua, porque el aceite es muy difícil bajar la temperatura de forma inmediata y además la parrilla no deja de suministrar calor aunque este apagada. Si queremos parar la destilación hay que retirar la parrilla con la manta calefactora unos minutos antes de terminar el proceso. Antes de instalar el equipo verificar que el matraz tenga perlas de ebullición.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

1. Instalar el equipo de VIGREUX para destilación fraccionada tal como se muestra en la ilustración posterior.
2. Preparar una mezcla etanol-agua al 40 %, cuyo volumen deber ser  $\frac{2}{3}$  del volumen total del matraz de destilación del equipo de VIGREAUX y depositarlo en el matraz, añada cuerpos de ebullición.

3. Aplicar calor y observar que se destile hasta obtener al menos 200 ml de producto destilado. Mida la temperatura inicial de la alimentación y el rango de temperaturas , donde se llevó a cabo el proceso de destilación. Registre sus valores
4. Medir la temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento .Por otro lado registrar el tiempo de realización del proceso.
5. Apagar el sistema y enfriar el destilado y el producto de fondo, a temperatura ambiente.
6. Medir el volumen y concentración de ambos productos
7. Desarrollar un balance de materia
8. Determinar las cantidades de calor aplicado al hervidor y al agua de enfriamiento al condensador y las moles de producto destilado y el producto de fondo, así como las fracciones molares de ambos productos
9. Construya tabla de resultados.

**SECCIÓN ILUSTRATIVA.**



**TABLA DE RESULTADO.**

TABLA DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA DESTILACION							
	Volumen	___ G.L	M kg	N kmol	Fracción	Calor suministrado a la solución KJ/S	Calor absorbido por el agua de enfriamiento KJ/S
F	___ ml	___ alcohol					
		___ agua					
		___ G.L	M kg	N kmol	Fracción		
D	___ ml	___ alcohol					
		___ agua					
		___ G.L	M kg	N kmol	Fracción		
W	___ ml	___ alcohol					
		___ agua					

**CUESTIONARIO.**

1. ¿Explique si la destilación en columna de Vigreux es en una sola etapa o en múltiple etapa?
2. ¿Explique el proceso de destilación fraccionaria?
3. ¿Qué uso se da en la industria a la destilación fraccionaria?
4. ¿Explique si el proceso realizado es por lote o continuo? ¿Por qué?
5. ¿Explicar si existen diferencias entre destilación diferencial y fraccionada?



## **CAPÍTULO 6 EXTRACCION EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CACAHUATE CON EL EQUIPO SOXHLET.**

### **PROPÓSITOS.**

- Identificar las partes del equipo de extracción SOXHLET.
- Extraer el aceite esencial de cacahuate.
- Realizar una destilación simple al producto de la extracción.
- Determinar el porcentaje de aceite contenido en el cacahuate.

### **MARCO TEORICO.**

Existen varios procedimientos para la obtención de aceites a partir de materia primas de origen animal y vegetal. Muchos están basados en la extracción del aceite en base a la solubilidad del mismo en distintos disolventes. Se conoce como extracción la separación de uno o más componentes de una mezcla mediante la disolución de los mismos en un disolvente adecuado.

Aunque esta práctica es muy habitual para la obtención de aceites industriales, la extracción con disolventes está prohibida en el caso de que el producto sea destinado al consumo humano. No obstante, la extracción del aceite con disolventes se puede utilizar de un modo muy sencillo y adecuado para determinar la cantidad de aceites o grasas presentes en un alimento.

Cuando se desea extraer un componente de un sólido, generalmente se aplica la técnica conocida como SOXHLET. En esta, el disolvente se vaporiza en un recipiente y el vapor se vuelve a condensar en otro recipiente que contiene el sólido a extraer. Cuando este segundo recipiente se llena completamente, la mezcla pasa al recipiente original, repitiéndose el proceso de modo continuo durante el tiempo deseado.

En esta práctica se extraerá mediante SOXHLET el aceite contenido en el cacahuate. Para ello se utilizara benceno como disolvente. Tras la extracción, se separa el benceno del aceite extraído mediante un sistema de destilación simple, de modo que el disolvente se recupera y podrá ser utilizado en nuevas sesiones de prácticas.

Los principales objetivos de esta práctica son:

- Ensayar la técnica de extracción mediante SOXHLET.
- Ensayar la destilación simple.
- Determinar el porcentaje de aceite de la muestra.

#### **MATERIALES.**

- ❖ 2 Soporte con dos pinzas.
- ❖ 1 Matraz balón de 500 ml.
- ❖ SOXHLET de 250 ml.
- ❖ Vaso precipitado de 250 ml.

- ❖ Refrigerante SOXHLET.
- ❖ Refrigerante de camisa.
- ❖ Mangueras.
- ❖ Parrilla eléctrica.
- ❖ Cacahuete molido.
- ❖ 3 tapones aforados.
- ❖ 2 termómetros.
- ❖ 2 probetas de 100 ml.

#### **REACTIVOS.**

- ❖ Benceno
- ❖ Agua

#### **SECCIÓN DE RECOMENDACIÓN.**

La práctica se aconseja no hacerla con mechero, ni la extracción, ni la destilación por que el benceno es inflamable y los vapores reaccionan violentamente. Se recomienda no acercar los ojos al recipiente que los contenga, se puede manipular pero se recomienda el uso de bata. Este reactivo tiene efectos tóxicos para la sangre un contacto constantes puede provocar sangrado nasal e irritación de los ojos.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

1. Triturar una muestra de cacahuete necesaria para llenar el cartucho a utilizar.
2. Pesar el cartucho limpio P2 y anotar esta información.
3. Introducir la muestra al cartucho.
4. Pesar el cartucho con la muestra P3 (tapada con algodón) en la balanza analítica y registrar este dato.
5. Instalar el equipo SOXHLET en la mesa de trabajo.
6. Introducir el cartucho en el cuerpo del SOXHLET.
7. Pesar el matraz balón P1 (matraz + perlas de ebullición) el cual utilizaremos para depositar 300 ml de benceno (el volumen depende del tamaño del matraz).
8. Depositar en el matraz balón P1 la cantidad de solvente a utilizar.
9. Calentar el solvente a ebullición, hasta que se llene el SOXHLET con el disolvente y este sifone de nuevo al matraz, arrastrando el aceite. El proceso se puede repetir de modo indefinido para conseguir una extracción cuantitativa.
10. Tomar el flujo volumétrico y la temperatura de entrada y temperatura de salida para determinar la cantidad de calor que el vapor de benceno transfiere al agua del condensador.
11. Registrar las sifonaciones realizadas (2 a 3 sifonaciones) y los tiempos en que se llevan a cabo estas.

12. Sujetar el soporte universal con el equipo SOXHLET y retirar la parrilla debido a que si la dejamos seguirá inundando el cartucho con vapor de solvente.
13. Si en el sifón queda un poco de solución, desmontar el equipo y de forma manual depositarlo en el matraz balón.
- 14.. Destilar hasta que únicamente observemos que quede solo el residuo de aceite.
15. Tomar de igual forma el flujo volumétrico, la temperatura de entrada, la temperatura de salida del refrigerante para determinar el calor que el vapor de la solución en destilación transfiere al sistema.
16. Apagar unos minutos antes la placa calefactora antes de que finalice la destilación, para que no se queme el aceite. También en este paso se recomienda retirar la placa calefactora para asegurar que siga la ebullición.
17. Retirar el matraz balón (una vez que se enfrié) y dejarlo en el laboratorio hasta que se evapore el benceno que no pudimos eliminar con la destilación simple.
18. Dejar en reposo 1 día aproximadamente.
19. Pesar el matraz balón P4 (matraz, perlas de ebullición, aceite) y anotar este dato.
20. Determinar el porcentaje de rendimiento de aceite de cacahuate obtenido.

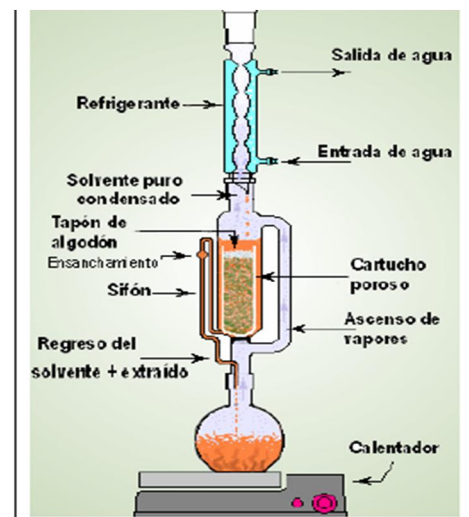
21. Determinar el calor suministrado al equipo SOXHLET y el calor absorbido por el agua de enfriamiento.

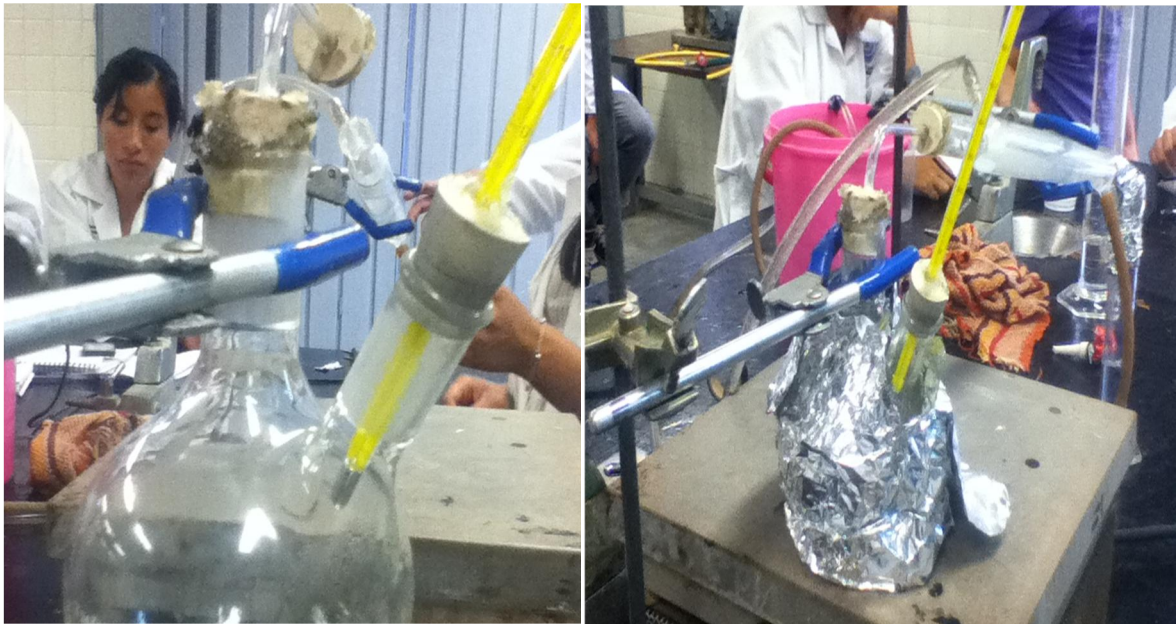
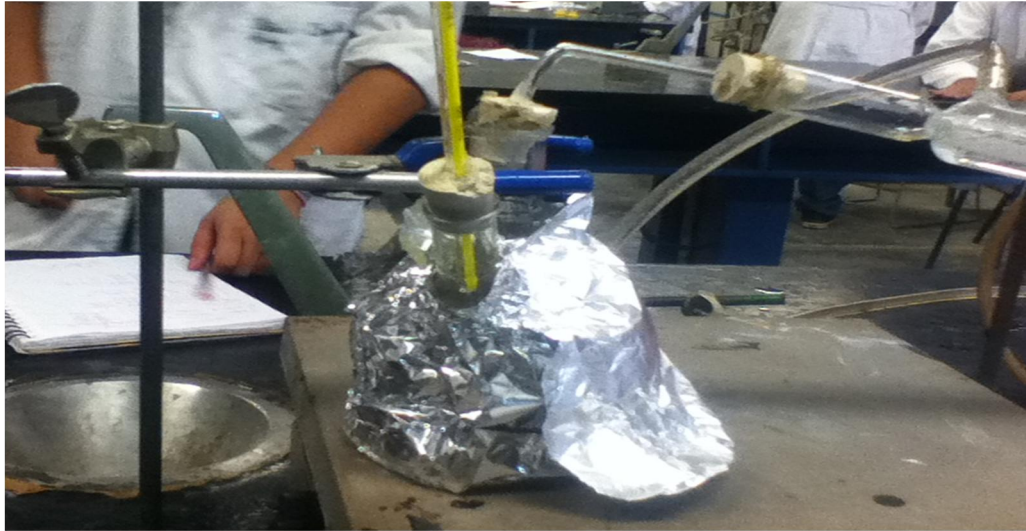
### SECCIÓN ILUSTRATIVA.

En esta tabla se muestra algunos solvente que podemos utilizar.

Eter	35
Diclorometano	40
Éter de petróleo	35 - 50
Cloroformo	62
Metanol	65
Etanol -benceno	65
Hexano	69
Etanol tolueno	73
Acetato de etilo	77
Etanol	78
Benceno	80
Ciclohexano	81
Acido fórmico	101
Dioxano	102
Tolueno	111

Ilustraciones de apoyo para el montaje del equipo SOXHLET.





**TABLA DE RESULTADOS.**

<b>REPORTE DE RESULTADOS DE EXTRACCION DE ACEITE DE CACAHUATE</b>					
<b>P1 gramos (matraz+ perlas de ebullición)</b>	<b>P2 gramos (cartucho)</b>	<b>P3 gramos (cartucho+ muestra +algodón)</b>	<b>P4 gramos (matraz+ perlas de ebullición + aceite)</b>	<b>P5 gramos Aceite obtenido.</b>	<b>% rendimiento obtenido.</b>

<b>TABLA DE DATOS IMPORTANTES.</b>				
<b>Tiempo de duración de la sifonacion min.</b>			<b>Temperatura de la extracción °C.</b>	<b>Temperatura de la destilación °C.</b>
<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>		



**CUESTIONARIO.**

- 1) ¿Cómo determinamos el rendimiento en una extracción?
- 2) ¿Qué tipos de solventes podemos utilizar para una extracción?
- 3) ¿Existe alguna diferencia entre aceite y aceite esencial?
- 4) ¿Qué tipo de separación es la extracción SOXHLET?
- 5) ¿investigue el rendimiento teórico del maní?

## **EXTRACCION DEL ACEITE ESENCIAL DE JUNCIA DEL ÁRBOL DE *PINUS SYLVESTRIS* MEDIANTE ARRASTRE CON VAPOR.**

### **PROPÓSITOS.**

- Aislar el aceite esencia de un producto natural utilizando la destilación por arrastre de vapor.
- Comprender la técnica utilizada para la separación.
- Determinar la cantidad de aceite esencia extraído.

### **MARCO TEÓRICO.**

La destilación por arrastre con vapor es una técnica usada para separar sustancias orgánicas insolubles en agua y ligeramente volátiles, de otras no volátiles que se encuentran en la mezcla, como resinas o sales orgánicas, u otros compuestos orgánicos no arrastrables.

### **LEY DE DALTON.**

Los vapores saturados de los líquidos inmiscibles sigue la ley de Dalton sobre las presiones parciales, que dice que: cuando dos o más gases o vapores, que no reaccionan entre sí, se mezclan a temperatura constante, cada gas ejerce la misma presión que si estuviera solo y la suma de las presiones de cada uno, es igual a la presión total del sistema. Su expresión matemática es la siguiente:

$$PT= P1+P2+P3.....Pn.$$

Al destilar una mezcla de dos líquidos inmiscibles, su punto de ebullición será la temperatura a la cual la suma de las presiones de vapor es igual a la atmosférica. Esta temperatura será inferior al punto de ebullición del componente más volátil.

Si uno de los líquidos es agua (destilación por arrastre de vapor de agua) y si se trabaja a la presión atmosférica, se podrá separar un componente de mayor punto de ebullición que el agua a una temperatura inferior a 100°C. Esto es muy importante cuando el compuesto se descompone a su temperatura de ebullición o cerca de ella.

En general, esta técnica se utiliza cuando los compuestos cumplen con las condiciones de ser volátiles, inmiscibles en agua, tener presión de vapor baja y punto de ebullición alto.

### **ACEITES ESENCIALES.**

La destilación por arrastre con vapor también se emplea con frecuencia para separar aceites esenciales de tejidos vegetales. Los aceites esenciales son mezclas complejas de hidrocarburos, terpenos, alcoholes, compuestos carbonilos, aldehídos aromáticos y fenoles y se encuentran en hojas, cáscaras o semillas de algunas plantas.

En el vegetal, los aceites esenciales están almacenados en glándulas, conductos, sacos, o simplemente dentro del vegetal, por lo que es conveniente desmenuzar el material para exponer esos reservorios a la acción del vapor de agua.

Los aceites esenciales son productos naturales aplicados en diferentes industrias como son la farmacia, alimenticia, en perfumería, entre otros usos. Actualmente, se constituyen en productos alternativos para la elaboración de biopesticidas o bioherbicidas.

La obtención de los aceites esenciales es realizada comúnmente por la tecnología llamada de destilación por arrastre con vapor, en sus diferentes modalidades. La pureza y el rendimiento del aceite dependerán de la técnica que se utiliza para el aislamiento.

### **MÉTODOS.**

Cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado, generado fuera del equipo principal, ya sea por una caldera, una olla de presión o un matraz adecuado esta técnica recibe el nombre de “destilación por arrastre con vapor” propiamente dicha.

También se puede usar el llamado “método directo” en el que el material está en contacto íntimo con el agua generadora del vapor. En este caso, se ponen en el mismo recipiente el agua y el material a extraer, se calienta a ebullición y el aceite extraído es arrastrado junto con el vapor de agua hacia un condensador, que enfría la mezcla, la cual es separada posteriormente para obtener el producto deseado. Este método es usado de preferencia cuando el material a extraer es líquido o cuando se utiliza en forma esporádica.

Una variante de esta última técnica es la llamada "HIDRODESTILACION" en la que se coloca una trampa al final del refrigerante, la cual va separando el aceite del agua condensada, con lo cual se moverá y se facilita en aislamiento del aceite esencial. También puede montarse como un reflujo, con una trampa de CLEVENGER para separar aceites más ligeros que el agua.

El vapor de agua condensado acompañante del aceite esencial es llamado "agua floral" y posee una pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un ligero aroma, semejante al del aceite obtenido. En algunos equipos industriales, el agua floral puede ser reciclada continuamente, o bien, es comercializada como un subproducto (agua de colonia, agua de rosas etc.).

### **MATERIALES.**

- ❖ 1 probeta 500 ml.
- ❖ 1 embudo de decantación 200 ml.
- ❖ 1 termómetro.
- ❖ 1 cronómetro.
- ❖ Tijeras
- ❖ Balanza.
- ❖ Juncia de pino.
- ❖ Olla a presión.
- ❖ Mangueras.

## **REACTIVOS Y SERVICIOS AUXILIARES.**

- Agua para enfriamiento.

## **SECCIÓN DE RECOMENDACIONES.**

Para esta sesión se recomienda asegurar bien las tapas de cilindro que contiene la muestra y hacer lo mismo con la olla de presión para evitar accidentes, debido a que el proceso tarda aproximadamente 3 horas ,verificar que exista suficiente agua para el condensador para no parar el proceso y volver a repetirlo. También se recomienda asegurar el embudo de decantación y ver que esté completamente cerrado. La cantidad de aceite esencial que se extrae del proceso es una cantidad muy pequeña, por ello hay que tener mucho cuidado al decantarlo para que no tengamos perdida.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

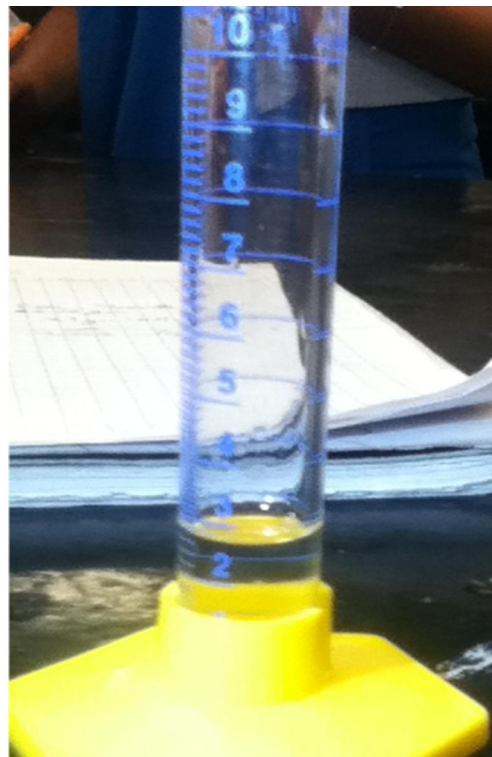
1. Identificar la ubicación del equipo y las partes que lo conforman.
2. Pesar 4 kilogramos de juncia.
3. Introducir la muestra al equipo.
4. Llenar de agua la olla a presión hasta 2/3 parte de su capacidad total.
5. Instalar el equipo y asegurarlo bien.
6. Colocar las mangueras de circulación de agua para el condensador lateral.
7. Hacer circular agua de enfriamiento por el equipo.

8. Encender el quemador que está justo debajo de la olla a presión.
9. Tomar el flujo volumétrico, las temperaturas de entrada y salida del condensador para realizar el cálculo de transferencia de calor.
10. Colocar un embudo de decantación de 500 ml sujetado con un soporte universal en la salida del condensado (aceite esencial + vapor condensado).
11. Observar hasta cuando ya tengamos una muestra considerable de aceite esencial para decantar. Posteriormente apagar el quemador.
12. Cerrar la llave de circulación de agua de enfriamiento.
13. Llevar el embudo de decantación a la mesa de laboratorio y separar el aceite esencial extraído.
14. Medir en una probeta el volumen de aceite obtenido y registrar esta información.
15. Determinar el rendimiento y realizar un balance de energía en el refrigerante.

**SECCIÓN ILUSTRATIVA.**







**TABLA DE RESULTADOS.**

REPORTE DE RESULTADOS OBTENIDOS		
Gramos muestra inicial	Volumen de aceite obtenido	% rendimiento

CALOR SUMINISTRADO A LA DESTILACIÓN			
Flujo másico (kg/h)	Calor específico KJ/KG .K	DELTA T = (T2-T1)	Q = calor suministrado KJ/H.

## **CUESTIONARIO.**

- 1) ¿A qué se le llama destilación por arrastre de vapor?
- 2) ¿Qué es lo que dice la ley de Dalton?
- 3) ¿Qué son los aceite esenciales? ¿Mencione 3 ejemplos?
- 4) ¿Qué usos le damos al aceite esencial en la actualidad?
- 5) ¿Mencione algunas plantas que tiene aceite esencial?

## CAPITULO 7 ABSORCION

### ABSORCIÓN CON REACCION QUIMICA SIMULTÁNEA DE CO<sub>2</sub>

#### Propósito

- Identificar el proceso de absorción y disminuir la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire con una disolución de hidróxido de sodio.

#### Marco Teórico

La absorción es una operación unitaria, empleada en la separación de uno o varios de los componentes de una mezcla gaseosa, que tiene como base la transferencia de materia desde una fase homogénea a otra, utilizando como fuerza impulsora un gradiente de concentración.

El proceso de absorción se denomina absorción física, cuando se trata de un proceso físico controlado por la transferencia de materia, que depende de la solubilidad del gas y de las condiciones de operación (ej. presión y temperatura). Cuando se produce una reacción entre el gas absorbido y algún soluto presente en el líquido absorbente, que acelera o exalta el proceso de separación, se trata de absorción Química. En este caso, influye la estequiometría de la reacción, la concentración de los reactivos y la velocidad de transferencia de materia.

Si bien la absorción se utiliza normalmente para recuperar productos de corrientes gaseosas con fines de producción, también se utiliza de modo creciente como método de control de emisiones contaminantes a la atmósfera, reteniendo las sustancias polucionantes. Tal es el caso de la eliminación de dióxido de azufre de los gases de combustión con disoluciones acuosas de hidróxido sódico, o la eliminación de óxidos de nitrógeno mediante disoluciones de agentes oxidantes.

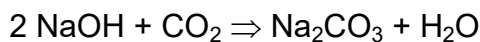
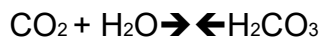
La desorción es la operación unitaria contraria a la absorción, donde un gas disuelto en un líquido es arrastrado por otro gas inerte. Puede ser física cuando se trata de una operación inversa a la absorción física, o bien Química cuando es precedida de una reacción Química.

Muchos procesos industriales de absorción van acompañados de una reacción Química. Es especialmente común la reacción en el líquido del componente absorbido y de un reactivo presente en el líquido absorbente. Algunas veces, tanto el reactivo como el producto de la reacción son solubles, como en la absorción del dióxido de carbono en una solución acuosa de etanolaminas u otras soluciones alcalinas. Por el contrario, los gases de las calderas que contienen dióxido de azufre pueden ponerse en contacto con lechadas de piedra de caliza en agua, para formar sulfito de calcio insoluble.

En la siguiente práctica, nos centraremos en un proceso de absorción del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en una solución alcalina (NaOH).

En esta práctica se procede a hacer pasar una corriente de CO<sub>2</sub> por la columna de absorción que contiene una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH).

La absorción del CO<sub>2</sub> se seguirá por medición de alícuotas tomadas a diferentes tiempos, el CO<sub>2</sub> se disuelve reacciona con el agua para dar ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) de acuerdo al siguiente equilibrio:



$$\% \text{CO}_2 \text{ reaccionado} = \frac{\text{CO}_2 \text{ reaccionado}}{\text{CO}_2 \text{ entrada}} \cdot 100$$

En los cálculos de absorción se conocen generalmente:

- a) La cantidad de gas a tratar
- b) La composición del gas a la entrada y a la salida de la torre.
- c) La composición del líquido a la entrada de la torre

### **Materiales**

- ❖ 1 probeta graduada de 1000 ml
- ❖ probetas graduadas de 250 ml
- ❖ 1 soporte universal

- ❖ 1 pinza para bureta
- ❖ 1 pipeta volumétrica de 5 ml
- ❖ 1 bureta de 50 ml o 25 ml
- ❖ 2 matraces Kitazato de 2000 ml.
- ❖ 1 jeringa con manguera
- ❖ balanza analítica
- ❖ 1 bomba de pecera (para aire).
- ❖ 8 matraces Erlenmeyer de 250 ml
- ❖ 1 cronómetro
- ❖ 1 columna de absorción
- ❖ 1 espátula
- ❖ 1 vaso de precipitados de 250 ml

### **Sustancias**

- ❖ HCl
- ❖ Indicador anaranjado de metilo
- ❖ Piedra caliza (81.73% de  $\text{CaCO}_3$  p/p)
- ❖ NaOH en escamas
- ❖ Ácido muriático al 30 % en peso (HCl)

### **Procedimiento**

1. Pesar 76 grs de hidróxido de sodio sólido y dilúyalas con 19 litros de agua, homogeneizar la mezcla.
2. Preparar 250 ml de disolución de HCl 0.1 N (titulante).
3. Montar el sistema

4. Adicionar en unos de los matraces Kitazato del sistema, 280 ml de ácido muriático al 30 % en peso con 700 ml de agua destilada (o en forma proporcional).
5. Pesar 150 grs de piedra caliza y deposítela en otro matraz Kitazato.
6. Abrir la válvula que alimenta aire al matraz con ácido y transfiera la disolución de ácido muriático al matraz que contiene la piedra caliza.
7. Cerrar la válvula V1 que alimenta aire al matraz con ácido.
8. Abrir la válvula V2 que suministra aire al matraz con piedra caliza.
9. Esperar unos segundos para que se establezca la reacción.
10. Abrir la válvula V3 que suministra disolución de hidróxido de sodio.
11. Esperar a que se establezca el sistema.
12. Tomar muestra (5) de la mezcla a la salida de la torre con intervalos de 5 minutos en cada uno de los matraces Erlenmeyer previamente etiquetados.
13. Tomar una muestra de 5 ml añada 3 gotas de indicador y titular con HCl 0.1 N.
14. Sacar el valor promedio.
15. Construir tabla de resultados.
16. Sacar conclusiones.



## Cuestionario

1. Explique el proceso de absorción
2. ¿Por qué se utiliza disolución de hidróxido de sodio?
3. Describa las características de la columna de absorción
4. Explique cuando se recomienda el empleo de una columna de relleno y cuando una de platos
5. ¿Qué es la altura equivalente a una etapa teórica y el número de unidades de transmisión?
6. Qué tipo de empaque se utilizó como relleno en esta columna
7. Explique cómo obtener el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  en la piedra caliza.

## **CONCLUSIÓN**

En este trabajo de residencia profesional que realizamos, rediseñamos el manual del laboratorio integral III, el cual se hicieron algunos cambios, como lo es la estructura del manual, se verificaron algunas prácticas del por qué ya no salían resultados correctos, además se agregaron 3 nuevas prácticas para cumplir con todo el programa establecido por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Se cumplieron todos los objetivos, el cual se obtuvieron datos experimentales y se interpretaron de acuerdo a las teorías de las operaciones unitarias que ya son conocidas por el alumno.

Se adquirió una mayor habilidad para diseñar, plantear y desarrollar los experimentos en el área de ingeniería química, además se desarrolló el interés y la creatividad en cada sección de práctica, y por último se generó nuevos conocimientos a partir del desarrollo de cada experimento que se realizó en el laboratorio de ingeniería química.

## FUENTES DE INFORMACIÓN.

ALAN, F. S., LEONARD, W. A., CURTIS, C. W., LOUIS, M., & BRYCE, A. L. (2006).  
PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS. MÉXICO D.F.: CECSA.

GEANKOPLIS, C. J. (1998). PROCESO DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS. MÉXICO: CONTINENTAL.

KERN, D. Q. (1999). PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

PERRY. (1976). PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK. ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA: MCGRAW-HILL. PERRY, R. H. (2001). PERRY MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO.

TREYBAL, R. E. (1993). OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA.

A. CENGEL, Y., & A. BOLES, M. (2002). *TERMODINAMICA*. CHINA: MCGRAM-HILL.

A. SAVEDRA, J., A. PUENTES, L., & GONZALES, G. (2008). AUTOMATIZACION DE UN SECADOR CONVECCION DE AIRE CALIENTE. *INDUSTRIA ALIMENTARIA*, 3-10.

GEANKOPLIS, C. J. (2000). *PROCESOS DE TRANSPORTE Y PRINCIPIOS DE SEPARACION*. EUA: PATRIA.

KERN, D. (1984). *PROCESOS DE SEPARACION*. CALIFORNIA: CONTINENTAL.

KING, J. (2003). *PROCESOS DE SEPARACION*. E.U.A: REVERTE S.A.

L. MCCABE, W., C. SMITH, J., & HARRIOTT, P. (2002). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERIA QUIMICA*. EUA: MCGRAM-HILL.

OCON GARCIA, J., & TOJO BARRIENTOS, G. (1977). *PROBLEMAS DE INGENIERIA QUIMICA OPERACIONES BASICAS TOMO I Y II*. CALIFORNIA: REVERTE.