

Propuesta de destiladora de pulque para la obtención de alcohol etílico

Proposal for a pulque distiller to obtain ethyl alcohol

Ricardo Clemente-Gómez ^a, Jesús Lara-Lara ^b, Octaviano López-Ramos ^c

Abstract:

The objective of this work is the design and manufacture of a pulque distiller to obtain ethyl alcohol, applying conventional manufacturing methods, which begins with 3D modeling through SolidWorks software. The selection of materials is carried out that facilitate the correct heat transfer and that comply with food regulations, the manufacturing process of the structure is carried out through the electric arc welding process, the copper pipe was joined by applying tin solder. A characteristic of the distillation processes is the control of the temperature inside the distillation tower, the device has a control system that allows monitoring and controls the temperature within the pulque distillation process. The proposed design, the selection of materials and the control system were adequate, allowing a good quality product to be obtained at a rate of 2.5 liters of ethanol (final product) per 30 liters of fermented pulque (raw material).

Keywords:

Design, manufacturing, Distillery, Pulque, Alcohol, Ethanol

Resumen:

El objetivo de ese trabajo tiene como propósito el diseño y fabricación de una destiladora de pulque para la obtención de alcohol etílico, aplicando métodos de manufactura convencional, en la cual se inicia con el modelado en 3D a través del software SolidWorks. Se realiza la selección de materiales que faciliten la correcta transferencia de calor y que cumplan la normativa alimenticia, el proceso de fabricación de la estructura se realiza a través del proceso de soldadura por arco eléctrico, la tubería de cobre se unió aplicando soldadura de estaño, una característica de los procesos de destilación es el control de la temperatura dentro del interior de la torre de destilación, el dispositivo cuenta con un sistema de control que permite monitorear y controla la temperatura dentro del proceso de destilación de pulque. El diseño propuesto, la selección de materiales y el sistema de control fue la adecuada, lo cual permite obtener un producto de buena calidad a razón de 2.5 litros de etanol (producto final) por 30 litros de pulque fermentado (materia prima).

Palabras Clave:

Diseño, fabricación, Destiladora, Pulque, Alcohol, Etanol

Introducción

La destilación fraccionada es una operación química cuya finalidad es separar mezclas líquidas de sustancias, para ello, se modifica la fase de una fracción de la mezcla suministrando energía en forma de calor, la fracción de

mezcla es vaporizada como consecuencia del proceso, pero también de las diferentes propiedades físico-químicas de las sustancias, se produce una desigual distribución de la composición de las sustancias en las fases. Este procedimiento es conocido desde la antigüedad y utilizado artesanalmente en la actualidad

^a Autor de Correspondencia, Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, <https://orcid.org/0009-0007-4171-1262>, Email: 2019150480180@tesjo.edu.mx

^b Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, <https://orcid.org/0009-0005-2290-9367>, Email: 2019150480550@tesjo.edu.mx

^c Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, <https://orcid.org/0000-0002-1958-4005>, Email: octavio.lopez@tesjo.edu.mx

(Susial, 2011). La técnica de destilación consiste en calentar la mezcla hasta que ésta entra en ebullición. A medida que la mezcla se calienta, la temperatura aumenta hasta que alcanza la temperatura de la sustancia con punto de ebullición más bajo mientras que los otros componentes de la mezcla permanecen en su estado original. A continuación, los vapores se dirigen hacia un condensador que los enfría y los pasa a estado líquido. El líquido destilado tendrá la misma composición que los vapores y; por lo tanto, con esta sencilla operación habremos conseguido enriquecer el líquido destilado en el componente más volátil (el de menor punto de ebullición). Por consiguiente, la mezcla sin destilar se habrá enriquecido con el componente menos volátil (TP Laboratorio de Química, 2023).

A menudo los equipos de destilación cuentan con un dispositivo para enfriar el vapor que sale de la torre de destilación llamados intercambiadores de vapor. Típicamente un intercambiador de calor involucra dos fluidos que están separados por una pared sólida. El calor se transfiere primero del fluido caliente a la pared por convección, y a través de la pared por conducción, y de la pared al fluido frío otra vez por convección (Cengel y Ghajar, 2020). Los intercambiadores de calor reciben nombres específicos que reflejan la aplicación para la que se utilizan. Por ejemplo, un condensador es un intercambiador en el que uno de los fluidos se enfría y se condensa a medida que fluye a través del intercambiador de calor (Cengel y Ghajar, 2020).

Otro factor importante que interviene para que opere de manera apropiada el dispositivo y se lleva a cabo en la condensación es la correcta utilización de sus materiales para su fabricación. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor, un valor elevado para esta indica que el material es un buen conductor de calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante (Cengel y Ghajar, 2020).

Es de gran importancia poder controlar las variables que se involucran en el proceso, la instrumentación ha permitido el avance tecnológico de la ciencia actual como la automatización de los procesos industriales; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan sentir o transmitir lo que sucede en el ambiente, para luego tomar una acción de control pre-programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado deseado (Gutiérrez y Iturralde 2017).

Metodología

El diseño del equipo propuesto se divide en etapas, las cuales son: Estructura, torre de destilación, condensador y control.

Para el diseño de la estructura de la destiladora el cual es soporte del equipo y donde se montan los diferentes componentes, se realizó con ayuda del Software SolidWorks versión 2022, el diseño propuesto es el mostrado en figura 1.

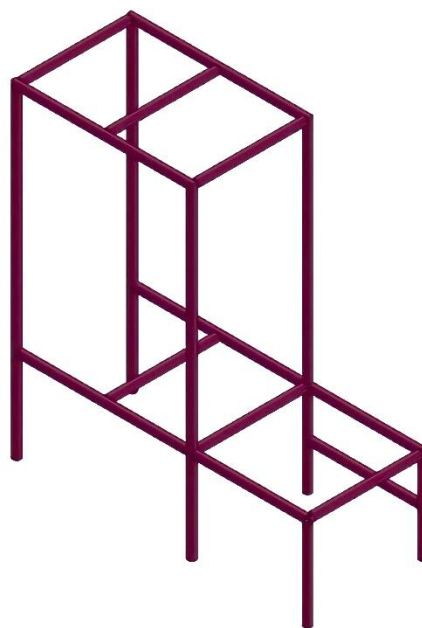


Figura 1. Diseño de estructura. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se muestra las dimensiones de la estructura, el prototipo propuesto es para una capacidad de 30 litros de materia prima más el tanque de enfriamiento.

Dimensiones de la estructura	Ancho	Largo	Alto
	370 mm	890 mm	990 mm
Material	Perfil de acero cuadrado de 3/4 in		
Acabado	Pintado de esmalte color rojo		

Tabla 2. Especificaciones de fabricación. Fuente: Elaboración propia

Se realizó una simulación de carga para verificar la capacidad de la estructura propuesta (ver figura 2). Se aplica una fuerza simulando las condiciones de carga en la estructura, los elementos que se colocarán sobre la estructura tendrán un máximo de 100kg.

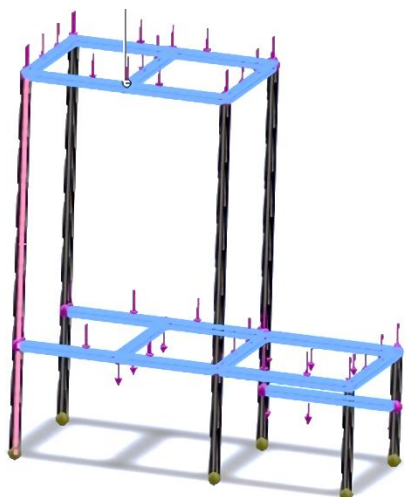


Figura 2. Simulación de estudio estático. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de desplazamiento como se observa en la figura 3, muestra el comportamiento de la estructura, el estudio indica un posible desplazamiento de 8 mm con la carga máxima, sin embargo, en la práctica incluyendo los equipos montados y la materia prima se tiene un peso aproximado de 70 kg por lo que la estructura cuenta con la resistencia adecuada para alojar todos los elementos.

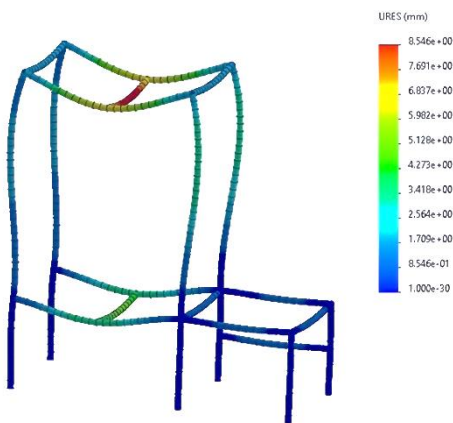


Figura 3. Simulación de estudio de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de tensión (ver figura 4) nos muestra la tensión axial y de deflexión en el límite superior obteniendo un límite elástico de $2.500e+0.8$ su comportamiento dentro de la franja verde indica que tiene un buen límite elástico mientras que su límite superior oscila entre $6.080e+08$

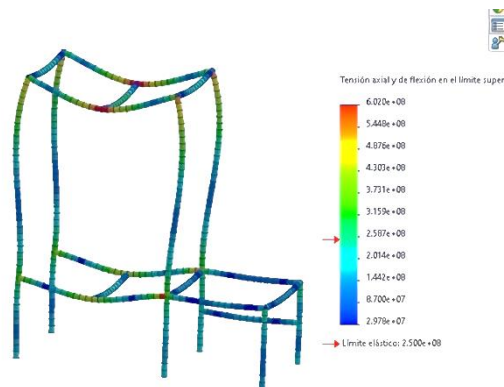


Figura 4. Simulación de estudio de tensión. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente fase se diseñó la torre de destilación apropiada considerando las medidas de la estructura, la cual albergará el pulque a destilar, la capacidad de este recipiente es de 30 litros por cada carga. El material apropiado para la construcción de un destilador es acero inoxidable, además que es uno de los metales de mayor consumo dentro de la industria alimenticia debido a sus propiedades higiénicas, y su resistencia a la corrosión, lo que lo hace el metal ideal para uso dentro de la preparación de alimentos, para utensilios de cocina y para las industrias que elaboran envasados o conservadores (Ortiz L. V. A., 2020).

En la figura 5 se puede apreciar la torre de destilación con su respectiva tapa la cual tiene un orificio cuya función es de conducir los gases del proceso de destilación.

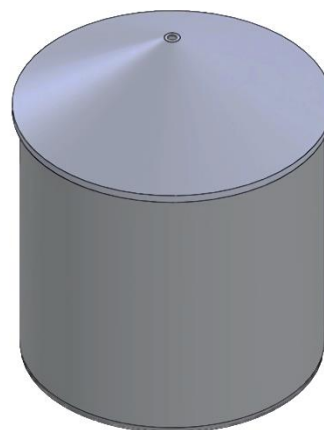


Figura 5. Torre de destilación. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se muestra las características de la torre de destilación y su tapa la cual contendrá la materia prima.

Dimensiones de torre de destilación	Diámetro	Altura
	368 mm	350 mm
Material	Acero inoxidable 304 al cromo	
Acabado	Pulido	
Tapa de torre de destilación	388 mm	118 mm
Material	Acero inoxidable 301	
Acabado	Pulido	

Tabla 2. Especificaciones de parte. Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se muestra el tubo conductor que conecta a la torre de destilación con el serpentín. La tubería que conduce los vapores hacia el serpentín se considera de cobre, ya que el cobre es un excelente conductor de calor, lo que lo convierte en el material perfecto para destilar alcohol y beneficia que en el condensador se lleve de manera adecuada el intercambio de calor y se condensen los vapores. También es resistente a la corrosión, lo que proporcionando una mayor longevidad y se obtiene algunas cualidades, por ejemplo, flexible, resistente, antibacteriano (The Lawton Tubes Co, 2023).

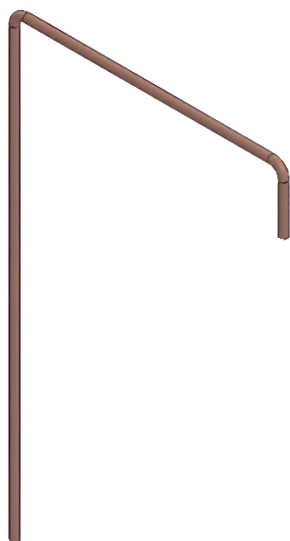


Figura 6. Tubo conductor de cobre para gases. Fuente: Elaboración propia

Las características del tubo conductor se muestran en la tabla 3

Tubo conductor de cobre	Diámetro	Longitud
	19 mm	1320 mm
Material	Tubo de cobre comercial	
Acabado	Si acabado	

Tabla 3. Especificaciones del tubo. Fuente: Elaboración propia

El serpentín (figura 7) cuya función es condensar el vapor obtenido de la torre de se fabricó con cobre para aprovechar la propiedad que tiene el material de buena conducción térmica y resistencia a la corrosión.

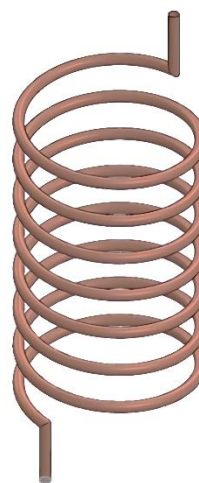


Figura 7. Serpentín de cobre. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el cálculo para determinar la longitud y número de vueltas del serpentín

Se calcula el paso

$$p = 1.5 * d_e \quad p = 1.5 * 0.17 \text{ m} = 0.255\text{m}$$

Longitud del serpentín

$$L_{serp} = N * \sqrt{\left(2\pi * \frac{D_h}{2}\right)^2 + p^2}$$

$$L_{serp} = 7 * \sqrt{\left(2\pi * \frac{0.17}{2}\right)^2 + (0.255\text{m})^2} = 5.418 \text{ m}$$

Numero de vueltas real

$$n = \frac{A}{\pi * d_e * \frac{L_{serp}}{2}}$$

$$n = \frac{2m^2}{\pi * 0.17m * \frac{5.418m}{2}} = 7.2681$$

$n = 7$ vueltas

Tabla 4 características de serpentín de cobre.

Serpentín de cobre	Diámetro	Número de vueltas	Espesor
	9.52 mm	7	0.73 mm
Longitud sin enrollar	5.418m		
Material	Tubo de cobre comercial		
Acabado	Si acabado		

Tabla 4. Especificaciones de fabricación. Fuente: Elaboración propia

La figura 8 muestra el serpentín ya ensamblado con el depósito de agua (recordando que el serpentín debe estar inundado de agua para realizar la condensación).

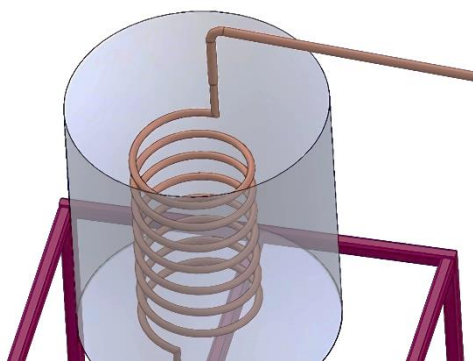


Figura 8. Serpentín dentro del depósito de agua. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 características de depósito de agua.

Depósito de agua	Diámetro	Altura
	360 mm	390 mm
Material	Acero inoxidable 301	
Volumen	0.039m ³	

Acabado	pulido
---------	--------

Tabla 5. Especificaciones de fabricación. Fuente: Elaboración propia

Se tiene agregado al final del proceso un tubo recolector, el cual conduce el alcohol en estado líquida hacia su depósito final de recolección, en la figura 9 se puede apreciar este componente.

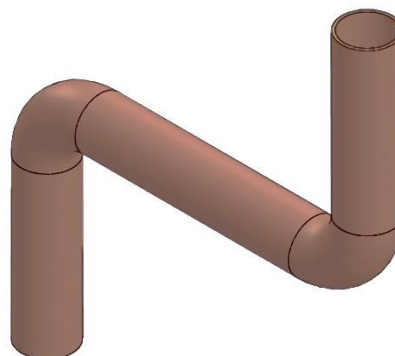


Figura 9. Tubo de recolección de producto final. Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 características de tubo recolector

Tubo recolector	Diámetro	Longitud
	9.52 mm	150 mm
Material	Tubo de cobre comercial	
Acabado	Sin acabado	

Tabla 6. Especificaciones de fabricación. Fuente: Elaboración propia

Análisis y discusión de resultados

La figura 10 muestra el modelado y ensamble final de todos los componentes que conforman la destiladora de pulque en el Software SolidWorks

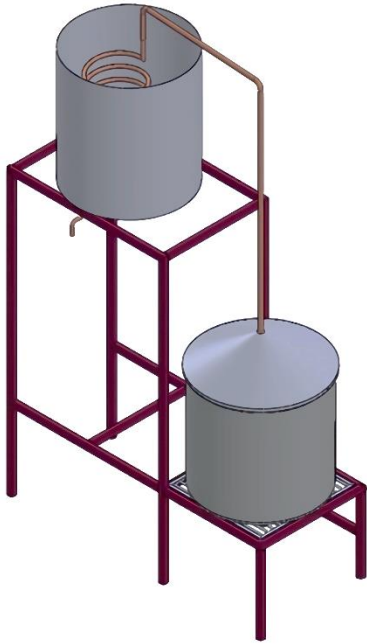


Figura 10. Ensamble final de destiladora. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el diseño de la destiladora se procedió a la materialización de los distintos componentes que la conforman y por consiguiente realizar las pruebas de funcionalidad del equipo. En la figura 11 se muestra la destiladora de forma física.



Figura 11. Prototipo físico de destiladora de pulque. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 se muestra el tablero de control desarrollado e implementado para automatizar el proceso de destilación.



Figura 12. Tablero de control de destiladora de pulque. Fuente: Elaboración propia

El control del proceso de destilación es a través de un PLC el cual está en constante monitorización de las temperaturas gracias a los sensores que interactúan con él. En la figura 13 se muestra el PLC y sus conexiones a si a los relevadores.



Figura 13. Conexión de PLC con relevadores. Fuente: Elaboración propia

EL rango de temperaturas óptimas para realizar un buen destilado se muestra en la Tabla 7, estas son las temperaturas establecidas en el programa cargado en el PLC.

Componente	Variable	Rango de temperatura normal	Rango de temperatura máximo
Torre de destilación	Temperatura (Metanol)	65 °C	70°C
Torre de destilación	Temperatura (etanol)	78°C	83°C
Condensador	Temperatura	25°C	35°C

Tabla 7. Rango de temperaturas para la destilación de pulque. Fuente: Elaboración propia

El programa cargado en el PLC (figura 14) donde las entradas AI1 y AI2 son las entradas analógicas de los sensores de temperatura, Q1 Y Q2 son las salidas a los relevadores los cuales son los que accionan la electroválvula que controla la flama y la bomba de recirculación de agua del depósito de condensación.

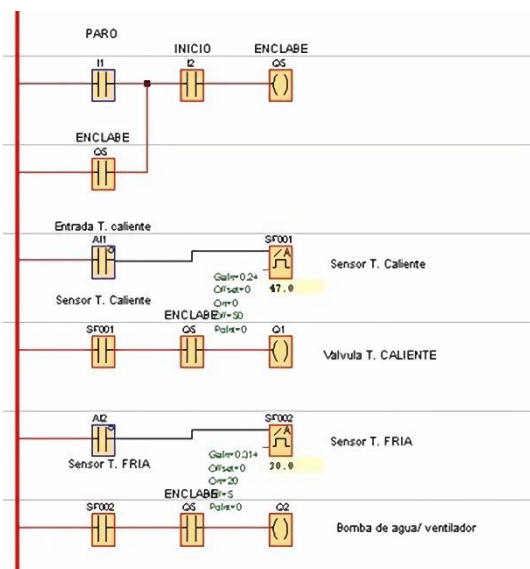


Figura 14. Programa de control de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una prueba piloto del equipo en donde se destilo un total de 30 litros de pulque fuerte, en la tabla 8 se muestra de manera general la evolución de la prueba

Cantidad de pulque a destilar	30 litros
Hora de inicio	6:45 pm
Temperatura de inicio de prueba	26°C temperatura del pulque
Temperatura de inicio de prueba	25°C temperatura del agua
Inicio de caída de primeras gotas de alcohol	7:43 pm
Temperatura	86.5° C

Temperatura final de prueba	89.5°C temperatura del pulque
Hora de termino	11:30 pm
Cantidad de producto recolectado	2.5 litros de alcohol etílico
Graduación del alcohol	42.5 grados

Tabla 8. Datos obtenidos de prueba piloto de destiladora

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda de un densímetro para alcohol se midió los grados de alcohol que se obtuvieron en la prueba de destilación como se muestra en la figura 15.



Figura 15. Medición de grados de alcohol. Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Para el proceso de destilación existen muchos equipos en el mercado, sin embargo, al diseño propuesto se implementó un sistema de control automatizado de temperatura el cual permite que el equipo opere de manera autónoma y que el control de las temperaturas este dentro de los rangos idóneos para realizar la destilación, la temperatura debe ser monitoreada y controlada de forma permanente para la separación correcta de alcohol etílico para no mezclar con otros alcoholes que su punto de ebullición es a distintas temperaturas. El sistema de control automatizado mediante un PLC con el método de entradas analógicas

permite tener un perfecto control de la temperatura dentro de la torre de destilación.

El tamaño y diseño del serpentín juegan un papel importante, tiene la capacidad de condensar todo el vapor cuando se encuentra inundado en el recipiente de condensación con una temperatura del agua a 25°C. Los niveles de alcohol obtenidos van estrechamente ligados a la secuencia de operación y control de temperaturas, de ebullición y condensación, donde el control automático se encargó de este proceso llevando a cabo un proceso de destilación adecuado el uso de software de diseño como lo es SolidWorks, son de gran ayuda porque permitieron realizar un diseño 3D además de poder obtener los estudios de resistencia para el soporte de la destiladora.

El intercambiador de calor opero de manera satisfactoria ya que el vapor que entraba al serpentín se pasa a estado líquido aprovechando todo lo que provenía de la torre de destilación, al final se realizó una prueba piloto del equipo diseñado en donde se destilaron 30 litros de pulque y se obtuvo la cantidad de 2.5 litros de alcohol etílico con una graduación de 42.5 puntos, en términos generales el equipo diseñado y fabricado opera de manera correcta. Aunque en la práctica se destilo pulque, el control sirve para que se pueda destilar cualquier otro producto, ajustando los parámetros de temperatura, esa es otra cualidad del equipo y la versatilidad de este lo cual no lo limita a un solo producto para destilar.

Referencias

- Cengel, A. y Ghajar, J. A. (2020). *Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicación*. (6 ed.) México: Mc Graw Hill.
- Gutiérrez M. y Iturralde S. (2017). *Fundamentos básicos de instrumentación y control*. (1 ed.) Ecuador: UPSE.
- Ortiz L. V. A. (2020). *Estudio del acero inoxidable y los beneficios que ofrece en la preparación de alimentos*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz M. (2019). *Instrumentos de medición*. México.
- Susial, P. (2011). *Fundamentos y método de la destilación. Determinación experimental del E. L. V.*, ULPGC Biblioteca universitaria.
- TP Laboratorio de Química, (2023). Recuperado el 2 de septiembre de 2023 de <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-laboratorio/que-es-la-destilacion>.
- Tei Ingeniería, (2010). Recuperado el 3 de septiembre de 2023 de <https://www.teii.com.mx/transmisores-temperatura>.
- The Lawton Tubes Co, (2023). Recuperado el 5 de septiembre de 2023 de <https://lawtontubes.co.uk/es/copper-in-distillation/>.