



Figura 10. Calentador eléctrico.

3.3 Sistema de destilación para la separación del etanol del sustrato

Una vez ocurrido el proceso de fermentación y obtenido como producto final el alcohol en forma de etanol, es necesario separarlo de la mezcla. El proceso de destilación consiste en: transferir calor a la mezcla mediante alguna fuente; para producir la evaporación de los compuestos volátiles (agua, etanol, etc.) presentes en la solución. Estos compuestos volátiles, una vez evaporados son conducidos al condensador para posteriormente enfriarlos y condensarlos. Esta solución condensada; que contiene etanol hidratado principalmente, requiere ser redistilada para concentrar el alcohol. Esta metodología es lo que se conoce con el nombre de “destilaciones sucesivas” o “destilaciones en serie”; con lo cual se busca concentrar la cantidad de etanol a niveles mayores. Finalmente, una vez realizadas las destilaciones en serie o sucesivas; la solución es cuantificada y medida su concentración de etanol. La destilación se realiza suministrando calor

directamente a la solución una vez fermentada y el etanol en solución acuosa se evapora saliendo por el orificio central, arriba descrito, hacia el condensador. El proceso de condensación se produce por una diferencia de temperatura entre los compuestos volátiles (agua, etanol, etc.) que se encuentran a mayor temperatura y el condensador (Figura 11) que está equipado internamente con un sistema de refrigeración por agua; y por consiguiente a una menor temperatura.

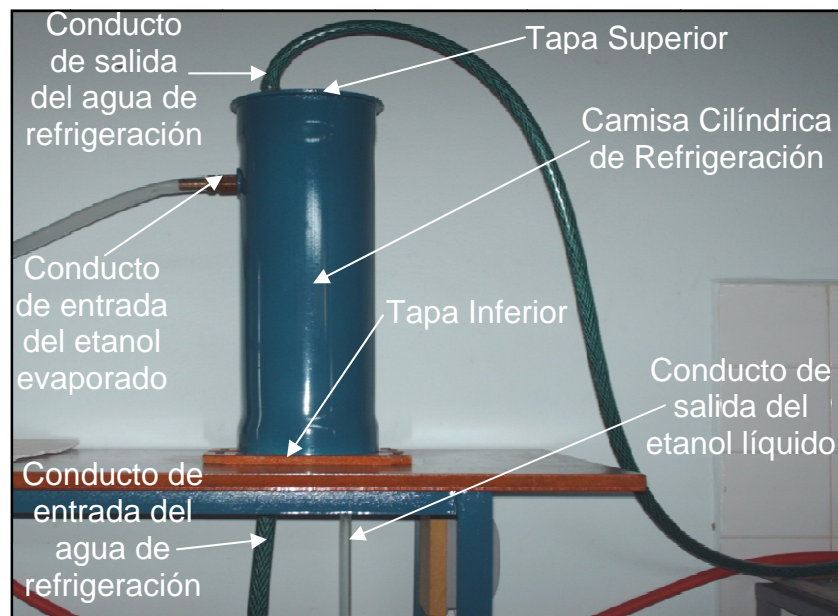


Figura 11. Condensador.

El sistema de destilación está constituido por una fuente de calor (estufa eléctrica) que produce el calentamiento directo del fermentador (Figura 12). Ésta estufa posee un potencial eléctrico o voltaje de 110 voltios, una frecuencia de 60 hertz y una potencia eléctrica de 1000 vatios.



Figura 12. Estufa eléctrica usada como fuente de calor en el proceso de destilación.

El sistema de condensación del etanol, consta de un serpentín helicoidal de tubería de cobre (Figura 13); de aproximadamente 1,40 metros de longitud y un diámetro aproximado de 0,00635 metros; ubicado en el interior de una camisa cilíndrica de tubería PVC (policloruro de vinilo); con un diámetro aproximado de 0,1016 metros y una longitud de 0,385 metros aproximadamente. Esta camisa cilíndrica posee en su cara o tapa inferior, dos orificios uno para la entrada del agua de refrigeración y otro para la salida del alcohol líquido. En la cara o tapa superior, la camisa cilíndrica posee un orificio de salida para el agua de refrigeración. Ambas tapas o caras son de PVC (policloruro de vinilo).

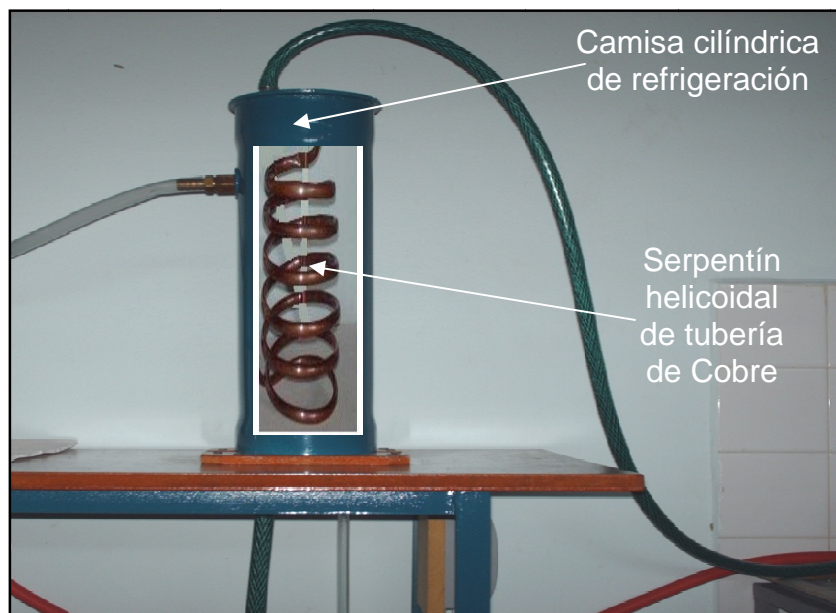


Figura 13. Vista interna del condensador.

3.4 Dispositivos de conducción y conexiones

La conducción, movimiento o transporte del agua y del etanol en solución acuosa a través del sistema se realiza por medio de mangueras flexibles. Este sistema de conducción mediante mangueras, se podrían dividir en tres grupos. El primer grupo de mangueras (Figura 14) está constituido por un par de color verde, ambas con un diámetro interno de 0,009525 metros y un diámetro externo de 0,0127; comúnmente denominadas como "mangueras de jardinería". La finalidad de este grupo de mangueras es la de transportar el agua refrigerante al interior de la camisa cilíndrica del condensador; el flujo o movimiento de agua refrigerante genera el cambio de fase del etanol hidratado de la forma gaseosa a la líquida. Una de estas mangueras conduce el agua de refrigeración, desde la fuente de agua, hasta el condensador y la otra manguera transporta el agua refrigerante

desde el condensador, hasta el drenaje correspondiente. Todo ello de manera continua, hasta condensar la totalidad del etanol hidratado evaporado.

El segundo grupo de mangueras (Figura 14) consiste en un conjunto de éstas, pertenecientes al sistema de refrigeración/calefacción. Éstas mangueras tienen doble función: una de ellas es la de transportar el agua utilizada en la refrigeración del bioreactor durante del proceso fermentativo; si ocurre un aumento indeseado de la temperatura, producto de la actividad microbiana (en este caso se utilizan tan solo dos mangueras). Esta conducción de agua refrigerante se hace desde la fuente de agua, hasta el fermentador y desde este, hasta el drenaje correspondiente. La otra función de estas mangueras es la de conducir el agua de calefacción necesaria para mantener la temperatura óptima de fermentación cuando sea necesario; también se puede utilizar este medio para producir calentamiento de sustrato antes de la fermentación para disminuir la posibilidad de contaminación. Este transporte de agua de calefacción se hace en tres partes, a saber: desde la fuente de agua hasta el calentador eléctrico; luego, desde el calentador hasta el bioreactor y, finalmente desde éste último hasta el drenaje correspondiente. Este grupo de mangueras del sistema de refrigeración/calefacción, tienen la particularidad de soportar altas temperaturas y altas presiones; son todas de color rojo; (tres en total) con un diámetro interno de 0,00635 metros y un diámetro externo de 0,015875 metros; comercialmente denominadas como “mangueras de alta presión”.

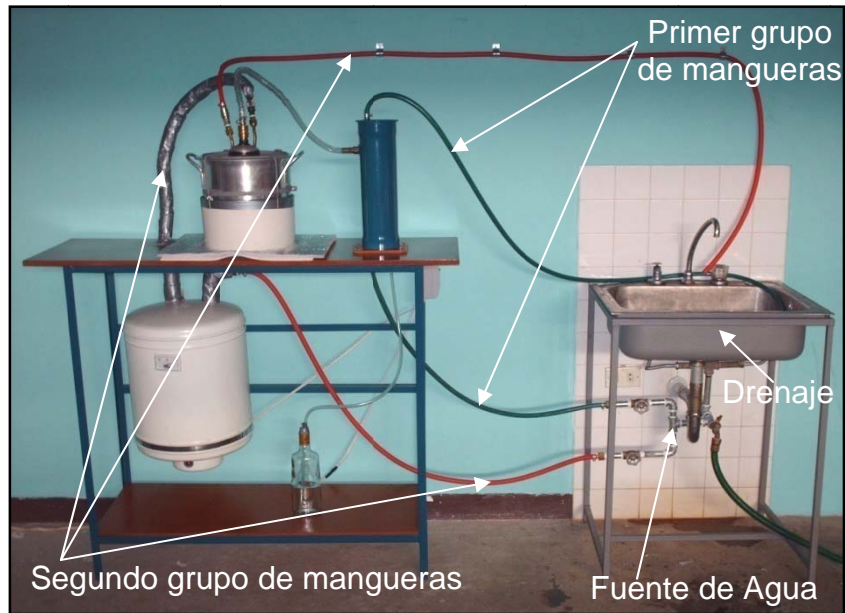


Figura 14. Dispositivos de conducción.

El tercero y último grupo de mangueras (Figura 15), son las encargadas del transporte del etanol hidratado, durante el proceso de destilación. Este grupo está conformado por dos mangueras, ambas de silicona, transparentes; la más grande de ellas con diámetro interno de 0,0127 metros y con diámetro externo de 0,015875 metros y la más pequeña con diámetro interno de 0,00635 metros y con diámetro externo de 0,009525 metros. La función de estas mangueras consiste: en primer lugar, transportar por medio de una de ellas (una vez ocurrida la fermentación) el etanol hidratado en fase gaseosa desde el bioreactor hasta el condensador, enlazando ambos dispositivos, y finalmente, al ocurrir el cambio de fase del etanol hidratado en el interior del condensador a la forma líquida; conducir el alcohol hidratado por medio de la manguera restante hasta un recipiente, para su redestilación y posterior cuantificación y medición de la concentración de etanol.