

Gestión ambiental en el proceso de purificación del furfural cubano en la planta del Centro de Bioactivos Químicos

Environmental Management in the Process of Purification of Cuban Furfural in the Chemical Bioactive Center Plant

Ing. Liset Rodríguez-Machín^I, lizetr@uclv.edu.cu, Ing. Rubén Espinosa-Pedraja^{II},
Dr. Raúl Pérez-Bermúdez^I, Ing. Víctor Samuel Ocaña-Guevara^I, Lic. Teresa Ramos-Gómez^{III}, MSc. Jesús González-Morrel^{III}

^IFacultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba; ^{II}Facultad Química-Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu", de Las Villas, Cuba; ^{III}Centro de Bioactivos Químicos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba

Es necesario establecer, en el equipamiento instalado, las condiciones, operaciones y especificaciones de calidad en la purificación del furfural producido en Cuba. Se realiza una búsqueda bibliográfica y experimentos. Se cuantifican los lotes aprobados por control de la calidad, las pérdidas de calor y por evaporación además de las afectaciones a la salud de los trabajadores. Se realiza la gestión energética, determinando la electricidad como el portador energético de mayor consumo. Se aplican como medidas: el recubrimiento de las partes del evaporador que lo requieren, modificación del condensador y mejora de la ventilación del local. Como resultado se tiene que es posible purificar el furfural cubano en el equipamiento instalado, el rendimiento del proceso aumenta un 5,5 %, las pérdidas por evaporación disminuyen y el rechazo por control de la calidad desciende. Si se sustituye el furfural importado por el cubano se ahorran aproximadamente 39 000 •/año de producción.

Palabras clave: furfural, destilación, purificación.

It is necessary to establish in the installed equipment, operating conditions and quality specifications in the purification of furfural produced in Cuba. To do this some literature review and experiments are carried out. The approved batches by the quality control are quantified as well as the heat and evaporation losses and the impact on workers health. Energy management is performed by identifying electricity as the energy source of higher consumption. Some measures are applied like coating the evaporator portions that are required together with condenser modification and improvement of the room ventilation. As a result it was shown that it is possible to purify the Cuban furfural in the installed equipment, the process efficiency increases in 5,5 %, the evaporation losses decrease and non-acceptance by quality control drops. If the imported furfural is replaced by the Cuban are saved about 39 000 • per year production.

Key words: furfural, distillation, purification.

Introducción

El compuesto químico furfural es un aldehído industrial con una estructura en anillo derivado de varios subproductos de la agricultura, maíz, avena, trigo, aleurona y aserrín. En estado puro, es un líquido aceitoso incoloro con olor a almendras, en contacto con el aire rápidamente pasa a amarillo/1/. Es un compuesto polimerizable y peroxidizable, es flamable y reacciona violentamente con ácidos minerales o álcalis. Entre sus principales usos se encuentran diluyente en la refinación de aceites

lubricantes, resinas y otros materiales orgánicos, solvente de nitrocelulosa y del acetato de celulosa; manufactura de alcohol furfurílico y furano; agentes lubricantes, herbicidas y fungicidas/2/.

En Cuba se considera actualmente al furfural como una materia prima importante en la obtención de ingredientes farmacéuticos activos (IFA) que se producen en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) tales como: el UC-244 y el G-O, los cuales tienen comprobadas propiedades bioactivas, dando lugar a una nueva rama de la industria con buenas

perspectivas de desarrollo; teniendo en cuenta que el furfural se obtiene en nuestro país a partir de la hidrólisis ácida de materias primas renovables como son el bagazo y la paja de caña.

En la planta de producción del CBQ se decide purificar el furfural de producción nacional con calidad para síntesis química y así reducir los costos de producción por importación de esta materia prima. Esta operación se realiza en un equipo de destilación a vacío a escala piloto; durante dicho proceso se detectan pérdidas de calor y por evaporación que afectan la economía, la salud del personal técnico y por tanto al medioambiente. Por tal motivo, en este trabajo se propone establecer los parámetros tecnológicos y las especificaciones de calidad en la purificación del furfural de producción nacional, realizando las transformaciones tecnológicas necesarias teniendo en consideración los aspectos económicos y medioambientales.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Principales características y propiedades del furfural por purificar

- Temperatura de ebullición a presión atmosférica: 162 °C.
- Propiedades organolépticas: líquido aceitoso de color oscuro.
- Contiene cierto volumen de agua y entre otras impurezas sus productos de degradación con el oxígeno.

Descripción del equipamiento utilizado

El equipo de destilación fue diseñado por profesores e investigadores del CBQ y de la facultad de Química-Farmacología y construido por una empresa nacional. Todas las partes integrantes de dicho equipo están confeccionadas en acero inoxidable AISI 306 sin aislamiento térmico; el cual está formado fundamentalmente por un recipiente de calentamiento

de 0,076 m³ de capacidad, un evaporador enchaquetado, dos colectores y un condensador.

Las características fundamentales se presentan a continuación:

Cuerpo del evaporador:

- Capacidad total: 167 litros
- Capacidad útil: 50 litros
- Altura de la chaqueta: 0,25 m
- Altura total: 0,7 m

Condensador de serpentín:

- Área total: 0,432 m
- Diámetro del tubo: 6 mm

Colectores (2):

- Capacidad: 45 litros
- Altura: 0,6 m
- Diámetro interior: 0,3 m

La destilación se realiza a vacío por medio de una bomba que suministra el servicio aparte de la planta de producción en operaciones de filtración y secado. Como medio para la transferencia de calor, se emplea el aceite térmico Purolob 22 (ver tabla 1) que se calienta por medio de resistencias eléctricas en el tanque depósito provisto de control automático de temperatura; el aceite caliente se bombea (bomba tipo JYIM – 4) desde el mencionado tanque, circula a través de la chaqueta del evaporador y retorna al mismo. El agua de enfriamiento fluye, en el condensador, por el interior del serpentín impulsada a través de la unidad de bombeo que da servicio de agua no potable a todos los locales de la planta. La temperatura, del furfural a purificar, en el interior del equipo se mide con un termómetro de mercurio (0-100 °C), colocado en el interior de un tubo de acero inoxidable de 8 mm de diámetro (acoplado al evaporador y llega hasta el centro del área de calentamiento), y se llena con aceite térmico para la transmisión de calor; también se mide la temperatura al aceite térmico a la salida de la chaqueta. La presión se mide en la línea a la entrada del local y en el evaporador utilizando vacuómetros de 0 a 760 mm Hg.

Tabla 1
Características del aceite puro lub 22

Viscosidad			Punto de fluidez (°C)	Punto de inflamación (°C)	Densidad relativa (15 °C)
Grado ISO	CSt a 40 °C	CSt a 100 °C			
22	22,0	4,2	-6	210	0,860

Control de la calidad

Al lote de furfural purificado se le hacen las siguientes mediciones o ensayos para lo cual se seleccionan muestras aleatoriamente para ser inspeccionadas:

Propiedades organolépticas

Medición del índice de refracción según USP. 27

Medición de la densidad según NC 90-13-17

Determinación de la acidez según ISO 2888:1973

Determinación de la pureza por el método volumétrico según ISO 2512:1974.

Resultados y discusión

Se decide realizar la destilación a vacío para disminuir la temperatura de destilación y evitar con ello la formación de resinas y de sustancias no deseadas en el producto final, además, del deterioro más rápido del aceite térmico que esto implicaría, así como el hecho de que para el furfural a temperaturas por encima de 60 °C pueden formarse mezclas explosivas vapor-aire/3, 11/. Se añade a lo mencionado, el efecto que las altas temperaturas tienen en detrimento del ambiente en el local, el mismo se tornaría muy tóxico por los gases que emanan del aceite térmico a esas temperaturas.

Modo de operación del equipo de destilación

Se pone en funcionamiento el recipiente para el calentamiento de aceite (a la temperatura requerida) y la bomba que lo circula a través de tuberías y la chaqueta del evaporador. Se verifica que hay agua no potable para el enfriamiento en el condensador y que la bomba de vacío esté funcionando. A continuación se añaden al evaporador 50 litros de furfural impuro con ayuda

de una bomba peristáltica y se pone en funcionamiento dicho equipo; se verifican, cada 30 minutos, la temperatura y la presión en los puntos ya mencionados en el acápite 2.2. La primera porción de destilado se desecha por ser una mezcla de agua y furfural, el agua es un elemento no deseado en las síntesis de G-O y UC-244; este contenido se descarga y se continúa con el proceso de destilación hasta obtener la cantidad deseada. Una vez culminada la destilación se detiene el calentamiento y se espera a que se enfríe el resto o cola y se procede a la descarga del mismo. Después de cuantificar todas las corrientes se vierten hacia la planta de tratamiento de residuales la porción inicial y la cola de la destilación/6-10/.

Purificación del furfural con el equipo de destilación sin modificaciones tecnológicas

Para comenzar el estudio de la destilación del furfural se toman como parámetros tecnológicos de partida los reportados en la literatura y que a continuación se presentan: /5/

Presión de vacío (mm Hg):

660 700 720 740

Temperatura de destilación (°C):

103,491,5 82,1 67,8

Teniendo en cuenta que el sistema de vacío es centralizado, no es recomendable trabajar por debajo de la capacidad de la bomba (720 - 740 mm Hg) porque afectaría al resto de las operaciones que necesitan el mismo servicio simultáneamente, por tanto, sólo valoramos cambiar la temperatura del medio de calentamiento. Con los datos obtenidos de la literatura se ensayaron variantes de temperatura del aceite entre 90 y 120 °C. La velocidad de destilación cuando la temperatura

está entre 90 y 105 °C es muy lenta y por encima de 110 °C es muy rápida en detrimento de la calidad del producto final; por tanto se decide calentar el aceite térmico a 110 °C y mantener la

presión de vacío en un rango que oscile entre 720 y 740 mm Hg. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en 7 lotes (carga de 50 litros de furfural) con dichos parámetros tecnológicos.

Tabla 2
Resultados promedio de las corridas realizadas en el equipo de destilación sin modificaciones tecnológicas

Tiempo promedio de destilación	Promedio de furfural destilado	Rendimiento de destilación	Pérdidas por evaporación	Lotes aprobados por CC
19 h	35 litros	70 %	18 %	86 %

En la tabla 2 se observa que el porcentaje de pérdidas por evaporación en la operación es elevado, representan 9 litros de furfural que van al ambiente ya sea en forma de vapor o líquido; se agrega además la emisión de vapores orgánicos producto del calentamiento del aceite. Teniendo en cuenta que el vapor de furfural es más denso que el aire, el personal se afecta directamente aunque utilicen los medios de protección adecuados. Producto de su exposición a corta duración pueden sufrir de irritación en los ojos, la piel y el tracto respiratorio y a prolongada exposición puede ocasionar desengrase de la piel y puede afectar el hígado. Se conoce, además, evidencia limitada de efecto cancerígeno/4/.

Realizando un balance de materiales se tiene que el resto de furfural o cola resulta alrededor de 4 litros lo cual significa que este residuo queda muy viscoso y por tanto, se hace muy difícil la limpieza del equipo y se tendría que consumir mayor cantidad de alcohol como uno de los materiales utilizados para la limpieza del equipo.

Al furfural destilado se le realizan los análisis correspondientes al control de la calidad establecidos, los lotes fueron rechazados fundamentalmente porque incumplen con la especificación de acidez y con el color dentro de las propiedades organolépticas.

Purificación del furfural con el equipo de destilación con modificaciones tecnológicas

Debido a las conocidas pérdidas de calor, para evitar quemaduras de la piel del personal técnico y para mejorar también las condiciones del local desde el punto de vista de la temperatura ambiental, se decide recubrir con lana de vidrio las tuberías por donde circula el aceite caliente y el vapor destilado, incluyendo además el cuerpo del equipo, quedando pendiente el recipiente de calentamiento de aceite que por no estar herméticamente tapado deterioraría el material aislante. En la figura 1 se muestra una foto del equipo con las transformaciones tecnológicas realizadas.

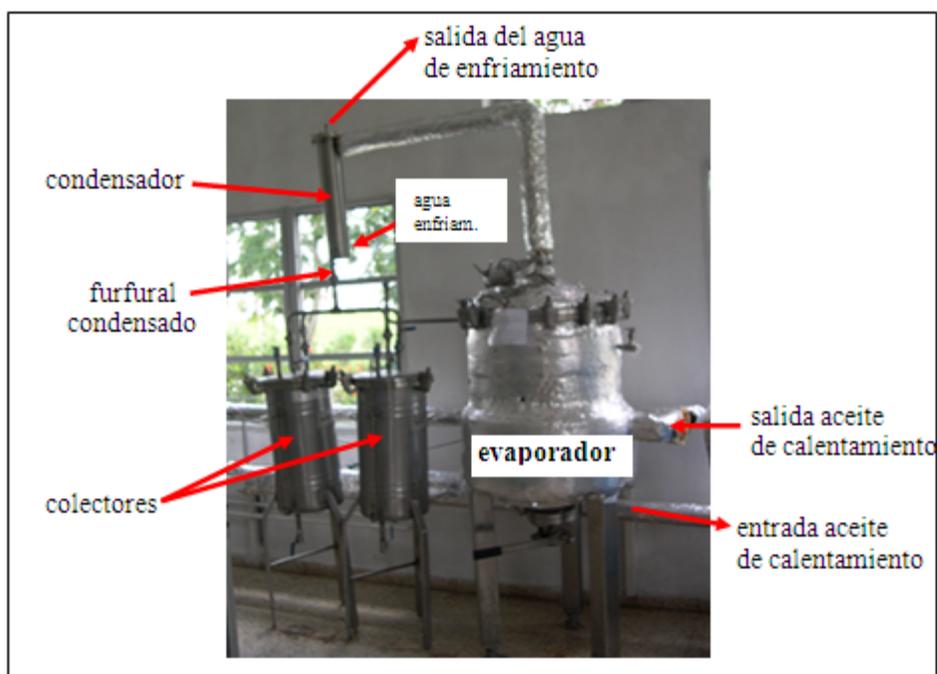


Fig. 1 Evaporador y su periferia con recubrimiento y modificaciones tecnológicas realizadas en el condensador.

Dentro de las modificaciones se encuentra además las realizadas al condensador del equipo debido a las pérdidas por evaporación del furfural destilado, se aumenta el diámetro del tubo del serpentín y se disminuye el número de vueltas que tenía según

diseño. Se modifica además, el recorrido del vapor y del agua de enfriamiento haciendo pasar el vapor destilado por el interior del tubo del serpentín. En la figura 2 se presenta un esquema de las transformaciones realizadas en el condensador.

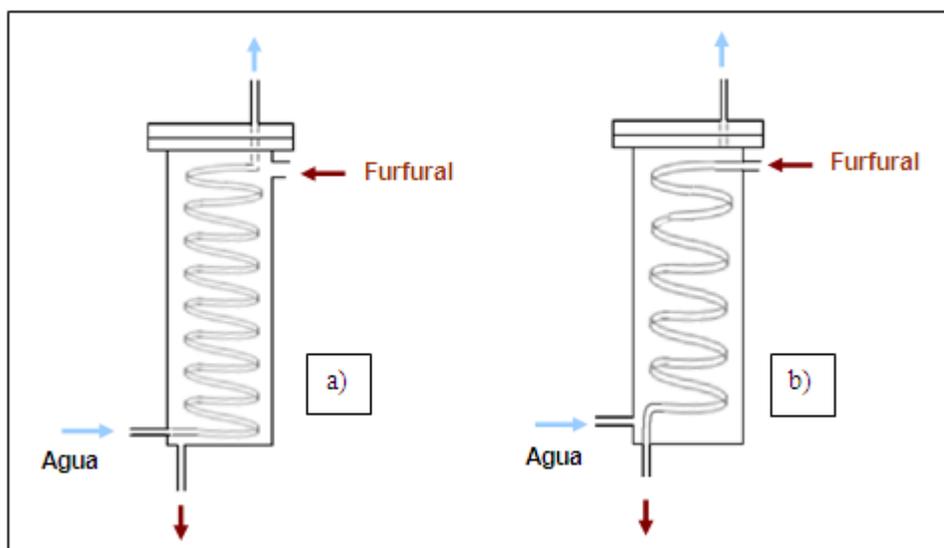


Fig. 2 Esquema del condensador del equipo; a) condensador diseñado, b) condensador modificado.

Los resultados obtenidos en las corridas realizadas con las mencionadas modificaciones se muestran en la tabla 3 manteniéndose los

mismos parámetros tecnológicos de temperatura y presión que para el caso sin transformaciones.

Tabla 3
Resultados promedio de las 25 corridas en el equipo de destilación con modificaciones tecnológicas

Tiempo promedio de destilación	Promedio de furfural destilado	Rendimiento de destilación	Pérdidas por evaporación	Lotes aprobados por CC
18 h	37, 5.L	75,5 %	4,2 %	99 %

Según los resultados obtenidos se observa que disminuyen las pérdidas por evaporación (alrededor de dos litros de furfural, siete menos que para el caso anterior) esto se considera aceptable si se tiene en cuenta que el agua de enfriamiento se encuentra a temperatura ambiente. Se recomienda posteriormente la instalación de un ventilador extractor para los gases que permanecen durante el proceso de limpieza y los emitidos por el aceite durante su calentamiento.

Para el caso en que se realizan modificaciones tecnológicas el rendimiento es un 5,5 % mayor (alrededor de tres litros de furfural). En la figura 3 se tiene una mejor apreciación de los casos analizados, en la cual se aprecia que el tiempo de destilación para ambos es muy similar. A cada lote se le realizan los análisis de calidad establecidos arrojando como resultado un uno por ciento de rechazo, el promedio de los resultados de control de la calidad se pueden observar en la tabla 4.

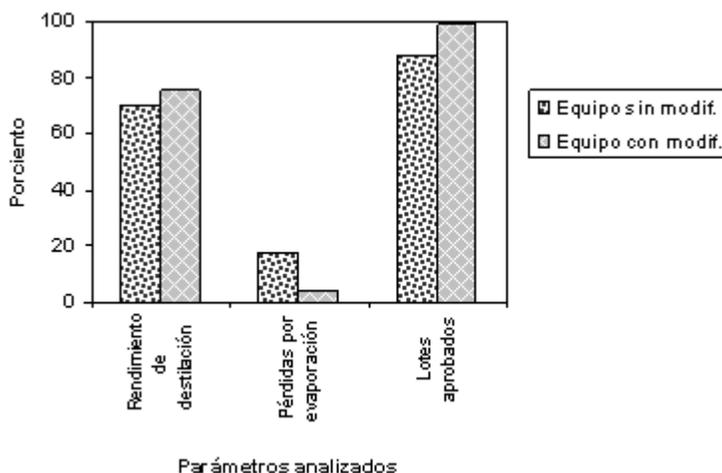


Fig. 3 Comparación de los resultados obtenidos en la destilación de furfural en el equipo de destilación sin y con modificaciones tecnológicas.

Con estos resultados se puede plantear que las especificaciones de calidad del furfural producido en el país y purificado posteriormente, con las modificaciones al equipo

de destilación señaladas con anterioridad, tienen valores relativamente semejantes a los que declaran los fabricantes reconocidos como por ejemplo: Merck.

Tabla 4
Especificaciones de calidad de las muestras de furfural analizadas

Furfural	Propiedades organolépticas	Pureza (%)	Densidad a 20 C (g/cm ³)	Índice de refracción n ₂₀ /D	Acidez (%)
Merck	Líquido límpido y amarillo claro de olor característico	≥ 98,0	1,158-1,160	1,527	≤ 0,02
Nacional	Líquido límpido y amarillo claro de olor característico	≥ 98,0	1,158-1,160	1,520-1,526	< 0,6

El análisis estadístico realizado refleja que las especificaciones de calidad evaluadas son estadísticamente aceptables (ver tabla 5), y que

pueden ser tomados los valores de la tabla 4 como las especificaciones de calidad del furfural purificado en el CBQ para fines de síntesis química.

Tabla 5
Tratamiento estadístico de las especificaciones evaluadas

Especificación	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Densidad	1,158 3	0,001 4	1,156 0	1,160 0
Índice de refracción	1,522 9	0,001 5	1,521 0	1,526 0
Acidez	0,041 8	0,010 2	0,210 0	0,056 0

Valoración económica de los resultados

El furfural cubano tiene un precio de 0,9726 CUC/L y 0,17 CUP/L. Hasta la fecha se han obtenido con el equipo de destilación modificado alrededor de 1 200 litros de furfural (para el uso en síntesis química); teniendo en cuenta que la destilación tiene un 75,5 % de rendimiento, tendrían que procesarse 1 600 litros que comprados en el país significan 1 556 CUC y 272 CUP y si se hubieran comprado a la firma Merck representaría, a 25,50 Euros/L, un desembolso de divisa aproximadamente igual a 40 800 Euros.

Las modificaciones realizadas implican una reducción de los gases que se vierten a la atmósfera, en la cuantía aproximada de 224 litros de furfural que representa un ahorro de 218 CUC y 38 CUP; incluyendo el beneficio ambiental que significa las mejoras en las condiciones de trabajo y de salud para los trabajadores y los vecinos de las áreas aledañas.

Conclusiones

- 1 En la purificación del furfural se establecen los parámetros de operación, la temperatura de

calentamiento del aceite térmico a 110 °C y la presión de vacío entre 720 y 740 mm Hg, en el equipo sin modificaciones tecnológicas se alcanza un 18 % de pérdidas por evaporación por deficiencias técnicas detectadas en el equipo.

- 2 El funcionamiento del equipo de destilación se mejora con el recubrimiento de las tuberías que lo necesitan y con la transformación del condensador; se mejora además el ambiente en el local de trabajo con el extractor de aire instalado.
- 3 Con el equipo modificado aumenta el rendimiento de la operación en un 5,5 %, las pérdidas por evaporación disminuyen a un 4,2 % y el rechazo por control de la calidad desciende en un 10,7 % por lo que las transformaciones realizadas fueron efectivas.
- 4 Desde el punto de vista ambiental se logran mejoras con la disminución de la temperatura del local de trabajo, se disminuye la incidencia por quemaduras en la piel de los técnicos, los cuales también se afectan en menor medida por la exposición a los vapores de furfural, y por tanto, las zonas aledañas sufren menos contaminación.

5 Como impacto económico se logra un ahorro de 8 kW-h/Lote (560 kW-h/año), se deja de emitir a la atmósfera (por reducción de pérdidas) 7 litros de furfural/Lote de 50 litros que representan un ahorro de 6,8 CUC o 189 • si se emplea el furfural importado. De sustituir el furfural importado por el cubano se ahorran aproximadamente 24/L que puede representar un ahorro de 39 000 •/año de producción.

Bibliografía

1. <http://es.wikipedia.org/wiki/Furfural> [Accesado el 7 de Abril de 2009]
2. <http://www.cosmos.com.mx/tec/cz8w.htm?search=furfural> [Accesado el 7 de Abril de 2009]
3. <http://www.merck-chemicals.de/furfural> [Accesado el 1 de Julio de 2009]
4. http://www.merck-chemicals.com/furfural/MDA_CHEM-804012 [Accesado el 6 de Julio de 2009]
5. PERRY, Robert H. Chemical Engineers Hand Book, Quinta Edición. Tomo 1.1984.
6. Procedimiento Normalizado de Operación. Funcionamiento y cuidado de la bomba peristáltica. Manual de Calidad. CBQ. 2007.
7. Procedimiento Normalizado de Operación. Funcionamiento y cuidado de la bomba de vacío II. Manual de Calidad. CBQ. 2007.
8. Procedimiento Normalizado de Operación para el funcionamiento del sistema de calentamiento de aceite. Manual de Calidad. CBQ. 2007.
9. Procedimiento Normalizado de Operación para el funcionamiento del evaporador - destilador de acero inoxidable. Manual de Calidad. CBQ. 2007.
10. Procedimiento Normalizado de Operación. Destilación de Furfural. Manual de Calidad. CBQ. 2007.
11. Maraven, Boletín técnico # 13, 1998.