

Redesign of the base soap control and distribution system in a cleaning products manufacturing company

Ángel A. López C.^{a,*} , Lissette A. Hornebo A.^a 

^a Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela

Departamento de Térmica y Energética. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Abstract. - The use of rheological fluids in piping distribution systems is a common practice in the industry, however, to achieve good performance it is necessary to study the rheological behavior of the fluid. This allows designing components and optimizing the piping system and improves requirements of the pumping system. The purpose of this study was the analysis of the current system of distribution and control of base soap in a manufacturing company of cleaning products, and to propose improvements that allow optimizing the transport and thermal analysis of the flow. The main objectives were the design of a better pipe distribution system that allowed flexibility when transferring the soap and a control in the heating system for a more flexible transfer of soap and an adequate control of the heating system to maintain storage temperatures and operation defined by the process. The study focused on a plant that produces panela soap, with 5 formulation lines. The methodology used consisted of presenting a proposal for the most orderly pipe distribution system and validating the pumping equipment installed in the plant. By means of a computational tool for the simulation of the heating flow of the storage tanks, the operation and the parameters used in the steam were validated to carry out a desirable heat transfer, likewise, a closed temperature control loop is proposed for a good control of the critical variable of the process.

Keywords: Soap base, pipeline, rheological properties, temperature, non-Newtonian

Rediseño del sistema de distribución y control de jabón base, en una empresa fabricante de productos de limpieza

Resumen.- El uso de fluidos reológicos en sistemas de distribución de tuberías es una práctica común en la industria, sin embargo, para lograr un buen rendimiento es necesario estudiar el comportamiento reológico del fluido. Esto permite diseñar componentes y optimizar el sistema de tuberías, y mejora los requerimientos del sistema de bombeo. El propósito de este estudio fue el análisis del sistema actual de distribución y control de jabón base en una empresa fabricante de productos de limpieza, y proponer mejoras que permitan optimizar el transporte y análisis térmico del flujo. Los objetivos principales fueron el diseño de un mejor sistema de distribución de tuberías que permitieran flexibilidad al transferir el jabón y un control en el sistema de calentamiento para una transferencia de jabón más flexible y un control adecuado del sistema de calentamiento para mantener las temperaturas de almacenamiento y operación definidas por el proceso. El estudio se enfocó en una planta que elabora jabón panela, con 5 líneas de formulación. La metodología empleada consistió en presentar una propuesta del sistema de distribución de tuberías más ordenado y validar los equipos de bombeo instalados en la planta. Mediante una herramienta computacional para la simulación del flujo de calentamiento de los tanques de almacenamiento se validó el funcionamiento y los parámetros utilizados en el vapor para realizar una transferencia de calor deseable, así mismo, se propone un lazo de control de temperatura cerrado para un buen control de la variable crítica del proceso.

Palabras clave: jabón base, tubería, propiedades reológicas, temperatura, no-newtoniano.

1. Introducción

Se hace necesario para las empresas poseer una distribución en planta eficiente. En un proceso productivo se desarrollan diversas actividades que permiten alcanzar las metas de producción programadas, es por esto que se genera la necesidad de tener espacios destinados a su desarrollo

distribuidos de forma funcional. En la elaboración de productos de calidad y a bajo costo, se requiere generar un sistema de producción ordenado, para lo cual se hace necesario la integración de la maquinaria con la distribución en planta, establecer departamentos, estaciones de trabajos, áreas de almacenamiento y otras áreas comunes para buscar una producción eficiente. [1]

En este sentido Ramírez, et al. [2] estudia la importancia para una empresa de poseer una distribución en planta de las diferentes áreas que

* Autor para correspondencia:

Correo-e: lhornebo@uc.edu.ve; prof.lhornebo@gmail.com

involucran el funcionamiento de esta. En función de las características del producto a fabricar, se establecen procesos para obtener un producto final. Dentro de la distribución en planta de una empresa química se requiere establecer de forma eficiente una red de distribución de tuberías organizada y versátil para el transporte de sus productos, materias primas, etc.

Alcanzar las metas de producción es una tarea donde se realiza la interacción conjunta de factores como la persona, el material y la maquinaria en un sistema ordenado que permite maximizar los beneficios. Dentro de los procesos productivos se incluye la distribución a través de tuberías y de equipos de la materia prima. Esto tiene una gran importancia en cuanto incide directamente en la eficiencia del proceso y finalmente en los costos de producción del producto final.

En busca de obtener una distribución eficiente es necesario conocer los elementos y particularidades de cada factor en la producción, como esta ordenado, sus procedimientos y técnicas que lo afecten, y así diseñar un sistema de distribución de tuberías de la materia prima por las diferentes fases y obtener el producto final.

En una empresa fabricante de productos de limpieza se elabora jabón panela, el cual se obtiene mediante la reacción de un ácido o materia grasas con una sustancia alcalina, esta reacción se conoce como saponificación, el cual según Abidi, et al. [3], es un proceso químico mediante el cual se produce jabón a partir de grasas o aceites y una solución alcalina, como hidróxido de sodio (soda cáustica) o hidróxido de potasio (potasa cáustica). Las mezclas saponificadas para obtener jabón base, pueden considerarse complejas debido a que no son sustancias puras.

El jabón base puede ser catalogado como un fluido reológico, en función a la consistencia fluida y viscosa que a simple vista se puede observar. Las propiedades reológicas juegan un papel importante en el diseño, evaluación y simulación de procesos, en función de los estudios realizados por Alvis, et al. [4]. Para el cálculo del transporte de fluidos, se requiere realizar estudios donde se involucran datos reológicos de un producto que son usados como

indicadores de calidad, por ejemplo, en sistemas de bombeo, mezclado, extracción, etc. En procesos industriales se hace necesario realizar mantenimiento a los equipos, para lo cual se requiere determinar la naturaleza y los principales parámetros reológicos de los productos manejados, para de esta forma generar un costo menor y reducir los tiempos de inactividad debido al abordaje de los equipos.

En los fluidos no Newtonianos la viscosidad varía en función de la velocidad de corte o la fuerza aplicada. La reología estudia el comportamiento de estos fluidos y cómo responden a diferentes condiciones. La temperatura también desempeña un papel crucial en la viscosidad de los fluidos no newtonianos, ya que a medida que se incrementa la temperatura, la viscosidad puede disminuir o aumentar dependiendo de la composición y las interacciones moleculares presentes en el fluido. Esto se debe a que los cambios de temperatura pueden afectar la estructura y la movilidad de las moléculas, lo que a su vez influye en la resistencia al flujo del fluido.

Movilizar un fluido viscoso a través de redes de tuberías, utilizando equipos de bombeo y su almacenamiento en tanques requiere de un estudio mayor debido a su comportamiento cuando existen variaciones de temperatura, que afectan de forma directa al fluido y tienen una incidencia significativa en los procesos productivos de la empresa, en su investigación Hernández, et al. [5], estudia la influencia de los parámetros reológicos en el sistema de bombeo y la movilización del fluido tomando en cuenta la temperatura de operación.

La planta en estudio cuenta con 5 líneas de formulación para la producción de jabón panela, cada línea posee un tanque de almacenamiento de 5 m³ (3 líneas) y de 3 m³ aproximadamente (2 líneas), estos tanques reciben jabón base de los tanques de servicio de 70 m³, y estos a su vez se alimentan de los tanques de almacenamiento de producto en proceso de la planta de saponificación con capacidad de 142 m³. En la figura 1, se describe el diagrama de bloques del proceso.

una empresa fabricante de productos de limpieza, con la intención de proponer un rediseño que proporcione una mejor distribución del jabón base y así el proceso sea más eficiente logrando reutilizar el producto fuera de especificación, minimizando los tiempos de parada de la producción.

2. Metodología

A través de la metodología se definieron pautas lógicas para desarrollar y coordinar las etapas destinadas a la consecución de los objetivos planteados en el trabajo de investigación, estas etapas se detallan a continuación:

Etapa 1: funcionamiento actual del sistema de transferencias y calentamiento de jabón.

Se realizará en la planta, iniciando con la búsqueda de los datos del funcionamiento real del sistema de transferencias de jabón base, abarcando datos de fluido, tuberías, accesorios y equipos de bombeo, sistema de calentamiento de los tanques; para tomar los datos de las variables críticas y los parámetros de los sistemas. Es necesario caracterizar el fluido, realizando estudios reológicos, efectuando un análisis de la estabilidad del fluido (la mezcla debe estar en un estado mínimo de fluidez) para así obtener la viscosidad aparente, a través de un viscosímetro Brookfield.

Etapa 2: dimensionamiento de la tubería.

Se realiza el cálculo del diámetro de las tuberías de transferencia, tomando como criterio la selección las velocidades recomendadas, partiendo de los valores de caudal y de los valores de velocidad para flujos viscosos. Según referencias la velocidad del líquido puede ser de 0,6096 a 2,4384 m/s (2 a 8 ft/s) y de 0,1524 a 1,2192 m/s (0,5 a 4 ft/s) con líquidos viscosos. Una vez que se ha determinado el diámetro recomendado para la aplicación, se procede a calcular el espesor de tubería para definir que cédula (Schedule) según el código ASME B31.3 para tuberías.

Etapa 3: comprobación de los valores operacionales de los equipos de bombeo.

El control del vapor en este sistema de calentamiento es fundamental, es la fuente de calor, por eso es primordial establecer un buen

En planta se encuentran instaladas bombas de desplazamiento positivo de engranajes internos, que son equipos para el transporte de fluidos viscosos, y ofrecen un fácil mantenimiento, característica importante ya que el jabón se solidifica a una temperatura por debajo de 40 °C. Se revisan los nuevos valores de caudal y presión que arrojaron los cambios en el sistema de distribución de tuberías para convalidar si los equipos instalados cumplen con las exigencias del sistema o requieren algún cambio.

Etapa 4: evaluación del sistema de calentamiento de los tanques.

Los tanques instalados poseen un sistema de calentamiento que actualmente no tiene instrumentos que midan la temperatura y que emitan señales que permiten el monitoreo de la viscosidad del jabón base, es necesario evaluar cada tanque para automatizar ese parámetro que es vital en el manejo del fluido por tuberías.

Etapa 5: simular el sistema de calentamiento.

Se procede a simular el sistema de calentamiento, obteniendo los datos arrojados por la simulación se puede realizar la validación de distintos caracteres del sistema, como los son; el material utilizado tanto en los serpentines como en el tanque, el valor de las variables establecidas para el control, la transferencia de calor óptima. Así, de manera científica se puede garantizar un mejor diagnóstico del sistema utilizado.

Etapa 6: diseño del arreglo de tuberías para la optimización del proceso de transferencia de jabón base.

En esta etapa se obtiene la mejor solución para tener un arreglo de tuberías con una mayor cantidad de opciones a la hora de transferir el jabón base. Se plantean dos propuestas para ser evaluadas y definir la mejor.

Etapa 7: evaluación del diagrama correcto para el control automático del sistema de calentamiento.

diagrama de control que permita mantener variables críticas para el calentamiento en el proceso.

3. Resultados y discusión

Iniciando el estudio del fluido, para determinar su viscosidad es necesario determinar la estabilidad del jabón base, el procedimiento consiste en realizar la mezcla de agua en porcentajes referidos al jabón, Se hicieron los ensayos con los siguientes porcentajes 30%, 40, 50% y 60% de agua agregada y relaciones de 1:3 y 1. Obteniéndose como resultado que la estabilidad se produce en proporciones de 1:1.5 como mínimo hasta 1:2.5. Para obtener la viscosidad aparente se selecciona una muestra de jabón base, y se estudia a relaciones de 1:1.5, 1:1.75, 1:2, 1:2.25 y 1:2.5.

Con las proporciones definidas se procedió a obtener de forma experimental utilizando el viscosímetro Brookfield, la viscosidad a unas temperaturas de 65 °C, 70 °C y 75 °C, valores definidos por la importancia en el proceso productivo en la planta. Por ser un fluido no-Newtoniano, el comportamiento de la viscosidad no es lineal, por lo que se requiere obtener la ecuación de la curva que rige el comportamiento a los valores de temperaturas y proporciones definidas.

Analizando las curvas obtenidas se observó que a una temperatura de 65 °C el comportamiento es más uniforme, debido a que a ese valor de temperatura la pérdida de agua producto de la evaporación es menor. Es por esto, que se define ese parámetro de temperatura y se analizan las proporciones, obteniendo como resultado un valor de viscosidad de 42,437 Pa.s, para concentración de 1:0.06, o una proporción de 70 % jabón y 30% agua, valor que obtuvo el menor porcentaje de agua para la mezcla. En la figura 2 se observa la curva de comportamiento de la viscosidad a una temperatura de 65 °C, donde por se obtuvo por aproximación la ecuación que rige la curva.

Otro parámetro de importancia en la caracterización del fluido es su densidad; la cual se obtuvo de forma experimental, los valores se muestran en la figura 3.

Los datos que se muestran en la tabla 1, son muestras de jabón sin tomar en cuenta el porcentaje de humedad presente en el jabón. (El jabón suministrado por la empresa tiene un 24% de humedad).

Tabla 1. Tabla resumen del pesaje de las muestras

Pesaje de la muestra según su proporción de jabón - agua.			
Proporción J-A.	Peso de Jabón (g)	Peso de Agua (g)	Relación %
1:1.5	80	120	30,4 % J - 69,6 % A
1:1.75	72,72	127,28	27,63% J - 72,37 % A
1:2	66,66	133,34	25,33 % J - 74,67 % A
1:2.25	61,6	138,4	23,4 % J - 76,6 % A
1:2.5	57,12	142,88	21,7 % J - 78,3 % A

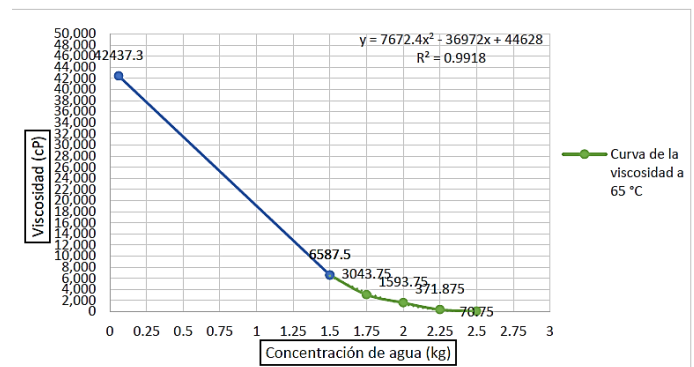


Figura 2. Gráfica viscosidad vs. Concentración de agua a 65 °C, con la viscosidad del proceso

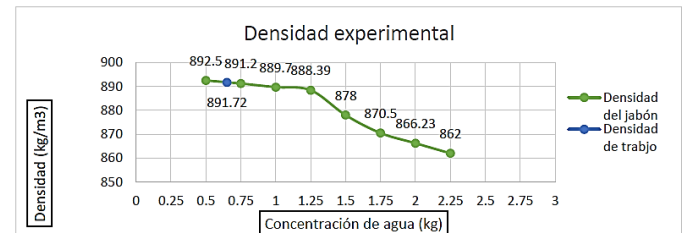


Figura 3. Gráfica de la densidad experimental a 65

Todo proceso de producción en una planta donde se manejan fluidos requiere de un sistema de distribución de tuberías, la selección se realiza basado en el fluido a transportar, un parámetro de gran importancia es la velocidad de flujo. Existen ecuaciones que permiten calcular ese valor y realizar una selección eficiente del diámetro comercial de la tubería. Para el proceso de elaboración de jabón base, se requiere transportar el fluido entre tanques de almacenamiento, formulación y servicio; el tiempo de llenado de

estos es un factor de importancia al momento de seleccionar entre varios valores de diámetros comercial de tubería que cumplan con las velocidades permitidas. Como resultado de este estudio se seleccionó una tubería cédula 40, diámetro interno de tubería de 0,1023m (4,026 in), y un espesor de 0,00602 m.

Otro aspecto importante en un sistema de transporte de fluido es la selección del equipo de bombeo, conocido las características de los procesos (Caudal y altura), se seleccionan bombas de desplazamiento positivo, equipos recomendados para manejo de flujos viscosos. En la Tabla 2, se muestra las características de los equipos seleccionados, marca VIKING PUMP.

Tabla de resultados de las curvas de selección de los equipos de bombeo.			
Modelo	Presión kPa (Psig)	Potencia motor kW (hp)	Caudal m ³ /s (gpm)
M125	689,47 (100)	14,914 (20)	8,201*10 ⁻³ (130)
M225	689,47 (100)	14,914 (20)	8,201*10 ⁻³ (130)

Tabla 2. Equipos de bombeo seleccionados.

Las normas y códigos utilizado para la selección, cálculos y dimensionamiento de los equipos son: tuberías y accesorios para utilización de vapor debe cumplir con la norma ASTM A-106, material de Grado II, con cédulas (Schedule) 40 y 80, para diámetros menores de 0,0508 m (2 pulg) cédula (Schedule) 80 y para diámetros mayores de 0,0508 m (2 pulg) cédula (Schedule) 40, código ASME B31.5. Actualmente la tubería del sistema de calentamiento parte de un diámetro de 0,0508 m (2 pulg) y hasta 0,0254 m (1 pulg) y ambas son de cedula (Schedule) 80 cumpliendo con la norma. Para componentes de tuberías de acero al carbono o piezas forjadas, se debe seguir la norma ASTM A 105, código ASME B31.5.

La herramienta informática CFD permite predecir el comportamiento de un fluido, cuando se definen unas determinadas condiciones. Los parámetros que influyen son el movimiento, velocidad, presión y transferencia de calor, entre otros. Para realizar una simulación del tipo CFD, la geometría del objeto en cuestión es muy importante y fundamental para poseer bien claro cuáles serán las fronteras que predominarán en la simulación. Se trabajó con el tipo de simulación CFD “volúmenes finitos”, el cual consiste en dividir el

fluido a estudiar en bloques pequeños y simular el comportamiento en los vértices de cada uno.

En el presente trabajo se simuló el sistema de calentamiento de unos tanques de 142 m³ y de 70 m³, de forma cilíndrica en su extensión, el cual está rodeado por 4 serpentines en la zona cilíndrica y otro en la zona inferior donde calienta de forma uniforme. Aparte se la impreso dos circunferencias en la parte superior haciendo las veces de la boquilla para respiradero del tanque y la escotilla de visualización, ambas permiten tener al producto en contacto con la atmosfera. En la figura 4 se puede ver el modelado del tanque 142 m³, con 7,02 m de altura y un diámetro de 5 m.

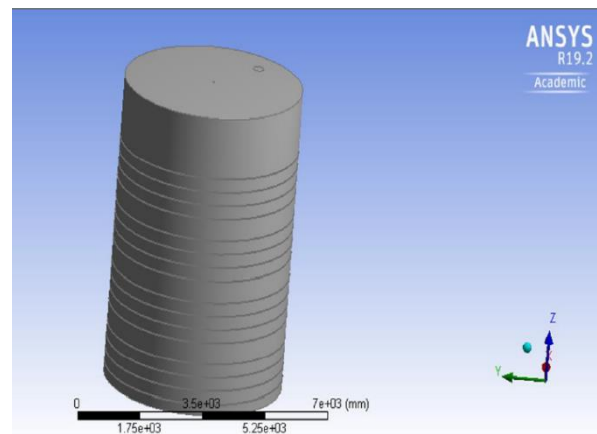


Figura 4. Tanque de 412 m³, realizado en el CAD de ANSYS, Design Modeler

Al definir la geometría se procede a realizar el mallado, en este caso se utilizó un tamaño del elemento de malla de 0,1 m, y se realizó un “*patch conforming method*” y un “*inflation*”, arrojando un valor de 131 425 nodos y 511 997 elementos, como se muestra en la figura 5.

Se realiza la simulación en régimen permanente, para validar que con las condiciones encontradas en planta se llega al rango de temperatura de operación de 60 °C a 90 °C. Se definen las condiciones fronteras, los materiales agregados, tipo de simulación en régimen permanente (*steady*) o transitorio (*transient*), entre otros. Se inicia agregando el material jabón (*soap*) con una condición, se tomaron los valores de 0,95 W/m °C para la conductividad térmica y 7002 J/kg °C para el calor específico.

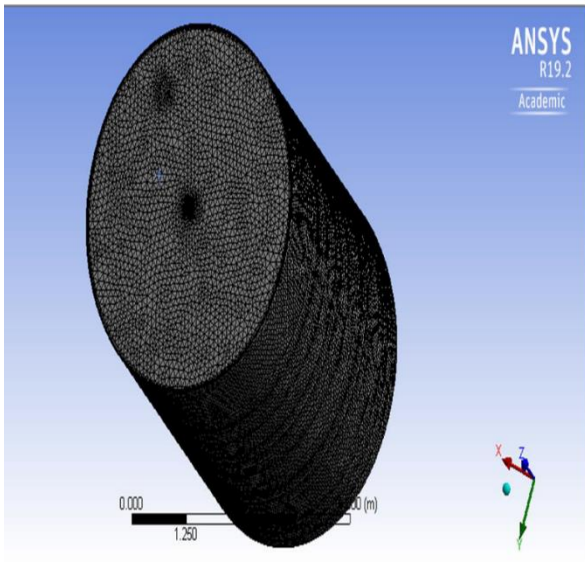


Figura 5. Mallado del tanque de 142 m³

Con estos parámetros de obtiene en la simulación un valor de temperatura de 65,145 °C, como se puede ver en la figura 6.

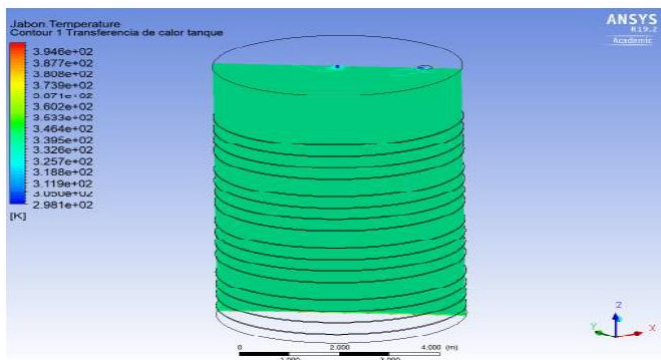


Figura 6. Resultados de la simulación presentado en el CFX-Post

A través de la simulación realizada se verifica que con la condición del sistema de calentamiento con vapor a la condición mínima de Vapor saturado a los 620.528 Pa (90 Psi) es suficiente para llevar al jabón dentro de los tanques a la temperatura de operación de 65,145 °C.

Caracterizado el fluido, definido el diámetro comercial de tubería y obtenido el valor de temperatura de operación mediante la simulación, se procede a estudiar las propuestas para el mejorar el proceso de movilización del jabón base y permitir su uso de manera más flexible al momento de transportarlo entre los equipos estáticos del

patio de tanques y líneas de producción, permitiendo la comunicación entre los tanques del proceso, formulación y almacenamiento.

Se estudiaron dos propuestas, estableciendo sistemas de tuberías donde exista una mayor cantidad de opciones de entrega del fluido. Utilizando un sistema de ponderaciones donde se evaluaba los procesos de recirculación, reproceso, almacenamiento y proceso estandarizado se definió la propuesta a utilizar. En la figura 7 se muestra el diagrama de tuberías e instrumentación con las adecuaciones de la propuesta.

Es indispensable contar con el control del sistema de funcione con un diagrama lógico que permita mantener un rango de temperatura, debido a que el flujo de vapor no mantiene sus propiedades constantes, debido a un flujo volumétrico variable por la formación y arrastre de condensado durante su recorrido por la tubería y a que se tienen válvulas on - off. el sistema de control deberá tener un rango de temperaturas para mantener así un calentamiento entre comillas constante, a través de dos puntos de consigna (Set Point), uno para abrir y otro para cerrar el paso de vapor a través de la tubería de los serpentines. Como este sistema de control debe revisar y comparar constantemente los valores de temperatura dentro del tanque, se trata de un control de lazo cerrado. En la figura 8 se muestra un diagrama de bloque alusivo al lazo cerrado según el diagrama lógico en escalera, utilizado por ser fácil su comprensión por parte del equipo que se encarga de la automatización en la empresa, el mismo fue diseñado en la programación en el PLC seleccionado. El PLC en cuestión es marca AEG, modelo 984-A145 y tiene suficiente memoria, a parte en el tablero que lo contiene posee suficiente espacio en los racks para colocar las 10 entradas analógicas que hacen conexión a las PT100 de 20 mA, utilizadas para registrar los valores de temperatura de los tanques.

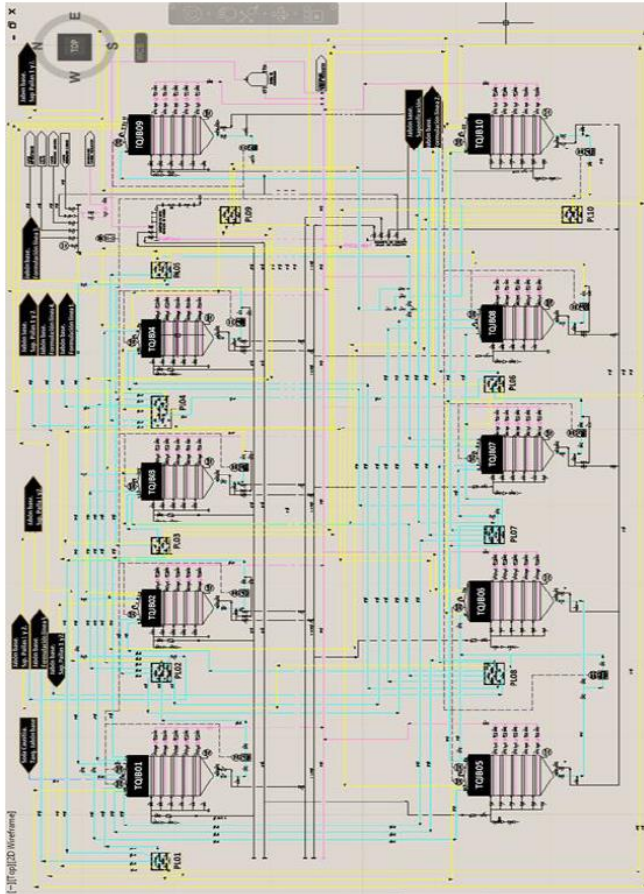


Figura 7. Diagrama de tuberías e instrumentación con las adecuaciones de la propuesta seleccionada

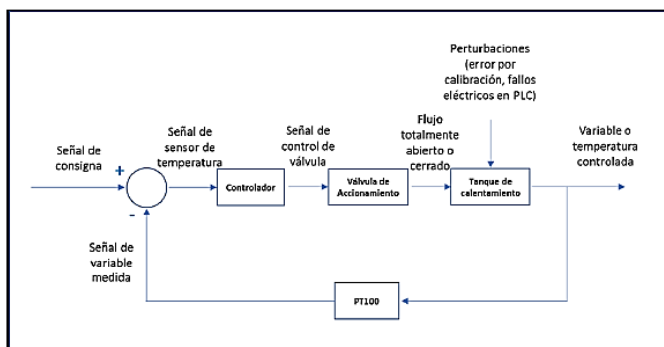


Figura 8. Diagrama de bloques del lazo cerrado de control del sistema de calentamiento

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se desprende lo siguiente:

El arreglo de tubería seleccionado permite la versatilidad del sistema. Se obtiene una distribución más ordenada entre los tanques de

distinta capacidad, estandarizando los tanques de volumen 70 m^3 para uso exclusivo de almacenamiento y distribución a las líneas de formulación. Los tanques de capacidad 142 m^3 se utilizarán para el almacenamiento prolongado del producto saponificado y para la distribución a los tanques de servicio.

El comportamiento reológico del Jabón base es del tipo no Newtoniano y se asemeja a los fluidos que siguen el comportamiento de la ecuación de la ley de potencia de viscosidad.

El equipo de bombeo seleccionado para el manejo del jabón base (fluido no Newtoniano), es una bomba de desplazamiento positivo, de engranajes internos, marca VIKING PUMP, modelo M-125 o modelo M-225, que satisfacen los requerimientos de presión del sistema.

El diseño e instalación de conexiones de tuberías de placa (Omega) de mayor interrelación entre las tuberías mejorará la transferencia de jabón base, generando mayores beneficios económicos a la empresa, al minimizar el desecho de material y utilizándolo en otros procesos.

Los dispositivos del sistema de calentamiento funcionan y cumplen con lo que exige el código ASME B31.5 para tuberías de refrigeración y componentes de transferencia de calor.

El sistema de control de temperatura debe ser por medio de un lazo cerrado, de esa manera garantiza un seguimiento más confiable de la variable crítica del proceso (Temperatura).

El simulador de flujo arrojó valores de temperatura de $65\text{-}145 \text{ }^\circ\text{C}$ que se encuentran dentro de los rangos de operación en planta ($60 \text{ }^\circ\text{C} - 90 \text{ }^\circ\text{C}$), lo que confirma que el diseño utilizado actualmente es funcional.

5. Referencias

[1] A. López, “Rediseño del sistema de distribución y control de Jabón Base, en una empresa fabricante de productos de limpieza,” Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2019.

- [2] E. Ramirez Draga, V. Chud Pantoja y J. Orejuela Cabrera, “Propuesta metodológica multicriterio para la distribución semicontinua de plantas,” *Suma de Negocios*, Colombia, vol 10, no. 23, pp 132-145. 2019, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=609964312006>
- [3] L. Abidi, F. Amiard, N. Delorme, S. Ouhebia y A. Gibaud, “Using saponified olive oil to make cost effective calcium carbonate particles superhydrophobic,” *Advanced Powder Technology Japan*, vol 33, no. 2, pp 103399. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.appt.2021.103399>
- [4] A. Alvis, E. Hernández y C. García-Mogollón, “Técnicas de análisis de viscosidad en Cátup,” *Interciencias*, Venezuela, vol 41, no. 10, pp 709-712. 2016, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33947690010>
- [5] G. Hernández, A. Legrá-Lobaina, L. Rojas, B. Ramírez-Serrano y A. Mariño, “Modelos matemáticos de parámetros reológicos y su influencia en el sistema de bombeo de fluidos no Newtonianos,” *Revista Colombiana de Química*, Colombia, vol 47, no. 3, 2018, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309057412007>
- [6] F. Toapanta, C. Andrade, E. davalos, S. Landázuri y W. Quitiaquez, “Análisis térmico de un disipador de calor con tubos de calor para procesadores de alto rendimiento,” *Enfoque UTE*, Ecuador, vol 10, no. 2, pp 39-51 2019, <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n2.469>
- [7] ASME B31.3, “Tubería de procesos”, Edición de 2010, New York – Estados Unidos. 2010
- [8] COVENIN 2218-84, Norma Venezolana, Generadores de vapor en servicio – inspección, 1984. <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2218-84.pdf>
- [9] Ansys CFX Release 11.0, ANSYS-CFX Solver Theory Guide, 2007.