



# Mejora de la eficiencia energética en la destilación de pisco

## **Integrantes**

Deyanira Carrillo  
Sebastián San Martín  
Joaquín Bustos  
Rocío Tardones

## **Profesor**

Christian Hernández

## **Ayudantes**

Matías Mansoulet

## **Asignatura**

Transferencia de Calor 542355-1



## Resumen

El estudio se centró en optimizar los costos energéticos durante el proceso de destilación del pisco, utilizando un alambique de cobre para maximizar la eficiencia térmica. Se evaluaron diferentes combustibles: leña seca, carbón mineral y gas natural, considerando su poder calorífico y costo. Se concluyó que el gas natural tiene el mayor poder calorífico por unidad de masa, seguido por el carbón mineral y la leña.

Se realizó un balance detallado de calor para mantener la temperatura deseada en el alambique ( $78.4^{\circ}\text{C}$ ), determinando que se necesitaban aproximadamente  $16.34\text{kW}$  de energía. La elección del cobre como material para el alambique se basó en su conductividad térmica, que permitió alcanzar eficientemente las temperaturas requeridas para la destilación.

Además, se consideraron aspectos ambientales, como las emisiones de  $\text{CO}_2$  de cada combustible, concluyendo que la leña era la opción más económica, aunque menos eficiente en términos de poder calorífico por unidad de masa. En contraste, el gas natural ofrecía una mayor eficiencia energética a pesar de ser más costoso. En resumen, el estudio destacó la importancia de la eficiencia energética y la selección adecuada de combustibles para optimizar la rentabilidad y sostenibilidad en la producción de pisco mediante destilación.



### Índice de contenido

Introducción .....	4
Objetivos.....	4
Problema .....	5
Supuestos:.....	6
Resultados y discusiones .....	7
Conclusión .....	11
Bibliografía.....	12

### Índice de figuras

Figura 1. Esquema de alambique .....	5
Figura 2. Grafico costo-eficiencia de los combustibles .....	9

### Índice de tablas

Tabla 1. Potencial calórico de combustibles.....	9
--	---



# Introducción

La destilación de alcohol es un proceso en el cual se calienta un líquido hasta que sus componentes más volátiles se convierten en vapor, que luego se enfría para recuperar dichos componentes en forma líquida mediante la condensación. Este proceso conlleva un consumo específico de energía, determinado por las propiedades fisicoquímicas del fluido tratado.

En este informe se presenta el planteamiento de dos tipos de transferencia de calor: conducción y convección. La conducción implica la transferencia de calor dentro de un mismo medio mediante la colisión y transferencia de energía entre átomos. Por otro lado, la convección es el proceso mediante el cual se transfiere calor entre un cuerpo, masa o líquido, donde las diferencias de temperatura entre los átomos de su composición generan una transferencia de energía inmediata.

Este documento examina los procedimientos específicos del proceso de destilación del pisco, incluyendo el desarrollo y la resolución del problema planteado, los supuestos adoptados, las aplicaciones prácticas relevantes, entre otros aspectos. Es importante mencionar que se consideró el caso de una pisquera artesanal nacional para asegurar términos y conclusiones óptimos en la investigación, proporcionando así una solución efectiva al planteamiento inicial.

## Objetivos

1. Identificar las variables a considerar
2. Investigar los datos requeridos para el cálculo correcto
3. Desarrollar los cálculos pertinentes
4. Analizar los valores obtenidos
5. Determinar los costos respecto a los diferentes combustibles
6. Seleccionar el método más óptimo costo-energéticamente

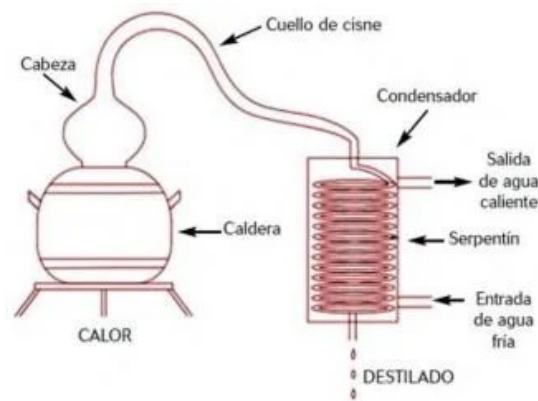


## Problema

El proceso de destilación del pisco implicó diversas etapas y duraciones para su ejecución. Para asegurar la rentabilidad en la producción de pisco, se enfocó en optimizar los gastos energéticos relacionados con el material y todo el proceso en su conjunto.

Antes de la destilación, se llevaron a cabo varios procesos preliminares como la cosecha de uva, maceración, fermentación y finalmente la destilación. Este último proceso representa el mayor consumo energético dentro de una planta pisquera, cuyo costo puede variar según el tipo de destilado deseado, ya sea doble destilado o destilado normal. Por lo tanto, se buscó garantizar la máxima rentabilidad considerando tres aspectos fundamentales: precio, calidad y producción.

Para el proceso de destilación estudiado, se empleó un alambique discontinuo de cobre con un espesor de 1 mm. Este alambique permitió extraer alcohol puro con temperaturas entre  $80^{\circ}\text{C}$  y  $90^{\circ}\text{C}$  mediante los procesos de evaporación y condensación. Se optó por el cobre debido a su buena conductividad eléctrica y térmica, lo cual facilitó alcanzar las temperaturas deseadas de manera eficiente en comparación con el acero, que habría implicado tiempos más largos y costos adicionales.



*Figura 1. Esquema de alambique*

Durante la destilación, se aplicaron dos métodos de transferencia de calor: conducción y convección. Los componentes involucrados incluyeron una caldera, agua como refrigerante, un hornillo, un serpentín y un cuello, como representa la figura 1.



El objetivo fue destilar principalmente el etanol, esencial para la producción de pisco, aunque siempre quedaron trazas de acetona y metanol en menor cantidad. La temperatura crítica por mantener fue alrededor de  $78,4^{\circ}\text{C}$  para asegurar la condensación del etanol sin llegar a los  $100^{\circ}\text{C}$ , momento en el cual el proceso de destilación no sería efectivo.

El alambique de cobre permitió realizar las transferencias de calor por conducción durante el calentamiento del producto y por convección durante la condensación del vapor mediante el sistema de refrigeración. En resumen, el alambique funcionó mediante un proceso de evaporación por calentamiento y condensación por enfriamiento.

Además, se estableció un diámetro estándar de 30 mm para las tuberías, se utilizó agua a  $25^{\circ}\text{C}$  como refrigerante con una temperatura de salida de  $38^{\circ}\text{C}$  y un flujo másico de 0.3 kg/s para optimizar aún más el proceso de destilación.

### **Supuestos:**

1. Forma geométrica cilíndrica.
2. Uso de materiales estandarizados.
3. Condición de estado estacionario.
4. Despreciables efectos de radiación.
5. Paredes del destilador con espesor despreciable.
6. Temperatura uniforme mantenida en el alambique a  $78.4^{\circ}\text{C}$ .
7. Presión atmosférica de 1 atmósfera.
8. Temperatura ambiente constante de  $25^{\circ}\text{C}$ .
9. Alambique adiabático sin pérdidas de calor.
10. Temperatura de salida del agua fijada en  $38^{\circ}\text{C}$ .
11. Temperatura de entrada del agua establecida en  $25^{\circ}\text{C}$ .
12. Coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie del tanque:  $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .
13. Calor específico del agua:  $4181 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .
14. No hay transferencia de calor a través de las tuberías que conectan el alambique con el condensador.



## Resultados y discusiones

Se comenzó recopilando los siguientes datos:

- Se utilizó un diámetro de las cañerías de 30 *mm*.
- El alambique tenía un diámetro de 130 *mm* y una altura de 350 *mm*.
- El coeficiente de conductividad térmica del cobre era de 385  $W/(m \cdot K)$ .
- El espesor del cobre era de 1 *mm*.
- El coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie del tanque fue de 5  $W/m^2 \cdot K$ .
- El calor específico del etanol se estableció en 2440  $J/kg \cdot K$ .
- Se consideró un calor específico del agua de 4181  $J/kg \cdot K$ .

Se asumió que el alambique tenía una geometría cilíndrica con un diámetro de 130 *mm* y estaba en contacto directo con la fuente de calor, siendo el calor transferido principalmente por conducción. Se buscaba mantener una temperatura estable en el alambique de 78,4°C (351,4 K), por lo que se realizó un balance de calor *ecuación 1*.

Balance general:

*(calor de la fuente) = (calor por conduccion del cilindro) + (calor por conveccion del fluido)*

$$Q_f = Q_{cilindro} + Q_{fluido} \text{ (ec.1)}$$

Como:

$$Q_{cilindro} = \Delta T/R \text{ (ec.2)}$$

$$Q_{fluido} = c_p * \dot{m} * (T_s - T^\infty) \text{ (ec.3)}$$

Juntando las ecuaciones 2 y 3 en la ecuación 1, su formar general escrita quedo como:

$$Q_f = \frac{T_s - T^\infty}{\frac{\ln(\frac{D_o}{D_i})}{2\pi Lk} - \frac{1}{\pi D_o L h_o}} + c_{pfluido} * \dot{m}_{fluido} * (T_{ofluido} - T_{ifluido})$$



Se calculo el  $Q_{cilindro}$  cómo se representó en la *ecuación 2*:

$$Q_c = \frac{(351.4 - 298)K}{\frac{\ln\left(\frac{131}{130}\right)}{2\pi * 0.35m * \frac{385W}{mK}} + \frac{1}{\pi * 0.131m * 0.35m * \frac{5W}{m^2K}}}$$

$$Q_c = 38.459 \frac{J}{s} \Rightarrow Q_c = 38.459W$$

El  $Q_{fluido}$  considerando que se tiene un intercambiador de calor de flujos paralelos en el condensador, adicional se desprecia la transferencia de calor que pudiese haber existido en las cañerías, se calculó considerando la *ecuación 3*:

$$Q_w = Q_{fluido}$$

$$Q_w = c_{pw} * m_w * (T_{ow} - T_{iw})$$

$$Q_w = 4181 \frac{J}{Kg * K} * 0.3 \frac{Kg}{s} * (311 - 298)K$$

$$Q_w = 16305.9 \frac{J}{s} \Rightarrow Q_w = 16305.9W$$

Por el balance planteado en la *ecuación 1*  $Q_{fuente}$ :

$$Q_f = Q_{cilindro} + Q_{fluido}$$

$$Q_f = 38.459W + 16305.9W$$

$$Q_f = 16344.359W \Rightarrow Q_f = 16.344359KW$$

Después de esto, se llevó a cabo una evaluación comparativa del calor necesario para mantener la temperatura deseada en el alambique durante el proceso de destilación. En el análisis se consideraron tres tipos de combustibles: leña seca, carbón mineral y gas natural. Es importante destacar que todos los combustibles fueron evaluados bajo los supuestos previamente mencionados en la *tabla 1*.

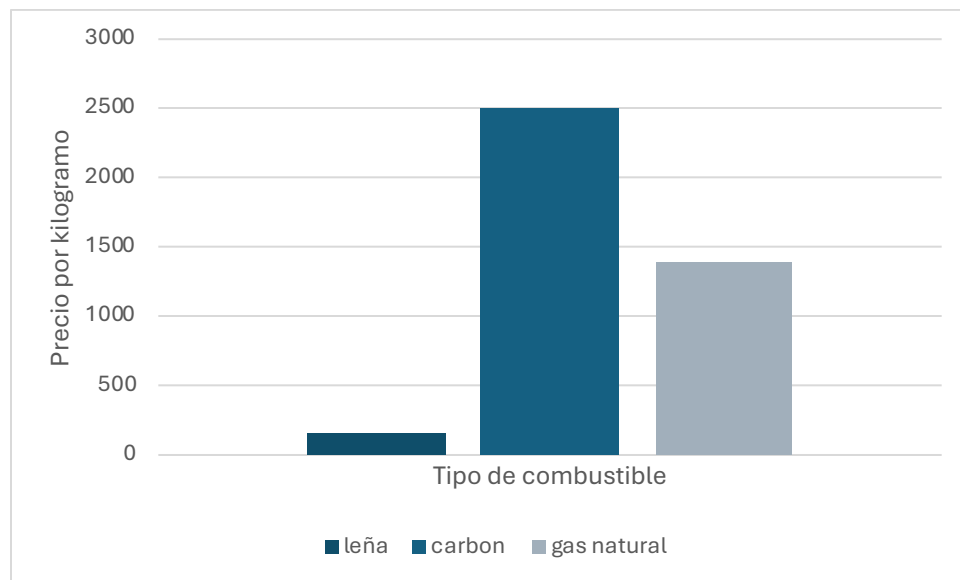




*Tabla 1. Potencial calórico de combustibles*

Combustibles (25°C y 1atm)	Potencial calórico (kWh/Kg)	Precio aproximado x kilogramo (Pesos chilenos)
Leña seca (Roble común)	4.25	150
Carbón mineral	6.74	2500
Gas natural	14.69	1390

El proceso de destilación del alambique tiene una duración de 3 horas.



*Figura 2. Grafico costo-eficiencia de los combustibles*

Del ABP se podían extraer dos aplicaciones existentes significativas. Por un lado, la destilación se destacaba como un proceso de separación de sustancias que utilizaba la ebullición y la condensación de manera selectiva. Este método se empleaba para separar los componentes de una mezcla, que podía consistir en líquidos homogéneos, incluidos líquidos con sólidos disueltos o gases licuados. La destilación se fundamentaba en las diferencias de puntos de ebullición de cada sustancia que conformaba la mezcla.



Por otro lado, existía el análisis costo-energético como otra aplicación relevante.

En este contexto, industrias, empresas e incluso pymes realizaban un análisis coste-beneficio que evaluaba la relación entre el costo por unidad producida de un bien o servicio y el beneficio obtenido por su venta. Este concepto se desarrollaba ampliamente en el ámbito empresarial y de negocios, así como en actividades financieras como las operaciones en bolsa.

Algunos de los ejemplos más comunes en el mundo actual incluyen:

- El proceso de refinación del petróleo.
- La obtención de aceites esenciales.
- La desalinización del agua de mar.
- La fabricación de perfumes.
- La producción de agua destilada.



## Conclusión

Durante el análisis de las transferencias de calor, se generó una cantidad total de energía destinada a mantener la temperatura requerida en el alambique durante el proceso de destilación. Donde se evaluaron tres tipos de combustibles: leña, carbón y gas natural.

El calor de combustión, definido como la energía liberada cuando una cantidad específica de material reacciona exotérmicamente con el oxígeno del aire, fue crucial para caracterizar los combustibles.

Se obtuvieron conclusiones de del ABP como que, según la estequiometría, las emisiones de dióxido de carbono del carbón eran un 70% superiores a las del gas natural y un 130% más elevadas que las de la leña, igualmente en términos de costo y eficiencia, la leña resultó ser la opción más económica para proporcionar la energía necesaria durante las tres horas de destilación en el alambique, estableciendo un orden de eficiencia: leña > gas > carbón, sin embargo, considerando únicamente un kilogramo por hora de cada combustible, el orden de eficiencia variaba a favor del gas > carbón > leña debido a su mayor poder calorífico. Por lo tanto, aunque el carbón mineral es una fuente de energía sólida muy utilizada, el gas natural tiene un mayor poder calorífico por unidad de masa, lo que significa que puede producir más energía por kilogramo o metro cúbico quemado en comparación con el carbón mineral.

También se concluyó que el requerimiento de calor de la fuente calculado en la ecuación de balance general para mantener la temperatura del proceso a 78.4°C fue de 16.344359 KW.

La elección de utilizar un alambique de cobre se fundamentó en sus excelentes propiedades conductoras y antibacterianas, siendo además un material económicamente viable para la producción de materia prima. El cobre también se seleccionó debido a su resistencia a la corrosión por vapor de agua, factor crucial para garantizar la durabilidad del equipo.



## Bibliografía

Bolívar, G. (30 de noviembre de 2020). Lifeder. Obtenido de calor de combustion :

<https://www.lifeder.com/calor-de-combustion/>

<https://www.terram.cl/carbon/el-carbon/>

<https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/composicion>

<https://www.llamaviva.es/el-poder-calorifico-de-la-lena>

<https://thermtest.com/latinamerica/efectos-de-la-conductividad-termica-en-la-tecnica-de->

[coccion#:~:text=El%20cobre%20posee%20un%20valor,metal%20para%20utensili](#)  
[os%20de%20](#)

[cocina](#)

<https://www.alambiquesrocco.com/alambique-20-litros.html>