

## Estudio de evaporadores de doble efecto

### Study of double effect evaporators

Ing(c). Cristhian Manuel Díaz<sup>1</sup>  
Ing(c). Emely Vera Villamizar<sup>2</sup>  
Ing(c). Heber Jaraba Miranda<sup>3</sup>  
Ing(c). Edwin Camilo Delgado<sup>4</sup>

**Resumen:** El objetivo principal de este artículo de revisión es recopilar información y bibliografía acerca de los evaporadores de doble efectos en los procesos industriales, tomando como ejemplo el evaporador de doble efecto que está en la Universidad de Pamplona, que pertenece a uno de los laboratorios de procesos químicos del programa de ingeniería química de la universidad. Se emplean en su mayoría fuentes primarias como los artículos científicos proporcionados por las diferentes bases de datos soportados por la Universidad a sus estudiantes, entre algunas de ellas ScienceDirect y Springerlink, y algunos otros aspectos importante de libros sobre el evaporador. Lo anterior indica que el artículo será de tipo revisión sobre un tema determinado y ponerlo en perspectiva.

**Palabras clave:** Recopilación, artículos, evaporador, procesos químicos.

**Abstract:** The main objective of the review article is to gather information and bibliography about the evaporators of double effects in the industrial processes, taking as an example the evaporator of double effects that is in University of Pamplona, that belongs to one of the laboratories of chemical processes of the chemical engineering program of said university. Most primary sources are used as the scientific articles provided by the different databases supported by the University to its students, including some of them ScienceDirect and Springerlink, and some other important aspects of books about the evaporator. The foregoing indicates that the article will be a revision type on a given topic and put it in perspective.

**Keywords:** Compilation, articles, evaporator, chemical process

---

<sup>1</sup>Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería mecánica, mecatrónica e industrial. Campus Principal sede Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: [cristhianmaueldiaz@gmail.com](mailto:cristhianmaueldiaz@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería mecánica, mecatrónica e industrial. Campus Principal sede Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: [emelydaniivera@gmail.com](mailto:emelydaniivera@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería mecánica, mecatrónica e industrial. Campus Principal sede Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: [hejamir3095@gmail.com](mailto:hejamir3095@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería mecánica, mecatrónica e industrial. Campus Principal sede Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: [edacadema124@hotmail.es](mailto:edacadema124@hotmail.es)

## 1. INTRODUCCIÓN

La evaporación es una de los procesos más importante de la ingeniería química, ya que se utiliza para incrementar la concentración de sólidos de soluciones líquidas por eliminación de disolvente por ebullición. El objetivo de la evaporación es concentrar una disolución consistente en un soluto no volátil y un disolvente no volátil, es decir, es una operación unitaria empleada para remover agua de los alimentos diluidos y obtener un producto líquido concentrado.

Entre las aplicaciones de la evaporación están: la concentración de soluciones acuosas de sal, azúcar, hidróxido de sodio, glicerina, leche y jugo de naranja.

Los sistemas de evaporación industrial normalmente constan de un intercambiador de calor, para aportar calor sensible y latente de evaporación al alimento líquido. Para lograr esto se utiliza generalmente vapor de agua. Un separador en el que el vapor se separe de la fase líquida concentrada, un condensador para condensar el vapor líquido producido y una bomba de vacío.

Este es un proceso importante pues se puede aplicar casi que en cualquier proceso como por ejemplo en una producción de panela que consiste en 'optimizar los tiempos de procesamiento y los recursos en la industria de la panela, azúcar no centrifugado, cuyo único ingrediente es el jugo de la caña de azúcar. La metodología consistió en modelar el sistema de evaporización de múltiple efecto utilizando datos experimentales de un sistema real de evaporización de tres efectos y que permitiera controlar la concentración de azúcar y el nivel del fluido, en cada efecto. Como resultado se obtuvo un modelo del sistema de evaporización de múltiple efecto mediante una función de transferencia de tercer orden y un control proporcional derivativo. Finalmente se muestra que el control de la concentración de azúcar y el nivel del fluido en cada efecto permiten obtener un sistema de evaporación de múltiple efecto más eficiente en términos de tiempos de procesamiento y optimización de recursos' [1].

## 2. HISTORIA DEL EVAPORADOR

La evaporación es quizás una de las operaciones unitarias más antiguas empleadas por el hombre, pues casi con la operación de las primeras culturas comenzó la obtención de sal a partir de la evaporación de agua marina, proceso que aún se sigue utilizando en la industria para evaporar grandes volúmenes de agua ya sea para la producción de sal, desalinizar el agua, la obtención de sustancias o también para mejorar el sabor de algunas comidas. Por otro lado tenemos que la obtención del azúcar impulsó el desarrollo de aparatos llamados evaporadores o tachos. En la industria alimentaria es frecuente que se necesite eliminar parte del solvente que se encuentra en ciertos alimentos líquidos. Los equipos empleados para tal efecto se llaman evaporadores, estos pueden adoptar formas muy diversas. Una clasificación primaria los dividiría en evaporadores de contacto directo y de contacto indirecto.

El evaporador de efecto múltiple fue inventado por el inventor americano e ingeniero **Norbert Rillieux** quien diseñó este aparato durante la década de **1820** y construyó un primer ejemplar en **1834** luego de **10 años** pudo construir el primer evaporador práctico a la fecha de **1845** originalmente para concentrar azúcar proveniente del jugo de caña de azúcar todo esto dado que en la década de **1800**, el proceso de refinamiento del azúcar fue lento, costoso e ineficiente, **Norbert Rillieux** comenzó a buscar formas de mejorar el proceso de refinado de azúcar obteniendo como mejor resultado un elemento que pasaría a llamarse **Evaporador de efecto múltiple**.

### 3. EVAPORADOR

Su principal objeto es el incremento de la concentración del sólido disuelto en la solución alimentada. Este incremento de la concentración de la sustancia sólida en la solución alimentada, se obtiene mediante la eliminación parcial del disolvente (generalmente agua) en todo el volumen de la solución, a una temperatura de ebullición [2].

En el evaporador, el calor requerido para la evaporación del disolvente se puede suministrar al emplear un agente de calefacción que generalmente es vapor de agua.

El proceso de evaporación puede transcurrir en varios vasos (evaporación de múltiples efectos) o en un solo vaso (evaporación de simple efecto), como se ve en la siguiente fig. 1.

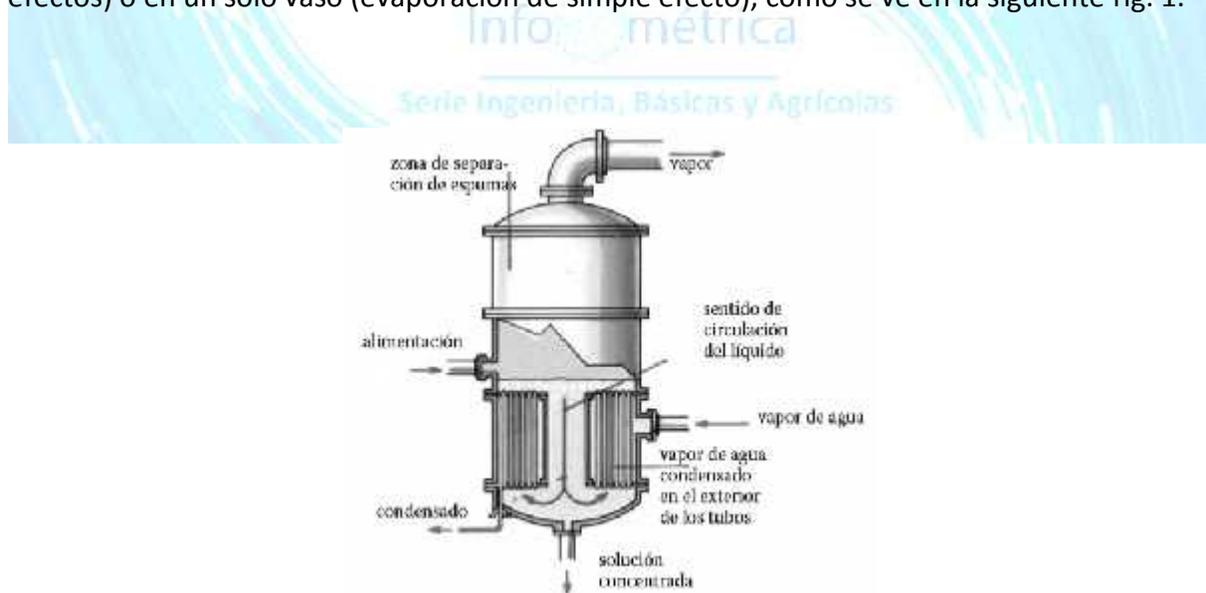


Fig. 1. Esquema de un evaporador de simple efecto. Fuente: [2].

#### 3.1 Componentes básicos de un Evaporador

Los sistemas de evaporadores industriales normalmente constan de:

- Un sistema de calentamiento (calandria) que generalmente emplea vapor con una energía suficiente para alcanzar el punto de ebullición del líquido. En la industria de los alimentos normalmente se utiliza como medio de calentamiento vapor saturado.
- Un separador (sección libre de evaporación) en el que el vapor se separa de la fase líquida concentrada. En los sistemas que operan a presión atmosférica el separador puede omitirse (puede estar incluida en la misma estructura o en otro equipo por separado).

Existen varios dispositivos que deben instalarse con los equipos de evaporación inclusive pueden ser comunes a otros equipos empleados en diferentes operaciones y procesos de una planta química, los cuales son:

- *Generadores de vacío (eyectores):* Los generadores de vacío establecen el vacío necesario para los procesos de manipulación. El vacío se genera neumáticamente o bien eléctricamente. Los generadores de vacío neumáticos realizan tiempos de ciclo cortos y gracias a su diseño compacto y ligero se pueden integrar directamente en el sistema. Los generadores de vacío eléctricos se utilizan en aplicaciones en las que no se dispone de aire comprimido o en las que se requieren elevadas potencias de aspiración.[3].
- *Trampas de vapor:* las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor. En la industria, el vapor es regularmente usado para calentamiento o como fuerza motriz para un poder mecánico. Las trampas de vapor son usadas en tales aplicaciones para asegurar que no se desperdicie el vapor [4].
- *Separadores de arrastre:* Ayuda a proveer vapor seco que no se logra solamente de las trampas de vapor.
- *Condensadores:* si un evaporador trabaja al vacío, es necesario utilizar algún dispositivo para condensar los vapores, estos dispositivos se denominan condensadores y se clasifican en varios tipos, para el caso de los empleados en evaporadores tenemos:
  1. Condensadores de superficie: el vapor que se ha de condensar y el líquido de enfriamiento quedan separados por una pared metálica (intercambiador de calor)
  2. Condensadores de contacto: en ellos se mezclan íntimamente el vapor que se condensa y el líquido de enfriamiento (agua).

El condensador de corrientes paralelas es aquel en el los gases incondensables salen a la temperatura de entrada de agua [5].

### 3.2 Ventajas

Entre las ventajas de este proceso se tiene la reducción de las necesidades de espacio para el almacenamiento al concentrar los alimentos antes de deshidratarlos, congelarlos o esterilizarlos ya que reduce su peso y volumen; la pasteurización del jugo y la protección contra el deterioro microbiano y prolongación de la vida útil de conservación.

Pueden operar un amplio intervalo de concentraciones comprendidas entre la de la alimentación y el líquido concentrado y se adaptan muy bien a la evaporación de efecto simple en operar tanto con circulación natural (se debe a las diferencias de densidad) como con circulación forzada (es a la circulación del líquido mediante una bomba) ([6]).

### 3.3 Desventajas

La desventaja de la evaporación es que el tratamiento térmico aumenta la susceptibilidad a la oxidación del producto y destruye componentes aromáticos delicados.

## 4. MÉTODOS DE OPERACIÓN DE EVAPORADORES

Dentro del proceso de evaporación hay que tener en cuenta los costos, y el proceso más costoso es el de vapor de agua que se consume. Por lo tanto los métodos más atractivos son los que tienden a reducir el consumo [7].

### 4.1 Primer método

Cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y se desecha (ver Fig. 2).

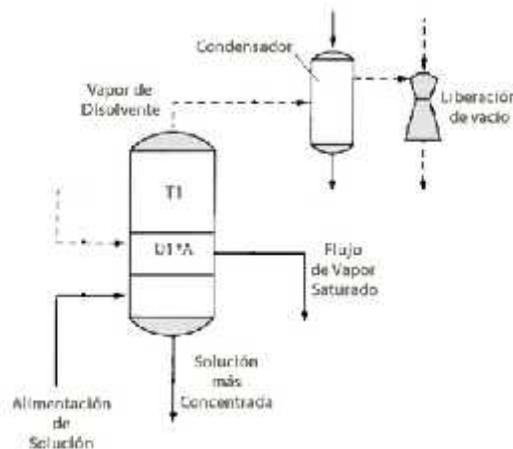


Fig. 2. Ejemplo de evaporación de simple efecto. Fuente [5]

## 4.2 Segundo método

Cuando el calor suministrado en el primer efecto se utiliza para vaporizar el solvente, este vapor, a su vez, se utiliza como medio de calentamiento del siguiente efecto y así sucesivamente, hasta que el vapor generado en el último efecto se envía al condensador, este método de operación de evaporadores es de tipo serie y es llamado evaporación de múltiple efecto, es decir, pueden existir evaporadores de triple efecto como también de doble efecto que utilizan este principio [8].

Por consiguiente, la presión en el efecto donde se produzca el calentamiento, tendrá una presión superior o igual a la presión atmosférica y el segundo al igual que los siguientes (de tres efectos o más), han de estar por ello al vacío.

Esta operación de múltiple efecto es muy utilizado en las industrias químicas, siendo una manera efectiva de disminuir el consumo de energía y agua de enfriamiento empleado en el condensador (ver Fig. 3).

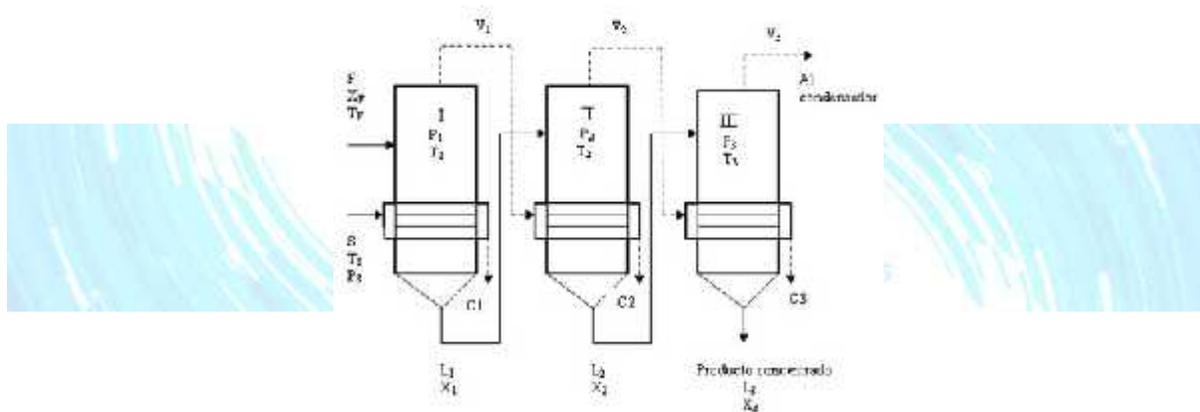


Fig. 3. Ejemplo de operación de triple efecto. Fuente [5]

## 5. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO LA PLANTA DE EVAPORIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

La universidad de Pamplona, para el programa de Ingeniería química, adquiere una planta de evaporación cuyo proceso es de doble efecto, para los diferentes procesos químicos que servirán de práctica a sus estudiantes. A continuación se muestra un esquema descriptivo del evaporador de doble efecto en la Fig. 4.

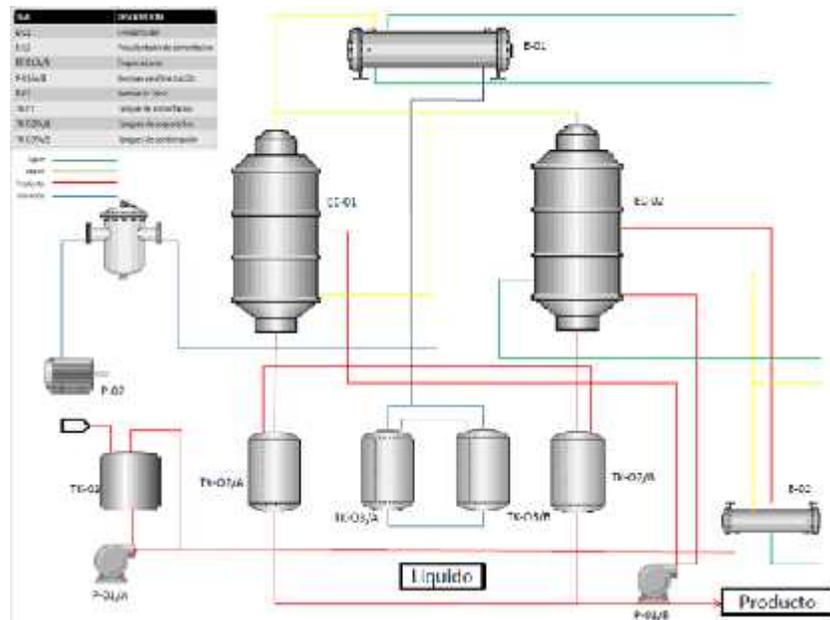


Fig. 4. Esquema de funcionamiento y conexión del evaporador. Fuente:[9]

Lo primero que se hace, es aportar el producto en el tanque (Tk-01), con ayuda de la bomba (P-01/A) es homogeneizada la mezcla.

Después por medio de la misma bomba (P-01/A) la mezcla es transportada a un intercambiador de calor (Precalentador) (E-02) donde la solución es precalentada y dirigida al evaporador (EC-02), allí salen dos corrientes[7]:

1. Una parte de la solución sale por la línea amarilla y es dirigida al intercambiador (E-01), donde se condensa y cae a los tanques de condensado (Tk-03/A y Tk-03/B) .
2. La otra parte de la solución es el concentrado, que cae directamente al tanque (Tk-02/B); donde es medido su grado de concentración.

En caso tal que el grado de concentración no sea el que requerimos, se hace una segunda etapa, la cual consiste que en lugar de que la solución en forma de vapor se vaya al condensador (E-01) se lleva es al evaporador (EC-01) donde se sube aún más la temperatura y también salen dos corrientes:

1. Una parte de la solución sale por la línea amarilla y es dirigida al intercambiador (E-01), donde se condensa y cae a los tanques de condensado (Tk-03/A y Tk-03/B) .
2. La otra parte de la solución es el concentrado, que cae directamente al tanque (Tk-02/A); donde el grado de concentración debe ser mayor al del tanque (Tk-02/B).

Si nuestra mezcla tiene una alta temperatura de ebullición, para ahorro energético se llevará a cabo con ayuda de la bomba de vacío (P-02). Así con una presión menor se llegará a la temperatura deseada.

En la siguiente imagen podemos observar como son las entradas de vapor, el drenaje, y las entradas de agua de enfriamiento para los condensadores.

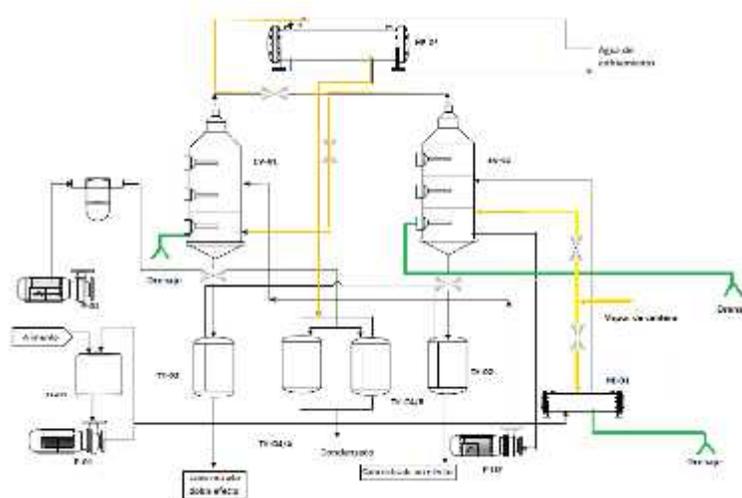


Fig. 5 diagrama del funcionamiento y conexión del evaporador. Fuente: [10]

A continuación se muestra un diagrama de la planta de evaporación en Symbol Factory en la Fig. 6.

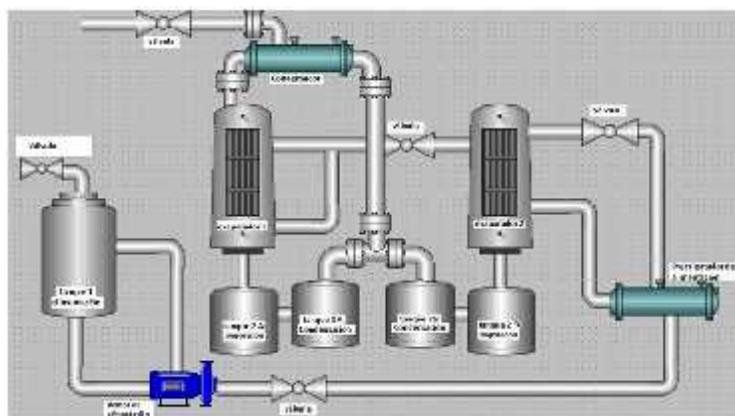


Fig. 6. Diagrama de la planta de evaporación realizada Intouch y la herramienta de Symbol Factory, relacionadas con la automatización del proceso. Fuente: Autores.

El evaporador es un aparato que usa el calor proveniente del vapor para evaporar agua de forma eficiente, este vapor proviene de una caldera, para ahorros de energía hay una relación

entre el vapor que entra y la salida del condensado más el vapor que sale como lo podemos ver en la Fig. 7

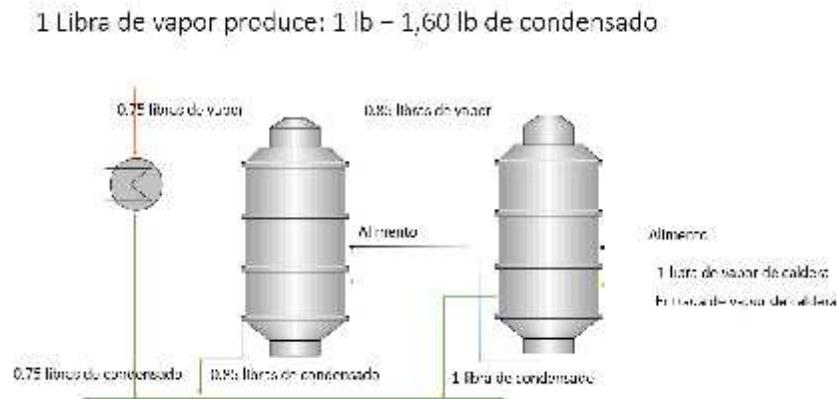


Fig. 7. Relación en libras (lb) de vapor que entra con el vapor y condensado que sale. Fuente:[10]

## 6. TIPOS DE ALIMENTACION EN LOS EVAPORADORES

La alimentación en los evaporadores de más de in efecto puede ser:

### 6.1 Alimentación Directa

Este tipo consiste en introducir mediante una bomba la dilución en el primer efecto y hacerla circular después a través de los demás efectos, sin bombas, puesto que el flujo es en el sentido de presiones decrecientes y todo lo que se quiere es válvulas de control en las líneas de unión. Es el modelo de flujo más sencillo. La concentración de la solución aumenta desde el primer efecto hasta el último, del cual es extraída por una bomba como lo podemos observar en la Fig. 8.

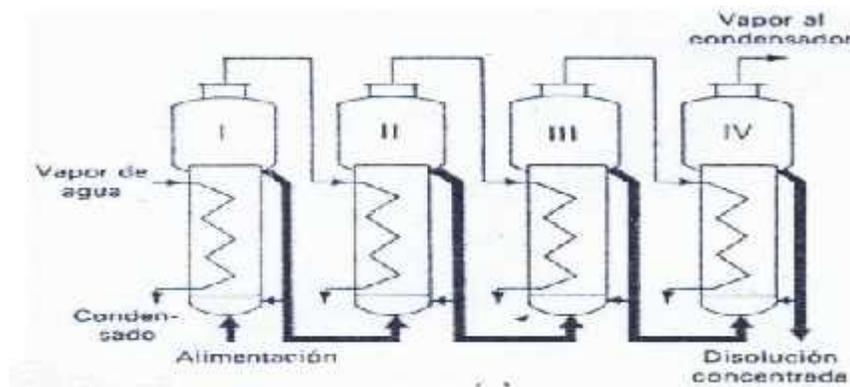


Fig. 8. Sistema de alimentacion directa. Fuente:[6]

## 6.2 Alimentación Inversa

En esta la solución diluida se alimenta en el último efecto y se bombea hasta los sucesivos efectos hasta el primero, esta requiere na bomba entre cada pareja de efectos, además de bomba para extraer la solución concentrada, ya que el flujo es en sentido de presiones crecientes.

La alimentación inversa conduce con frecuencia a una mayor capacidad que la alimentación directa cuando la alimentación esta fría (ver Fig. 9).

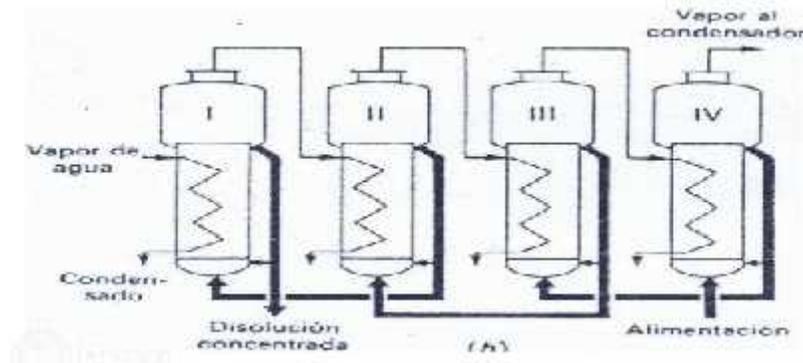


Fig 9. Sistema de alimentacion inversa. Fuente [6]

## 6.3 Alimentación Mixta

En este tipo de solución diluida es alimentada en un efecto intermedio, circula con alimentación directa hasta el extremo de la serie y después se bombea hacia atrás a los primeros efectos para conseguir la concentración final. Esta forma permite eliminar alguna de las bombas que se requieren en la alimentación inversa y permite realizar la evaporación final a temperaturas más elevadas como lo podemos ver en la Fig 10.

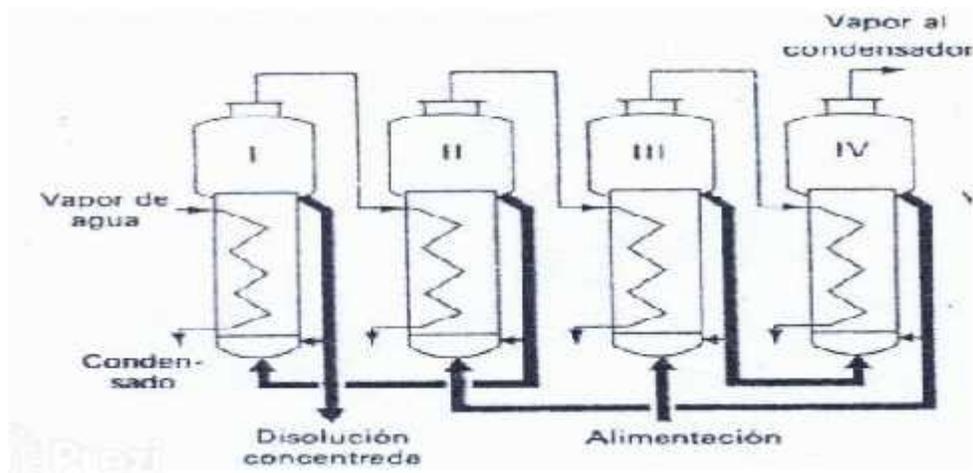


Fig 10. Sistema de alimentacion Mixta. Fuente [6]

## 6.4 Alimentación Paralela

La solución diluida es alimentada directamente en cada efecto, no hay transporte de líquido entre los efectos. Se utiliza en los evaporadores que presentan cristalización y donde se retiran suspensiones de cristales y aguas madres.

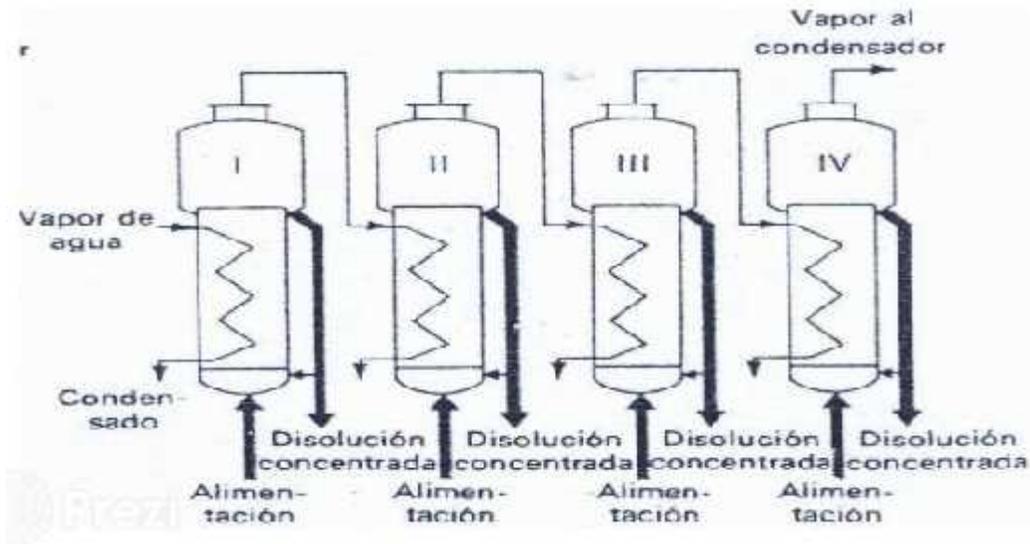


Fig. 11. Sistema de alimentación Paralela. Fuente [6]

## 7. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la descripción realizada del funcionamiento de la planta de evaporización de la universidad de pamplona se concluye y obtiene como resultado un dato muy relevante, la universidad de pamplona cuenta con uno de los elementos más importantes en cuanto a procesamiento de alimentos que usan grandes medianas y pequeñas empresas no solo de este país si no de cualquier parte del mundo, ya que del funcionamiento de esta depende el mejoramiento y obtención final de productos que se encuentran inicialmente en combinación con otros o impuros. Además es un elemento de alto costo que teniendo en funcionamiento constante ya sea para generar conocimiento a los estudiantes o para producción propia puede generar altas fuentes de ingreso económicos.

## REFERENCIAS

R. A. Ordoñez, C. A. Hernández, and L. F. Pedraza, "Modelado de un sistema de evaporación de múltiple efecto para la producción de panela (Azúcar no Centrifugado)," *Inf. Tecnol.*, vol. 23, no. 6, pp. 105–120, 2012.

I. B. Ortiz and I. M. B. Iturria, "Alternativas para el Control Multivariable Alternativas para el Control Multivariable," vol. 5, no. 10, pp. 21–27, 2015.

Schmalz, "Generadores de Vacío." [Online]. Available: <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/generadores-de-vacio/>. [Accessed: 26-Apr-2018].

Mesa Mesa, L., Barrera Lombana, N. (2013). La robótica educativa como instrumento didáctico alternativo en educación básica. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

Núñez S., P., Hincapié I., R., Gallego Rendón, R. (2013). Metodología para reubicación de transformadores de distribución considerando el sistema de protección. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 20 – 2013, Colombia.

TLV, "¿Qué es una trampa de Vapor?," 2018. [Online]. Available: <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-a-steam-trap.html>. [Accessed: 26-Apr-2018].

A. J. Carro, "Evaporación," 2017. [Online]. Available: [https://es.slideshare.net/arturo\\_jimenez/evaporacin-7471255](https://es.slideshare.net/arturo_jimenez/evaporacin-7471255). [Accessed: 25-Apr-2018].

K. Guzman and E. Cabrera, "Evaporadores de doble efecto," 2016. [Online]. Available: <https://prezi.com/bphrh3ten433/evaporadores-de-doble-efecto/>. [Accessed: 26-Apr-2018].

W. W. Wits and G. J. te Riele, "Modelling and performance of heat pipes with long evaporator sections," *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, vol. 53, no. 11, pp. 3341–3351, 2017.

R. C. Mart, C. Qu, and S. L. Potos, "MÉTODO SIMPLIFICADO," pp. 1–11, 2010.

Sanchez Dams, R. (2013), Estado del arte del desarrollo de sistemas embebidos desde una perspectiva integrada entre el hardware y software. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 - Número 22 – 2013, Colombia.

Sandoval, G., Tobar Molano, J., Mosquera, V., González, J. (2013). Pluviógrafo electrónico con transmisión de datos inalámbrica. Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 - Número – 2013, Colombia.

S. Zambrano, "Evaporadores de doble efecto del laboratorio prototipo de la universidad de Pamplona," Pamplona, 2018.

S. Zambrano, "Evaporador doble efecto Rev2," Pamplona, 2018.