

## **SIMULACIÓN DINÁMICA Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA VAPORIZACIÓN INSTANTÁNEA ADIABÁTICA UTILIZANDO UNISIM DESIGN.**

### **DYNAMIC SIMULATION AND SIZING OF AN ADIABATIC FLASH USING UNISIM DESIGN.**

Moisés Lobatón-Montiel, José Iván Mejía-Juárez, Elsa Hynmar Fernández-Martínez, Brian Manuel González-Contreras\*

Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Calzada Apizaquito S/N, Apizaco, Tlaxcala, 90300, México

\*Email: [brianmanuel.gonzalez@uatx.mx.com](mailto:brianmanuel.gonzalez@uatx.mx.com)

Recibido: 01 de marzo de 2024

Aceptado: 15 de abril de 2024

### **RESUMEN**

La vaporización instantánea tradicional, también conocida como flash, es una etapa de equilibrio simple que se utiliza para separar las fases líquida y vapor de una corriente de alimentación en un tanque separador. En este proceso, la alimentación se vaporiza parcialmente para aumentar la composición de los componentes clave ligeros y pesados. En el ámbito industrial, el flash se utiliza para establecer la condición termodinámica de la corriente de alimentación para procesos de separación como la destilación y en el acondicionamiento del petróleo, eliminando los componentes más volátiles. En este trabajo se llevó a cabo la simulación dinámica de una vaporización instantánea adiabática utilizando una estructura de control tradicional PID multilazo para controlar la composición de uno de los componentes en la corriente de alimentación, la presión y el nivel del tanque flash. Asimismo se dimensionaron las válvulas de las tres corrientes en el sistema, que forman parte de los esquemas de control. El dimensionamiento de válvulas impacta significativamente en la dinámica y desempeño del flash con la finalidad de que exista un control preciso del flujo, estabilidad en el sistema, eficiencia energética, prolongar la vida útil del equipo y una operación segura y confiable.

**Palabras Clave:** flash isotérmico, flash adiabático, simulación dinámica, control, dimensionamiento.

### **ABSTRACT**

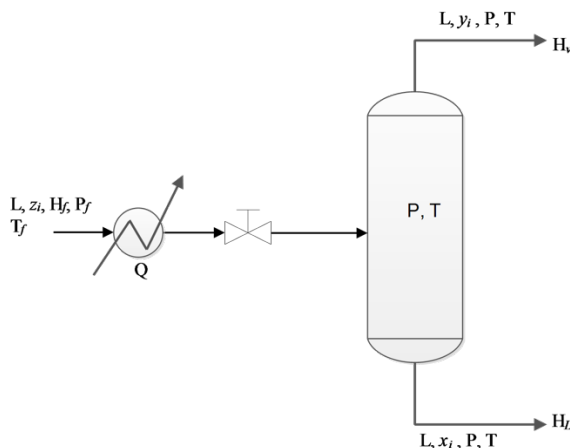
Traditional flash vaporization, also known as flash, is a simple equilibrium step used to separate the liquid and vapor phases of a feed stream in a separator tank. In this process, the feed is partially vaporized to increase the composition of the key light and heavy components. In industry, flash is used to establish the thermodynamic condition of the feed stream for separation processes such as distillation and in oil conditioning, removing the more volatile components. In this work, the dynamic simulation of an instantaneous adiabatic vaporization was carried out using a traditional multi-loop PID control structure to control the composition of one of the components in the feed stream, the pressure, and the flash tank level. The valves of the three streams in the system, which are part of the control schemes, were also sized. Valve sizing has a significant impact on the

dynamics and performance of the flash to provide accurate flow control, system stability, energy efficiency, extended equipment life and safe and reliable operation.

**Keyword:** isothermal flash, adiabatic flash, dynamic simulation, control, sizing.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vaporización instantánea o flash es un proceso en el que un líquido se vaporiza rápidamente a una presión menor que su presión de saturación. Este proceso se utiliza comúnmente en la industria química, petroquímica y de procesos para separar mezclas de líquidos con diferentes puntos de ebullición. La simulación de una vaporización instantánea implica el modelado del equilibrio termodinámico entre el líquido y el vapor en un separador de flash. Los modelos termodinámicos se utilizan para predecir la composición y las propiedades físicas del líquido y el vapor después de la vaporización. La condición termodinámica (fracción de vapor) de una corriente de alimentación se pueden obtener por medio de un cálculo de vaporización instantánea o flash. Existen 8 tipos de flash (Henley y Seader, 1990) en función de las especificaciones de las variables, los más comunes son el isotérmico (Rachford y Rice, 1952), adiabático, no adiabático y el de fracción vaporizada. Los cálculos de una destilación flash son estudiados por los ingenieros químicos en el área de procesos de separación y aplicados en la industria, principalmente en la separación de compuestos en los procesos petroleros. De igual manera, la vaporización instantánea se encuentra dentro de los métodos de solución en los simuladores de procesos. En la Figura 1 se muestra el esquema representativo de una separación flash, en donde una corriente de alimentación calentada y presurizada se somete a una estrangulación mediante una válvula, provocando con esto que la presión de la corriente disminuya por debajo de su presión de saturación causando una vaporización súbita. Como resultado, se hacen presentes dos fases (líquido y vapor), las cuales son divididas en un separador. Por la parte de arriba se obtiene un vapor rico en el componente más volátil, mientras que en el fondo se obtiene el componente pesado con alta composición.



**Figura 1.** Esquema de una vaporización instantánea.

La simulación dinámica de la vaporización instantánea se aplica en múltiples campos, especialmente en la industria química y de procesos. Su uso se destaca por su capacidad de optimizar el rendimiento de la vaporización, reducir costos y mejorar la eficiencia energética. Adicionalmente, la simulación permite predecir con precisión la producción de vapor y la composición de la mezcla

líquida, convirtiéndose en una herramienta fundamental en el diseño y operación de procesos de separación de líquidos. Asimismo es posible realizar un análisis de desempeño, con el cual se pueden detectar problemas predictivos, de diagnóstico/solución de problemas, en sistemas de control, de eliminación de cuellos de botella, entre otros (Melo-González, 2012). El control de una vaporización instantánea implica la regulación de diversas variables como: temperatura, presión, flujo, nivel y relación líquido-vapor, cada una de ellas con diferentes objetivos que están en función de su aplicación con la finalidad de que el flash se produzca de manera eficiente y controlada. Por ejemplo, los controladores de presión se utilizan para mantener la presión en el separador de flash dentro de un rango deseado y evitar condiciones operativas inseguras; los de temperatura ayudan a garantizar la calidad del producto final; los de flujo ayudan a mantener una producción constante y reducir los costos del proceso, mientras que los de nivel previenen la formación de burbujas y garantizar la seguridad del proceso y finalmente los de relación de vapor-líquido mejoran la eficiencia energética y la calidad del producto final.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo de investigación se llevó a cabo la simulación dinámica en UniSim Design y el dimensionamiento de las válvulas de control colocadas en las tres corrientes del taque separador flash con la finalidad de controlar composición en la alimentación, presión y nivel. El caso de estudio fue tomado de Morales-Rodelo (2020), el cual es una mezcla de 4 componentes que contiene la siguiente composición molar: 0.005969 de óxido de propileno (PO), 0.9423 de agua (W), 0.0338 de propilenglicol (PG) y 0.0179 de ácido sulfúrico (SA). El equilibrio Líquido-Vapor de la mezcla se estimó con UNIQUAC con la finalidad de predecir las propiedades termodinámicas adecuadamente. La alimentación al tanque es un líquido saturado con flujo de 35.91 Kmol/h. Asimismo, se consideró el mismo dimensionamiento del tanque que en la literatura, con 0.35 m de diámetro y 1.7 m de altura con la finalidad de manejar un volumen adecuado.

Se inició con la simulación en estado estable, la cual proporciona información sobre el balance de materia y energía en el flash y es la base de la simulación dinámica. Antes de realizar dicha simulación dinámica, es necesario dimensionar las válvulas que integran el control de las variables para llevar a cabo la operación flash; en particular, el dimensionamiento de la válvula de estrangulamiento y las dos válvulas que se encuentran en la salida del tanque flash, para implementar un sistema de lazo de control eficiente. Para dimensionar adecuadamente estas válvulas, es fundamental determinar previamente el diámetro nominal de la tubería del proceso, tomando en cuenta que se manejará una alimentación de líquido saturado, mientras que en el fondo del tanque se sabe que la condición termodinámica es como líquido saturado y en el domo un vapor saturado. Independientemente de las condiciones termodinámicas de las corrientes involucradas, existen otros factores que influyen en la selección del diámetro nominal de la tubería como: el caudal o flujo de fluido, la presión diferencial entre la entrada y la salida de la válvula, velocidad del fluido dentro de la tubería, pérdidas de carga y consultar normas y estándares para garantizar una selección adecuada y segura.

En la industria, durante el proceso de selección de una válvula de control se emplean controladores de posición de la válvula, dispositivo utilizado para controlar y regular la posición del obturador de una válvula. El obturador es la parte de la válvula que regula el flujo de fluido al abrirse o cerrarse. El controlador de posición del obturador se encarga de mover y posicionar el obturador de la válvula en respuesta a señales de control, ya sea de forma manual o automática. La selección y configuración adecuada del controlador de posición del obturador depende del tipo de válvula, el sistema de

control y los requisitos específicos del proceso. La elección correcta del controlador de posición contribuye a un control eficiente y confiable del flujo en las válvulas, lo que resulta en una operación segura y óptima. El dimensionamiento de la válvula en este trabajo se realizó mediante el coeficiente de flujo ( $C_v$ ), el cual implica el caudal que puede pasar a través de la válvula en función de la caída de presión a través de ella. El  $C_v$  se utiliza para caracterizar la capacidad de flujo de una válvula y se expresa en galones por minuto (GPM) y se puede calcular mediante la ecuación (1). Generalmente, el valor de  $C_v$  se determina experimentalmente y se proporciona en las especificaciones del fabricante de la válvula. Cuanto mayor sea el valor de  $C_v$ , mayor será la capacidad de flujo de la válvula. Si el  $C_v$  de la válvula es demasiado pequeño, el caudal será insuficiente y la válvula puede estar restringiendo el flujo. Por otro lado, si el  $C_v$  es demasiado grande, puede haber una caída de presión excesiva en la válvula y se pueden producir pérdidas de carga indeseables.

$$C_v = Q \sqrt{\frac{S}{\Delta P}} \quad (1)$$

donde,  $Q$  es el flujo volumétrico en GPM,  $S$  es la densidad relativa y  $\Delta P$  la caída de presión en el accesorio en Psi. Considerando que la disminución de presión no solo ocurre en el componente específico en cuestión, sino también en todo el sistema, desde las entradas hasta las tuberías y accesorios, se estima una reducción de presión de 1 psi en cada una de las válvulas de control. Sin embargo, en el caso de una restricción en la válvula que cause vaporización, se utiliza una ecuación adicional para calcular el coeficiente de flujo ( $C_v$ ). Para determinar el  $C_v$  en el flujo de gases y vapores a través de una válvula, se deben tener en cuenta otras características además del caudal y la disminución de presión (como se muestra en la ecuación (2)). En este escenario, el valor de  $C_v$  de la válvula de alineación se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{Q}{C_f} \sqrt{\frac{S}{\Delta P}} \quad (2)$$

donde  $C_f$  es el factor de corrección para los coeficientes de flujo en válvulas de control, este tipo de factor es determinado a partir de tablas. El cálculo del coeficiente de flujo ( $C_v$ ) de una válvula es importante para el dimensionamiento adecuado, el control preciso del flujo, la eficiencia energética, el rendimiento del proceso y la seguridad de la válvula. Una vez calculado el  $C_v$ , se determina un tamaño de válvula, utilizando las tablas de  $C_v$  proporcionadas por los fabricantes de válvulas. Estas tablas relacionan los valores de  $C_v$  con los tamaños nominales de las válvulas. Es fundamental considerar que el tamaño nominal de la válvula puede diferir según el estándar aplicado en la región o la industria. Al elegir una válvula, resulta esencial comprobar la compatibilidad del tamaño con los demás elementos del sistema, como las tuberías y los accesorios.

En la simulación dinámica del flash se llevaron a cabo perturbaciones del tipo escalón en la temperatura de alimentación, de 110°C a 120°C, con la finalidad de observar la respuesta en la composición de alimentación para el Propilenglicol, la presión y el nivel de líquido en el tanque y así observar la forma en la que se comporta el controlador en cada caso de estudio.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

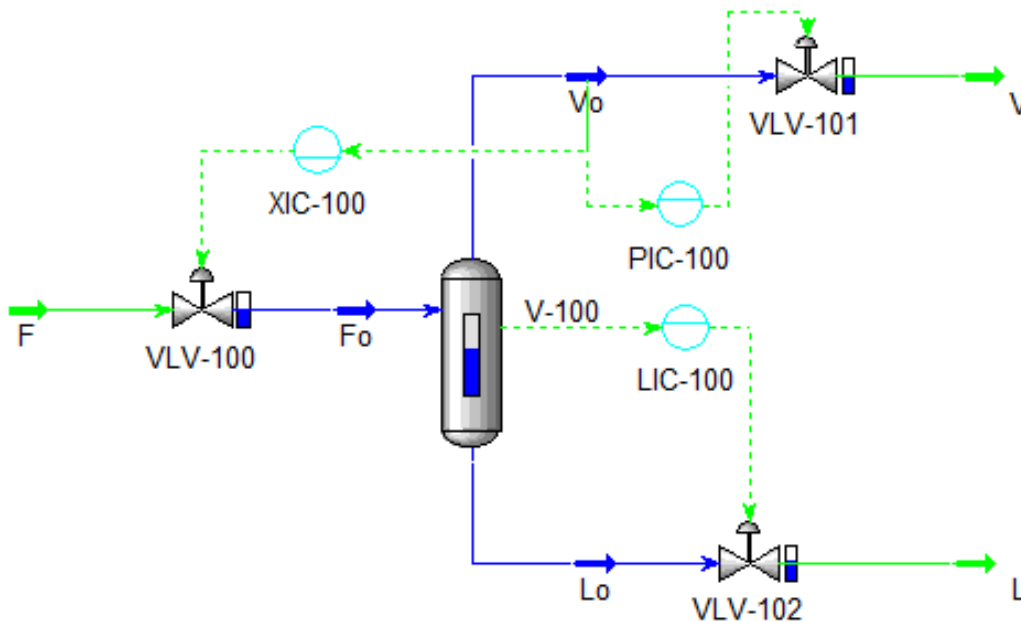
En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para el diámetro nominal de tubería y el tamaño de válvula calculados a partir de la especificaciones de flujo y presión a través de la tubería y de la válvula para cada una de las corrientes involucradas en el flash.

**Tabla 1.** Resultados del dimensionamiento de las válvulas.

Corriente	D tub [in]	$\rho$ [lb/ft <sup>3</sup> ]	$\rho_{rel}$	Q [GPM]	$\Delta P$	Cv [GPM]	Diámetro nominal de la válvula [in]
F	3	24.1693	0.38792	3.30	1	3.6800	0.75
Vo	3	0.0479	0.00077	0.02	1	0.0008	0.25
Lo	3	62.3716	1.00107	3.22	1	3.1700	0.75

El diámetro nominal para tuberías del sistema se considera igual para todo el proceso y las condiciones térmicas de las corrientes en el flash son un vapor y líquido saturado.

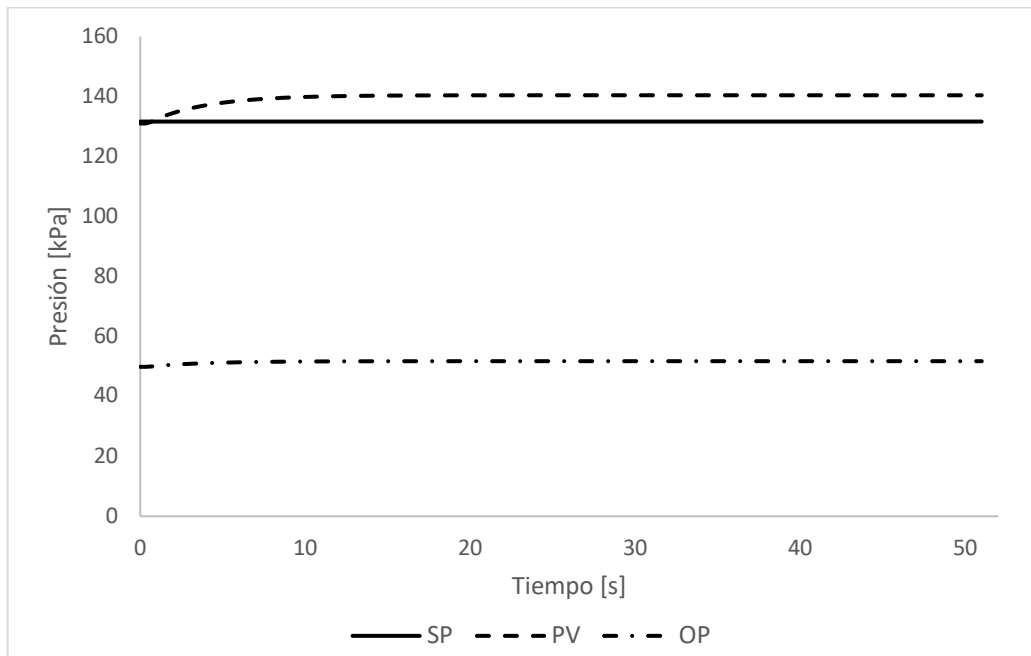
En la Figura 2 se muestra la configuración de un flash dinámico generado en el simulador de procesos UniSim Design. El esquema de control aplicado al caso de estudio fue el Proporcional-Integral-Derivativo (PID), aunque el término derivativo no contribuye debido a que el sistema muestra una respuesta rápida.



**Figura 2.** Simulación dinámica de la vaporización instantánea adiabática.

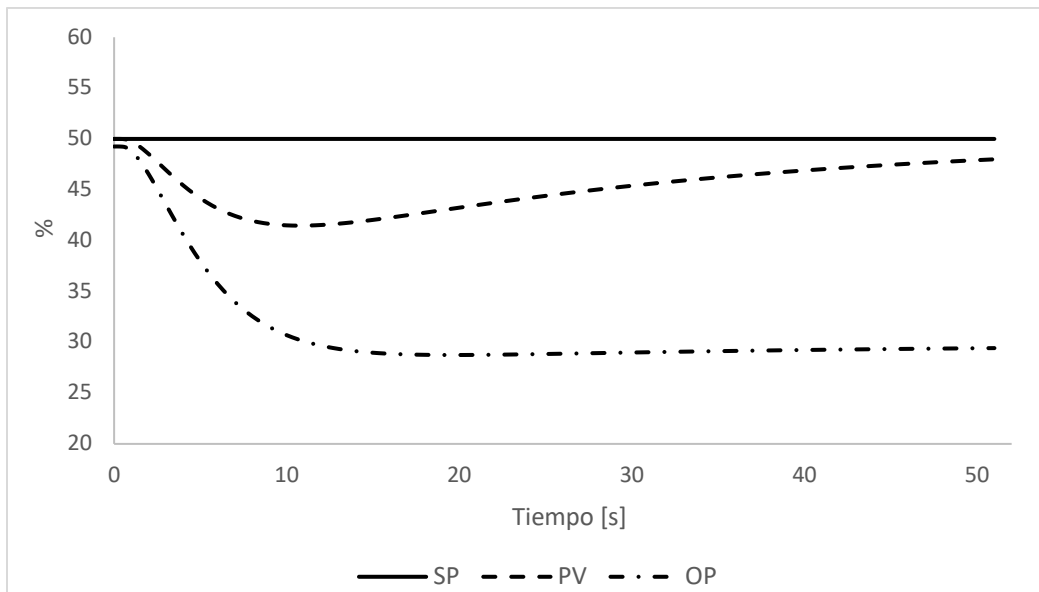
El flash cuenta con tres controladores, uno para la concentración de Propilenglicol en la alimentación (XIC-100), el segundo para mantener el control de la presión en la corriente de vapor (PIC-100) y finalmente el control en el nivel del líquido en el tanque separador (LIC-100).

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la presión, donde la línea discontinua guión-punto representa la apertura de la válvula (OP), la línea discontinua registra el valor actual de la presión (PV) y la línea continua es el set point de la presión del tanque (SP). Cuando se lleva a cabo la perturbación, se observa que la presión se estabiliza alrededor de 5 segundos, debido a que la perturbación que se efectuó fue del tipo escalón, hay un cambio en el valor de la presión, diferente al set point original, por lo que éste último debería modificarse, pero para efectos ilustrativos se matuvo en su valor original.



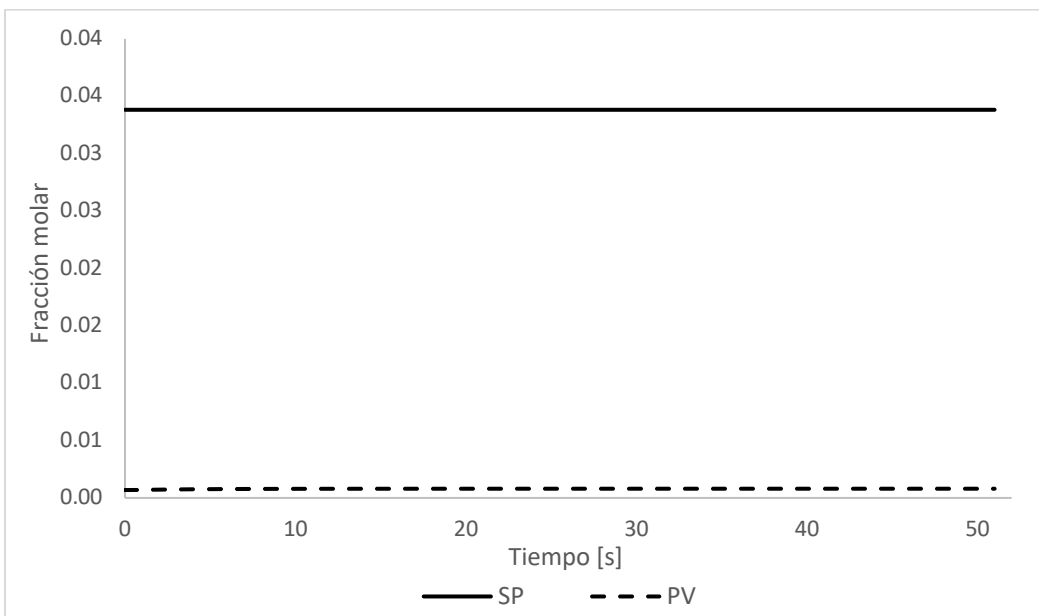
**Figura 3.** Gráfico de respuesta a la perturbación en el control de presión del tanque

De la misma manera que en el controlador de presión, en el controlador de nivel del líquido (Figura 4) del tanque, la línea discontinua guión-punto representa la apertura de la válvula (OP), la línea discontinua muestra el valor actual del nivel (PV) y la línea continua es el set point del nivel del líquido en el tanque (SP). Como puede observarse al nivel del tanque se estabiliza por arriba de los 50 segundos; la perturbación se hizo en la temperatura de alimentación de igual forma que para la presión del tanque separador; y por el comportamiento mostrado del porcentaje en el nivel del líquido en el tanque, este cambio impacta significativamente, aunque el control responde adecuadamente.



**Figura 4.** Gráfico de respuesta a la perturbación en el control de nivel

El objetivo de XIC-100 es minimizar la composición de Propilenglicol en la corriente de vapor, la línea discontinua representa la fracción molar actual de Propilenglicol (PV) y la línea continua es el set point (SP). Se observa que no existen cambios en la composición del Propilenglicol, pero al igual que en las otras dos variables a controlar, la perturbación en la alimentación, modifica la variable de proceso con respecto al set point y esto es lógico.



**Figura 5.** Gráfico de respuesta a la perturbación en el control de nivel.

### 3. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se llevó a cabo la simulación dinámica y el dimensionamiento de las válvulas de control de un flash adiabático con la finalidad de llevar a cabo un análisis de desempeño en el control de la composición de Propilenglicol en la alimentación, en la presión del tanque y en

el nivel del líquido, provocado por perturbaciones en la temperatura de alimentación (de 110°C a 120°C). Se observó que en el nivel del tanque es donde se presentan cambios más significativos, seguidos por los cambios en la presión y no se registraron cambios en la composición del Propilenglicol. Mencionar que la estabilidad en el nivel del líquido y en la presión del tanque es rápida, lo que infiere que el esquema de control aplicado es adecuado. Se emplearán otras estrategias de control con la finalidad de llevar a cabo metodologías en la detección y diagnóstico de fallas que se puedan presentar en el flash. El diseño de las válvulas en la simulación dinámica de cualquier sistema de procesos, que para este estudio se considero el flash, es relevante en diversos factores como el control de flujo adecuado, mejorar la eficiencia energética, garantizar la seguridad operativa, proteger el equipo y cumplir con los estándares normativos. Un enfoque cuidadoso y técnico en el dimensionamiento de las válvulas es fundamental para el éxito y la eficacia de los procesos industriales.

#### **AGRADECIMIENTOS**

El primer autor de este trabajo, Moisés Lobatón-Montiel agradece la beca económica brindada por la Universidad Autónoma de Tlaxcala, a través del la Secretaría de Investigación, como asistente del investigador Brian Manuel González Contreras, mismo que se encuentra en el Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT, y agradecerle por la dirección y asesoramiento para desarrollar este trabajo de investigación. Asimismo agradecer a la Dra. Elsa Hynmar Fernández Martínez por su colaboración en el desarrollo y la revisión de este artículo.

#### **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

#### **REFERENCIAS**

Henley, E. J., Seader, J. D., (1981). Equilibrium-Stage Separation Operations in Chemical Engineering, EUA. John Wiley & Sons.

Melo-González, R., López-Sánchez, C., Camacho-Gamboa, C.; Esparza-Lagunes, A.; Villa Domínguez, R. (2012). Simulación dinámica de sistemas, una herramienta para el análisis del desempeño de sistemas y procesos en la industria petrolera: Metodología y resultados. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27 (1), 49-62, recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48224413007>.

Morales-Rodelo, K., Álvarez, H. D., (2020). Determination and use of feasible operation region in flash distillation control, *Revista Facultad de Ingeniería*, Universidad de Antioquia, 95, 53-63. doi.org/10.17533/.

Rachford, H. H.; Rice, J. D., (1952). "Procedure for use of Electronic Digital Computers in Calculating Flash Vaporization Hydrocarbon Equilibrium", *Petroleum Transactions AIME*, 195, 327-328, recuperado de <http://www.ipt.ntnu.no/~curtis/courses/PVT-Flow/2018-TPG4145/Handouts/SPE952327-Flash-Rachford-Rice.pdf>.

Walas, S. M., (1988). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. USA. Butterworth-Heineman.