

# Preinforme de Laboratorio

## Práctica de evaporadores

### Ingeniería Química

Juan Francisco Martinez Rojas  
Maria Paula Cucaita Fierro

Octubre 2024

#### **Práctica de Laboratorio: Concentración en un Evaporador**

**Objetivo:** Realizar el reconocimiento del funcionamiento y desempeño del banco de evaporadores del LIQ usando una solución de agua y otra de agua con sal

# 1 Introducción

En esta práctica de laboratorio se empleará el **evaporador 1** para concentrar soluciones líquidas. Se trabajará con una solución de agua pura y otra de agua con sal, analizando el proceso de concentración y las variables que afectan la eficiencia del evaporador y posibles fallas del sistema.

## 2 Objetivos

- Identificar el estado actual del sistema de evaporadores.
- Comprender el proceso de evaporación para concentrar una solución de agua con sal.
- Familiarizarse con el equipo y las prácticas adecuadas para manejarlo.
- Comparar la economía de la evaporación entre las presiones trabajadas.
- Calcular el calor entregado y el coeficiente global de transferencia de calor con las áreas reportadas del equipo.
- Recolectar información para calcular el impacto sobre los resultados de la práctica de las fallas conocidas del evaporador.

## 3 Fundamento Teórico

La evaporación es el proceso por el cual un líquido se transforma en vapor al aplicar calor, incrementando la agitación molecular en su superficie. Este método se emplea en diversas industrias, como la producción de alimentos, la destilación y la desalinización, para concentrar soluciones, purificar líquidos y obtener sólidos cristalinos. En un evaporador, el líquido se calienta hasta alcanzar su punto de ebullición, eliminando el solvente y dejando una solución concentrada o un sólido. La energía necesaria para este proceso se suministra mediante un fluido de servicio, generalmente un gas.

### 3.1 Principios termodinámicos

- Equilibrio de fases: Cuando se logra la evaporación se presenta un equilibrio de fases, este es entre la fase líquida y la fase vapor del solvente, es una condición que se llega a establecer en un proceso en el cual la velocidad, de las moléculas que se pasan de la

fase líquida a la fase vapor, llega a ser igual a la velocidad de las moléculas de la fase vapor que pasan a convertirse en fase líquida, se presenta cuando se iguala la presión de vapor a una temperatura en específico. Dicha temperatura es el punto de ebullición y depende directamente de la presión del sistema, aumentando cuando la presión lo hace. El equilibrio de fases de un sistema de esta naturaleza se puede representar en un diagrama PT, el cual predice cuando ocurrirá la evaporación a cierta presión

- Balance de energía: Se basa en la primera ley de la termodinámica la cual establece que la energía total en el sistema debe ser conservada. Siendo así un balance en el evaporador tiene que incluir parámetros como lo son: el calor sensible, el calor latente y la entalpía. Plantear el balance de energía correctamente será fundamental para resolver el sistema de evaporador
- Calor de vaporización: Se denomina calor latente de vaporización a la energía requerida para que una cantidad específica de solvente en fase líquida se convierta en fase vapor en una presión en específico. A nivel molecular, el calor latente rompe los enlaces intermoleculares, aumentando la energía cinética de las moléculas del solvente, lo que resulta en la fase vapor, es importante tener presente que cada sustancia tiene un calor de vaporización específico. Valores comunes de este son los siguientes

Sustancia	Temperatura de Ebullición (°C)	Calor de Vaporización (kJ/kg)
Agua	100	2260
Etanol	78.37	841
Metanol	64.7	1100
Acetona	56.05	525
Benceno	80.1	395
Tolueno	110.6	350
Amoníaco	-33.34	1371
Propano	-42	426
Hexano	68.7	370
Cloroformo	61.2	247
Hidrógeno	-252.87	446
Oxígeno	-183	213
Nitrógeno	-195.79	199

Table 1: Calores de Vaporización de Sustancias Comunes

- Coeficiente global de transferencia de calor Este coeficiente representa que tan bien se conduce el calor a través de una serie de medio resistentes, según sea el espesor y la conductividad térmica de los materiales. Entre mayor sea la magnitud de este, mayor será la facilidad con la que el calor se transfiere, se representa con:

$$(Q = U * A * DMLT) \quad (1)$$

Donde  $U$  es el coeficiente global de transferencia de calor, el cual considera todas las resistencias del sistema, convectivas y conductivas.  $A$  es el área de transferencia y  $DMLT$  es la media logarítmica de temperatura.

Las principales resistencias que se presentan en el sistema del evaporador son: resistencia de pared, resistencia en el líquido, resistencia en el vapor.

### 3.2 Variables operativas

- Temperatura de ebullición y su incremento : La evaporación es un proceso de incremento de concentración, es de esperar que a mayor concentración , mayor sea el cambio de las propiedades , como lo puede ser el punto de ebullición. La elevación del punto de ebullición es la diferencia de temperatura entre el punto de ebullición del disolvente puro y el de la solución, el ejemplo más común es la solución de agua con sal, la cual tiene mayor punto de ebullición.
- Velocidad de circulación : La velocidad de los fluidos es un parámetro importante para controlar a lo largo de la práctica, es fundamental mantener esta bajo regulada pues los fluidos tratados son vapores que se encuentran calientes y pueden ser peligrosos. Es así como monitorear este caudal es una buena práctica que trae beneficios no solo en la seguridad, sino también en el posterior tratamiento de los datos.
- Economía del vapor: Está sencilla relación es un parametro frecuentemente utilizado para medir la eficiencia del proceso. Descrita por :

$$\left( \frac{m_{vaprec}}{m_{vapvivo}} \right) \quad (2)$$

Implica que mientras mayor sea la cantidad de vapor recuperado, más cercana será la economía del vapor a 1. Esto indica que los costos del gasto energético se encuentran dentro de un buen estándar y que el vapor se utiliza eficientemente

## 4 Materiales a usar

- **Materiales**
- **Equipo**
  - **Evaporador 1:** Incluye el tanque de alimentación, balde, balanzas, bombas, manómetros, tablero de control, válvulas de flujo, termocuplas, rompenieblas, condensador y tuberías.
- **Implementos de seguridad**

- Casco de seguridad
- Gafas
- Bata
- Guantes de carnaza
- **Reactivos**
- NaCl
- Agua

## 5 Procedimiento experimental:

Se usará el **evaporador 1** para la práctica a realizar.

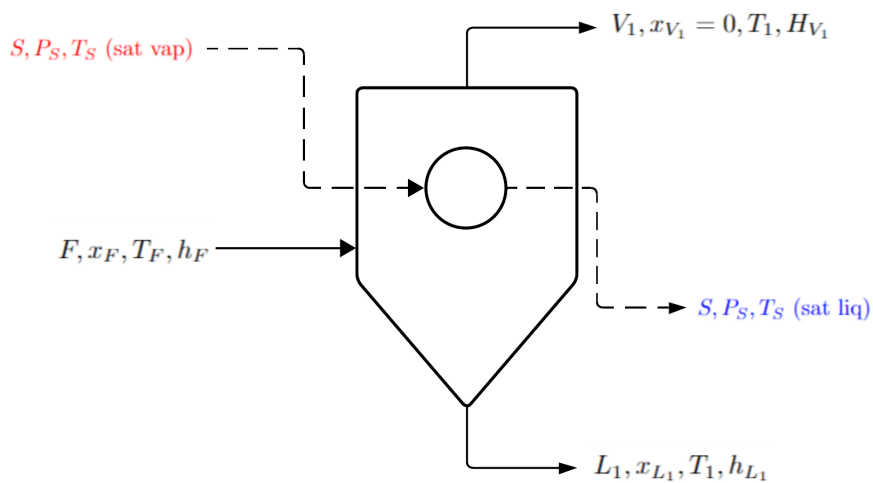


Figure 1: Representación de la evaporación de un solo efecto

Se sugiere seguir el diagrama de flujos que se encuentra a continuación.

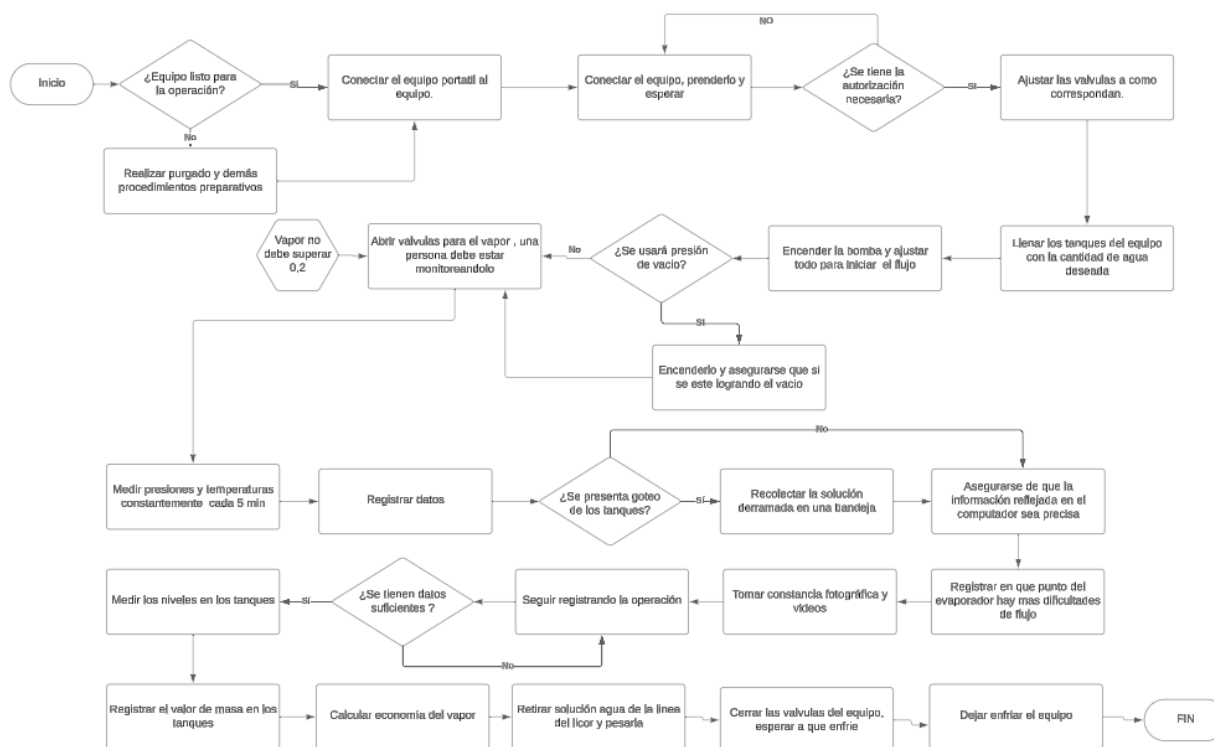


Figure 2: Diagrama de flujo de proceso

Es importante hacer la aclaración que con la practica de solo agua, no se logrará la concentración de un licor en especifico, sin embargo si es importante recolectar los datos de la cantidad de agua que sale por la línea de ese licor, pues de esa forma se podrá tener una idea de la cantidad de masa que se puede perder e identificar puntos adicionales para la economía del equipo. Siendo así para la practica se requerirá la recolección de este en un balde para su posterior pesado.

Teniendo entonces lo anterior se puede considerar que la siguiente lista de chequeo es fundamental para dar realizar la práctica adecuadamente

## 5.1 Lista de chequeo

1. Elementos de seguridad requeridos
2. Equipo en estado aceptable para la operación
3. Instrumentos para realizar las mediciones y recolecciones: portátil, balde, balanzas

4. Agua requerida para la operación
5. Autorización para abrir la línea de vapor

## 6 Métodos

Inicialmente es necesario verificar si están funcionando las balanzas de equipo para poder realizar la toma de datos necesaria, en caso de que estas no funcionen será necesario tomar medidas en función del volumen recolectado respectivamente.

### 6.1 Efecto simple

Se manejará el ensayo respectivo para una operación a presión atmosférica y a presión de vacío, esto para la solución de agua-agua.

Se deben cargar aproximadamente 20kg en el tanque de alimentación, a lo largo del tiempo se toma la masa del vapor generado, el alimento y vapor de alta.

Como criterio de parada para la evaporación al ser agua se establece parar el proceso al alcanzar 4kg de vapor producido.

Table 2: Datos a ser recolectados durante la evaporación

t (min)	En el efecto			Steam		
	F (kg)	V (kg)	T1 (°C)	Masa (kg)	Temperatura (°C)	P (psig)
0						
5						
10						

Se desea conocer el efecto del calentamiento del equipo previo al proceso de evaporación por lo cual se realizará el monitoreo la temperatura dentro del efecto que debería alcanzar 91.4°C antes de empezar a producir el vapor teniendo en cuenta el consumo de el vapor de la caldera. vapor de alta.

Table 3: Calentamiento del equipo

t (min)	Temperatura del efecto (°C)	P steam (psig)	Vapor de alta (kg)
0			
5			
10			

La toma de datos demostrada en la Tabla 3 se detendrá al tener producción de vapor o al evidenciar que la información de la termocupla es **91.4°C**. En este caso se puede comparar la temperatura de ebullición del agua que reporta la termocupla con la teórica.

$$\%Err = \left( \frac{|T_1 - 91.4|}{91.4} \right) * 100 \quad (3)$$

## 7 Resultados Esperados

### 7.1 Comparación de resultados a causa de las áreas

No se encuentra información confiable sobre el área real de los evaporadores usados actualmente. Se desconoce por lo tanto la información actual del estado interno del equipo, este es un factor que dificulta mucho los cálculos para los balances de energía del equipo.

Dentro de los documentos a los que se tienen acceso hay un plano presente en la 3 en el cual se reportan áreas de  $3054 \text{ cm}^2$  y  $3070 \text{ cm}^2$  respectivamente.



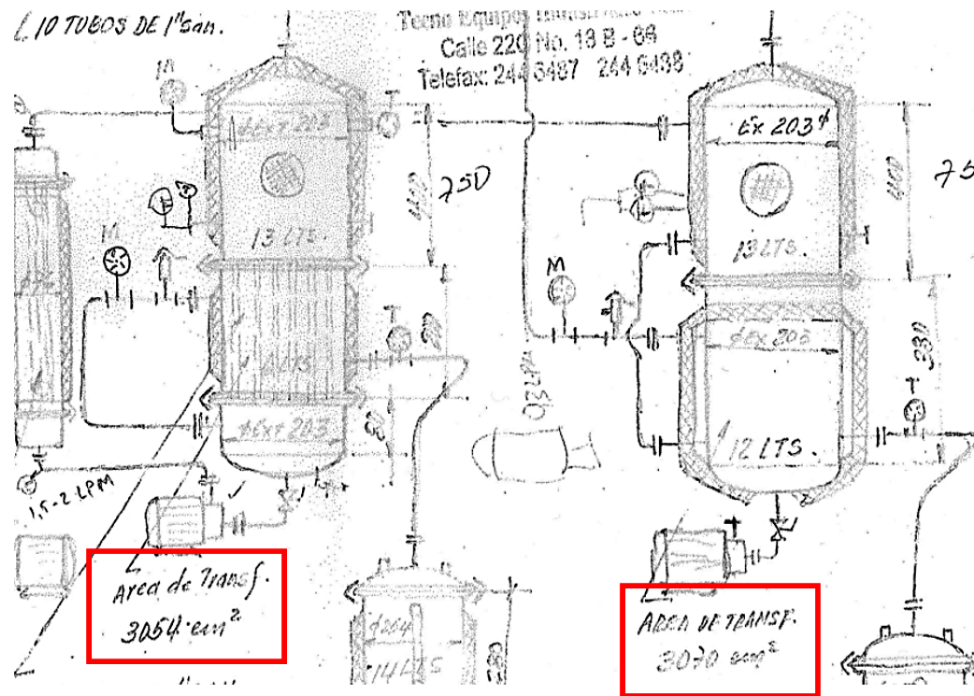


Figure 3: Plano disponible

A su vez encuentra un documento con información de los evaporadores donde se menciona la siguiente configuración, la cual parece estar desactualizada:

- **Evaporador uno:** es un evaporador de tubos horizontales que consta de 22 tubos de cobre, cada uno con una longitud de 48 cm. Los diámetros interno y externo de los tubos son de 35 mm y 39.5 mm, respectivamente.

$$A = N_t * L * D_e * \pi \quad (4)$$

- **Evaporador dos:** es un evaporador tipo calandria que consta de 24 tubos verticales de cobre, cada uno con un diámetro interno de 1.125 pulgadas y espesor de 1.5 mm. La calandria también cuenta con un tubo central con un diámetro interno de 3.75 pulgadas (DE') y un grosor de pared de 2 mm. La longitud es de 48 cm.

$$A = L * \pi * (N_t + D_e + DE') \quad (5)$$

Al realizar el cálculo de área con la ecuación 4 para el evaporador 1 previamente descrito da como resultado  $13104 \text{ cm}^2$ , al usar la ecuación 5 se obtiene un área de  $12350 \text{ cm}^2$ . Partiendo de la suposición de que no existen pérdidas de calor en el proceso se tendría que:

$$Q = S\lambda = A \cdot U \cdot \Delta T = A \cdot U \cdot (T_s - T_v) \quad (6)$$

Para determinar errores que se han cometido en el cálculo del  $U$  a causa de el valor de las áreas obtenido de la ecuación (7) se determinará su valor con ambas opciones mencionadas anteriormente.

$$U = \frac{S\lambda}{A \cdot (T_s - T_1)} \quad (7)$$

En la ecuación (7)  $S$  es el vapor de alta condensado,  $A$  es el área,  $T_s$  la temperatura del vapor de alta y  $T_1$  la temperatura del efecto.

Se desea confirmar la condición a la que se encuentra el vapor que proviene de caldera por lo cual la temperatura del mismo se registrará en la Tabla 3, esto cambiará en dicho caso el balance de energía pues este en el caso de estar sobre-calentado debe incluir el calor sensible respectivo. Para la presión se tomará el promedio a lo largo del tiempo de operación.

## 8 Documentación fotográfica

A continuación, se detallan las imágenes que se desean tomar al equipo. Estas fotos son importantes para la documentación visual del proceso y representan una posible guía para futuros usos del banco de evaporadores.

- **Equipo completo:** Esta imagen tiene una foto del equipo en su totalidad con el fin de identificarlo adecuadamente.
- **Bombas:** Esta imagen servirá de guía para que se identificar la bomba a usar en cada caso.
- **Tanques de recolección:** Se mostrarán los controles de nivel presentes en el equipo y en el caso del tanque de alimentación se muestra la llave que permite el ingreso de agua al mismo.
- **Balanzas:** Se busca mostrar el display de las balanzas para que futuros estudiantes logren familiarizarse con este, además, estas se usarán para mostrar en dicho caso problemas con el mismo.
- **Panel de control:** A partir del panel de control actual se mostrará su etiquetado y el estado del mismo, esto posteriormente permitirá compararlo con el PLC a ser instalado.

- 
- **Línea de vapor y manómetros:** Debido a que el control manual se emplea constantemente para manejar el vapor que proviene de la caldera se considera importante mostrar los instrumentos dispuestos a lo largo de la línea de tubería que deben ser cuidadosamente manejados para evitar accidentes.

Las fotos mencionadas serán utilizadas ya sea para alimentar los documentos de informe de estado del equipo o para ser guía de los estudiantes a la hora de preparar su práctica en la planta piloto del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia.

## 9 Referencias

### References