

Diseño de procesos intensificados para producción y purificación del 2-Metiltetrahydrofurano

Design of intensified processes for production and purification of 2-Methyltetrahydrofuran

Heriberto Alcocer García¹, Antonio José Martínez Méndez², Edgar Manuel López González²

¹Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Guanajuato, Av. Benito Juárez 77, Guanajuato, Gto., 36000, México.

²Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato, Noria Alta s/n, Guanajuato, Gto., 36050, México

h.alcocer@ugto.mx¹ aj.martinezmendez@ugto.mx² em.lopez.gonzalez@ugto.mx²

Resumen

En la actualidad, el enorme consumo de productos y combustibles fósiles en la sociedad ha provocado graves problemas energéticos y ambientales en el mundo. Con el fin de reducir la dependencia de los productos fósiles, los esfuerzos en investigación se dedican al desarrollo de productos de fuentes renovables que puedan actuar como sustitutos de sus homólogos fósiles. Los bioproductos, por ejemplo, destacan como candidatos prometedores para un futuro más sustentable. Uno de estos bio-productos es el 2-Metiltetrahydrofurano (2-MTHF), que es uno de los bio-productos más importantes en la industria debido a su gran potencial y a sus grandes propiedades como combustible alternativo. Este proyecto se dividió en dos etapas. En la primera etapa se implementaron estrategias para la reducción del consumo energético para la producción y purificación del furfural, con la intención de reducir el costo total de producción del 2-MTHF. En segunda etapa se realizaron videos de divulgación sobre el 2-MTHF y los bioproductos, esto mediante la multiplataforma digital Filmora. Para la intensificación del proceso de producción de furfural, se realizaron cuatro arreglos distintos, dos enfocados a reducir el proceso a una sola columna de destilación reactiva y otros dos diseños donde se utilizan acoplamientos térmicos como técnica de intensificación. Se obtuvo que, de los cuatro diseños propuestos, únicamente el arreglo de la columna térmicamente acoplada cumplió con las expectativas al lograr una pureza molar de 0.98 y una corriente de 85.54 kg/h del para el componente furfural, condiciones necesarias para ingresar al reactor químico que produce el 2-MTHF. Este diseño permitió un ahorro energético por parte de la carga térmica de 101 KW. Dentro de los resultados de los videos de divulgación se diseñaron y editaron dos videos informativos, teniendo el primero una duración de 8:41 minutos y el segundo una duración de 9:57 minutos. Contribuyendo con ello a la investigación y divulgación de los bioproductos, en especial del 2-MTHF.

Palabras clave: Bioproductos; Biomasa; 2-MTHF; Intensificación de procesos.

Introducción

Entre las 25 principales preguntas relacionadas con la ciencia en el próximo cuarto del siglo XXI, la siguiente pregunta ocupa el puesto 24: "¿Qué podría reemplazar al petróleo barato y cuándo?". En la actualidad, menos del 10% de los productos químicos y materias primas que ofrece la industria química se generan a partir de biomasa. A nivel europeo, se propuso que el 20% del total del consumo de energía para 2020 debería estar cubierto por fuentes de energía renovables y que el 10% del transporte por carretera debería funcionar con biocombustibles. En este contexto, parece que la biomasa jugará un papel importante y podría representar una solución valiosa para resolver el problema de la energía y las materias primas para la industria química y otras. Al mismo tiempo, una nueva filosofía podría conducir a nuevas oportunidades para asegurar una compatibilidad cada vez mayor entre el procesamiento de la biomasa y la protección del medio ambiente de acuerdo con el concepto de química verde [1].

Así pues, ha comenzado a surgir una industria para la producción de biocombustibles limpios y renovables a partir de materias primas agrícolas y forestales, y la biotecnología puede utilizarse para convertir la biomasa, los residuos y los desechos vegetales en biocombustibles y productos bioquímicos en lugar de alimentos y piensos. En vista de las cambiantes necesidades energéticas mundiales, la investigación y una hoja de ruta para la biorrefinería del siglo XXI son vitales. Esta visión de la biorrefinería contribuirá a la sostenibilidad no solo por su dependencia inherente de los recursos sostenibles, sino también por el reciclaje de residuos y todo el proceso se convertirá en carbono neutral. Aprovecha

nuestro conocimiento en genética vegetal, bioquímica, biotecnología, química de biomasa, separación e ingeniería de procesos para tener un impacto positivo en el bienestar económico, técnico y ambiental de la sociedad [1].

La biomasa lignocelulósica se destaca como un candidato prometedor en los últimos años. La lignocelulosa de los residuos agrícolas o forestales podría convertirse eficazmente en diversos recursos energéticos o productos químicos valiosos. Entre los muchos productos químicos derivados de la biomasa, el furfural y el ácido levulínico son uno de los productos químicos de plataforma de biomasa más importantes debido a su alta disponibilidad y gran versatilidad química [2].

El 2-metiltetrahidrofurano (2MTHF) desempeña un papel crucial en la industria de los combustibles, ya que sirve como componente de combustibles alternativos y disolvente para los procesos relacionados con los combustibles. Específicamente, se utiliza en los biocombustibles de la serie P, una familia de combustibles alternativos diseñados por el Departamento de Energía de los EE. UU., para reducir los gases de efecto invernadero y promover la energía renovable en el transporte [3].

También se ha identificado recientemente como un disolvente renovable con amplias aplicaciones en química orgánica. Como disolvente de éter, el 2MTHF posee una baja miscibilidad con el agua, una fuerte basicidad de Lewis y una alta estabilidad en medio ácido, lo que hace que el 2MTHF sea una mejor opción que el tetrahidrofurano o el diclorometano en una variedad de reacciones orgánicas, como las reacciones de Grignard y las sustituciones nucleofílicas. Los rendimientos de los productos de adición de los reactivos de Grignard de bencilo preparados en 2-MTHF son casi cuatro veces mayores que en tetrahidrofurano. Además de los disolventes, el 2MTHF ha demostrado su potencial como aditivo para combustibles renovables debido a sus mejores propiedades de combustión en comparación con el etanol, incluyendo un mayor poder calorífico, un menor calor de vaporización y una menor solubilidad en agua. El potencial del 2MTHF como disolvente o combustible ha atraído a los investigadores a estudiar la producción de 2MTHF [2]. En estas investigaciones se han encontrado distintas rutas de síntesis para la obtención del 2-MTHF por medio de distintos compuestos como el furfural y el ácido levulínico.

Obtención del 2-Metiltetrahidrofurano a partir del Furfural.

El furfural es un producto bioquímico renovables procedente de la biomasa lignocelulósica. El furfural es uno de los compuestos químicos de base biológica más importantes dentro de la producción en biorrefinería. El furfural suele ser empleado como intermediario para la producción de otros compuestos más de 1600 tipos de productos químicos son derivados directos o indirectos del furfural, que son ampliamente utilizados en medicina, pesticidas, resinas, hilatura y aceite, etc. El mecanismo de síntesis del furfural a partir de biomasa lignocelulósica es descrito por Metkar [10], donde a partir de biomasa lignocelulósica se obtiene la hemicelulosa que es tratada e hidrolizada a xilosa, posteriormente la xilosa sufre una deshidratación y se obtiene el furfural [4]. La producción de El 2-metiltetrahidrofurano a partir de furfural, se lleva a cabo en una serie de reacciones las cuales se pueden considerar en dos pasos. Por una parte, la hidrogenación-desoxigenación de furfural a 2-metilfurano (2-MF) y posterior hidrogenación de 2-MF a 2-MTHF, dejando a su paso diversos productos [4].

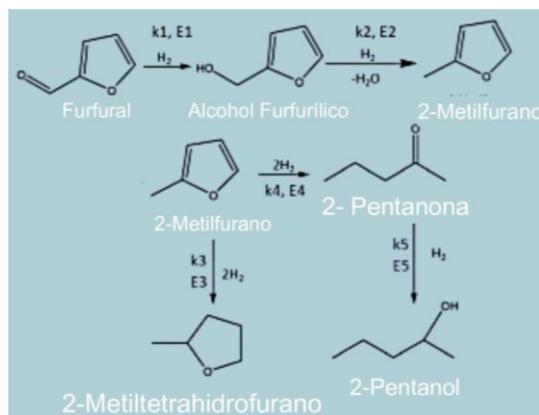


Figura 1. Ruta de síntesis del 2-MTHF a partir del Furfural.

Obtención del 2-Metiltetrahidrofurano a partir del ácido levulínico.

El ácido levulínico (LA) es considerado dentro de los doce principales productos químicos provenientes de biomasa en términos de potencial de mercado, por su gran número de aplicaciones. A pesar de su condición de producto químico especializado en un mercado relativamente pequeño de alto valor agregado (i.e. aproximadamente 1 millón lb/año a 4.00 USD a 6.00USD/lb), el ácido levulínico tiene un enorme potencial como materia prima económica para producir una gama de productos de importancia industrial. La producción de LA involucra una etapa de pretratamiento, una hidrólisis enzimática y una hidrólisis ácida. Como producto de la hidrólisis ácida, se obtiene una corriente diluida con gran contenido de agua. En consecuencia, el costo de procesamiento es alto debido al alto consumo energético para la separación. La destilación reactiva (RD) permite que la reacción química y la separación tengan lugar simultáneamente dentro de la columna, proporcionando así un valioso efecto sinérgico que supera las limitaciones de equilibrio de muchas reacciones un ejemplo de ellas la hidrólisis [4].

La producción de El 2-metiltetrahidrofurano a partir del ácido levulínico, se lleva a cabo en una serie de reacciones de hidrogenación y deshidratación llegando al intermediario γ -valerolactona. Después de esto se abre el anillo pasando a ser el 1-4 pentanodiol y teniendo el grupo saliente OH y cerrarse el anillo se crea el 2-MTHF, teniendo varios subproductos a través de su mecanismo.

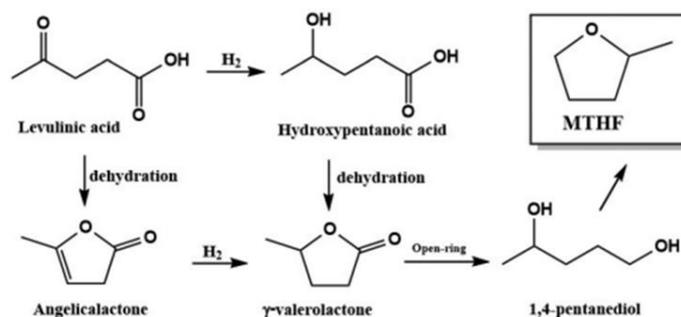


Figura 2. Ruta de síntesis del 2-MTHF a partir del ácido levulínico.

Metodología

Debido a la extensión del proyecto se decidió dividir el presente trabajo en dos vertientes, teniendo que la primera se haría cargo del rediseño en esquemas de destilación para la producción del 2-MTHF a través del software ASPEN y la segunda se encargaría de la difusión de temas como los bio-productos lignocelulósicos y acerca del 2-Metiltetrahidrofurano por medio de videos donde se trataría el que es, de donde vienen, de su importancia y como es que se obtienen. Se considero que esta división de tareas seria de suma importancia para poder abrir el panorama acerca de los trabajos realizados sobre el 2-MTHF y su conocimiento hacia la sociedad de cómo es que los bio-productos van ayudando e impactando al mundo a ser más sustentable.

Rediseño esquemas de destilación

El proceso de producción de 2-MTHF se divide en tres etapas principales, la recepción y preparación de la materia prima, la producción y refinación de furfural y la producción y purificación de 2-MTHF. La segunda etapa comprende la etapa más compleja, puesto que se compone de un proceso de destilación reactiva acompañado de una operación de decantación y destilación simple, junto con sus respectivas recirculaciones, presentes en la figura 3 la cual muestra la etapa 1 de color rojo, la etapa 2 de color verde y la etapa 3 de color azul [11].

Durante la primera etapa se ingresa la materia prima al proceso por medio de dos corrientes, una rica en agua acompañada de Furfural, ácido acético y D-Xilosa en menor proporción, la segunda corriente se compone puramente de ácido acético, ambas corrientes ingresan a un mezclador para generar una sola corriente la cual se traslada a la segunda etapa. Las composiciones de las corrientes presentes se muestran en la tabla inferior.

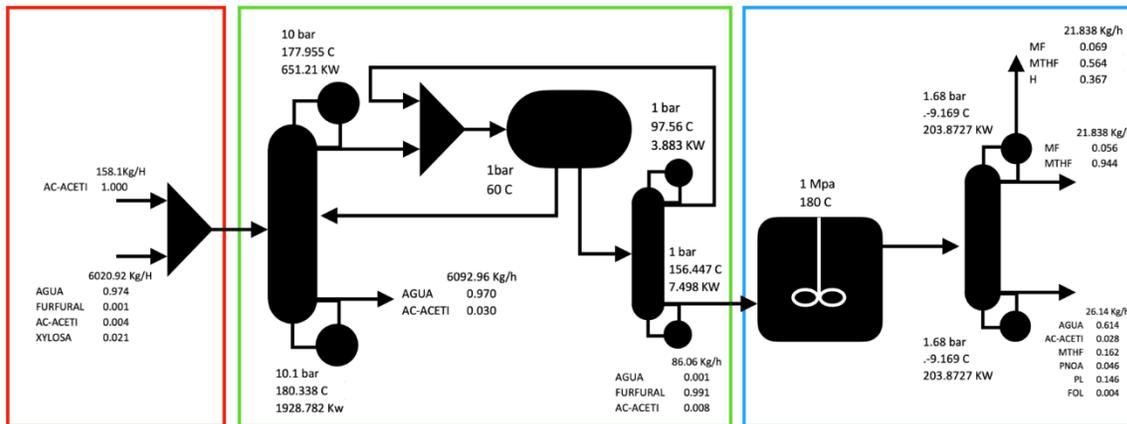


Figura 3. Diagrama general de proceso.

Tabla 1. Flujos masicos resultantes de las primeras corrientes.

Componentes/ Corriente	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Unidades
Agua	5864.37608	0	5864.37608	Kg/h
Furfural	6.02092	0	6.02092	Kg/h
Ácido Acético	24.08368	158.1	182.18368	Kg/h
D-Xilosa	126.43932	0	126.43932	Kg/h
Total	6020.92	158.1	6179.02	Kg/h

La segunda etapa consta de una columna de destilación reactiva, dicha columna se compone de 29 etapas totales, 2 corrientes de alimentación y sus respectivas salidas de producto por domo y fondo, cabe mencionar que, la corriente de alimentación principal, resultante de la etapa 1, entra en la décima etapa. La reacción química se presenta desde la etapa 6 a la 20 y esta se encuentra descrita junto con las condiciones de la reacción se muestran en la figura 4. La presión del condensador es de 10 bar y la columna presenta una caída de presión de 0.1 bar. El producto resultante del domo de la columna se hace pasar por un decantador, a 1 bar de presión y 60°C, cuyo objetivo es realizar una separación de dos fases líquidas las cuales se distribuyen en dos corrientes, una rica en agua y otra en furfural.

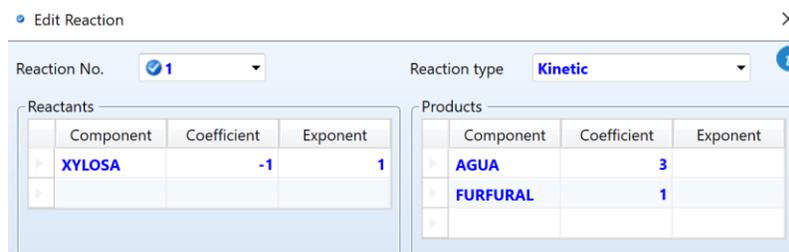


Figura 4. Ruta de síntesis del 2-MTHF a partir del ácido levulínico.

La corriente rica en agua se recircula directamente a la columna principal, entrando en la doceava etapa. Mientras que la corriente resultante se pasa a una columna de destilación convencional la cual termina por retirar la cantidad de agua presente. La columna se compone de 5 etapas totales, una presión en el condensador de 1 bar, la alimentación se realiza en la segunda etapa. Por el domo sale una corriente que se recircula al decantador, en el apartado de fondo se recupera una corriente de 86.059 kg/h con una pureza molar para el furfural de 0.9817. Esta última corriente se pasa a la tercer y última etapa.

Tabla 2. Flujos masicos de corrientes resultantes de la etapa 2.

Componentes/ corriente	4	5	6	7	8	9	10

Agua	5864.376	396.341	5909.034	395.822	4.160	4.079	0.081
Furfural	6.021	138.122	0.403	52.184	88.550	3.292	85.258
Ácido Acético	182.184	9.697	182.581	10.095	1.209	0.489	0.720
D-Xilosa	126.439	0.000	0.942	0.000	0.000	0.000	0.000
Fuente	Etapas 1	Domo 1	Fondo 1	Decantador	Decantador	Domo 2	Fondo 2
Destino	Primera columna	Decantador	-	Primera columna	Segunda columna	Decantador	Etapas 3

La tercera etapa se compone únicamente de un reactor químico y una columna de destilación convencional. Inicialmente se alimenta al reactor la corriente resultante de la segunda etapa del proceso junto con una segunda corriente, pura en hidrógeno. Es un reactor RCSTR que opera a 1 Mpa y 180°C, únicamente trabaja con fases líquidas y con un tiempo de residencia de 0.46 horas. Las cinéticas están descritas en la tabla inferior.

Tabla 3. Reacciones químicas y constantes cinéticas

Rxn No.	Reaction type	Stoichiometry	K	E (Kcal/mol)
1	Kinetic	FURFURAL + H --> FOL(MIXED)	1716.510	5.416
2	Kinetic	FOL + H --> MF(MIXED) + AGUA(MIXED)	284.138	7.427
3	Kinetic	MF + 2 H --> MTHF(MIXED)	440.219	11.416
4	Kinetic	MF + 2 H --> PNOA(MIXED)	209.968	13.091
5	Kinetic	PNOA + H --> PL(MIXED)	207.972	12.113

$$\text{Factor Cinético} = ke^{-E/RT}$$

Por último, se tiene la columna de destilación para la purificación de 2MTHF, esta columna se compone de 22 etapas totales, con un condensador parcial, 1 corriente de alimentación y 3 corrientes de producto, una de fondos y dos por domos. La presión de operación del condensador es a una atmósfera y la columna tiene una caída de presión de 10 psia. El condensador tiene una fracción de vapor de destilado en mol de 0.87.

Tabla 4. Flujos masicos resultantes de las corrientes de la columna de destilación de la etapa 3.

Componentes/ Corriente	12	13	14	15
Agua	16.04334385	7.33E-16	9.66E-14	16.04334385
Furfural	0.001949749	3.03E-36	1.75E-32	0.001949749
Ácido Acético	0.719749678	6.71E-17	6.71E-15	0.719749678
D-Xilosa	0	0	0	0
MF	4.460845788	1.50566369	2.9551758	6.30E-06
MTHF	66.69637197	12.3188066	50.1433114	4.234254041
PNOA	1.204474614	2.72E-11	1.60E-09	1.204474612
PL	3.826145685	3.13E-36	7.07E-32	3.826145685
FOL	0.112221148	2.18E-47	2.74E-42	0.112221148
H	8.01411415	8.01411409	5.58E-08	1.53E-10
Fuente	Reactor	Domo 3	Domo 3	Fondo
Destino	Columna	-	-	-
Fracción molar de vapor	0	1	0	0

La intensificación de procesos consiste en la aplicación de nuevas tecnologías que permitan reformular un proceso de tal forma que sea más pequeño, seguro, limpio o eficiente energéticamente. [5] De este modo se sugirieron cuatro rediseños de proceso enfocados en la segunda etapa con el objetivo de reducir el tamaño o número de equipos, así como aumentar

su eficiencia energética. Esto supondría una disminución del costo total anual del proceso. Para ello todas las propuestas deban cumplir con la pureza y flujo molar resultante que se ingresa al reactor químico del proceso original.

Esquemas de destilación de una sola columna

Para los dos primeros rediseños, se optó por eliminar la columna de destilación simple, recirculando ambas corrientes provenientes del decantador a la columna de destilación reactiva. En el caso de la primera propuesta, se estimó una cantidad de etapas totales al comprender las etapas de ambas columnas presentes en el proceso, posteriormente se agregó una corriente lateral con el objetivo de disminuir la cantidad de agua presente en la columna.

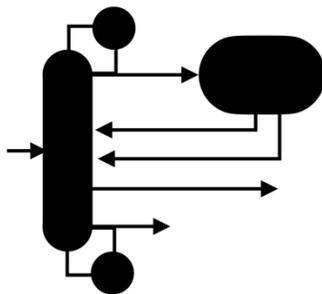


Figura 5. Diagrama del primer caso.

Para la segunda propuesta, nuevamente se estima la cantidad de etapas totales al sumar las etapas de ambas columnas presentes en el proceso original, se pretende realizar una recirculación de las dos corrientes provenientes del decantador a la columna resultante por diferentes etapas. Además, se colocó una corriente lateral de la columna de destilación reactiva la cual alimenta el decantador. Como se muestra en la figura.

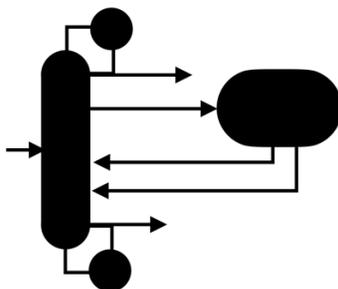


Figura 6. Diagrama del segundo caso.

Como el objetivo de la segunda etapa es proporcionar una corriente de Furfural de una composición y flujo determinado para suministrar al reactor químico, estos arreglos deben cumplir con estos requisitos para ello se requiere realizar modificaciones en las especificaciones de estos para llegar a la corriente deseada.

Esquemas de destilación de columna de destilación reactiva acoplada.

Para la tercera propuesta se buscó realizar un ahorro energético por medio de un acople térmico a la columna de destilación reactiva. La cantidad de etapas presente en la columna reactiva era la misma que el sistema original, mientras que para dicho acople contaba con las etapas correspondientes a la columna convencional del proceso, además de ser alimentada por la segunda corriente proveniente del decantador y una corriente de líquido de la columna reactiva. Dentro de las corrientes de productos se espera lograr una corriente de vapor que recirculé a la columna reactiva y una corriente de producto por fondos la cual se espera cumpla con los criterios para la corriente de ingreso al reactor químico.

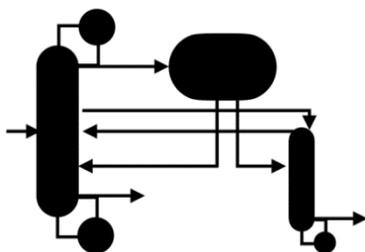


Figura 7. Diagrama de caso tres, sistemas acoplados.

De forma similar para el último arreglo se optó por la columna Petlyuk, buscando su equivalente en columnas de etapas, teniendo una columna de destilación reactiva con un acople con dos recirculaciones y una corriente de entrada, correspondiente a la segunda corriente del decantador y una corriente lateral de producto por la cual se busca cumplir con las especificaciones.

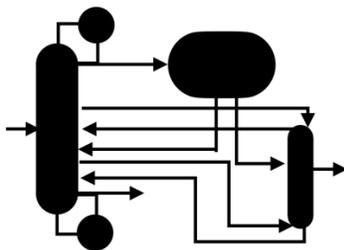


Figura 8. Diagrama de caso cuatro, sistemas acoplados.

Para la elaboración de las simulaciones se utilizó el programa Aspen Plus V12, con el modelo termodinámico NRTL.

Elaboración de los videos de divulgación

La primera parte de la elaboración de los videos incluyo una búsqueda bibliográfica acerca de los bioproductos, la biomasa lignocelulósica, la importancia de usar recursos renovables y el dejar de utilizar los productos fósiles para la búsqueda de reducir los problemas ambientales y energéticos. De esta búsqueda se recolecto información específica de los temas anteriores y se dividió hablando primero de lo más general como los bioproductos hasta lo más importante que era la producción a partir de biomasa lignocelulósica del 2-Metiltetrahidrofurano.

Una vez recolectada la información pasamos a la elaboración de los videos ayudándonos de la aplicación Filmora, un editor de video muy interesante con diversas herramientas para la creación de contenido innovador y accesible.



Figura 9. Logo de Filmora

La aplicación cuenta con diverso contenido de videos, música, transiciones, efectos y fondos que ayudan bastante a la edición del video, además cuenta con otras herramientas para grabar la voz y para importar material de una manera sencilla.

Como primer paso para realizar el video abrimos un nuevo proyecto en la página principal de Filmora para tener nuestro espacio donde vamos a trabajar.

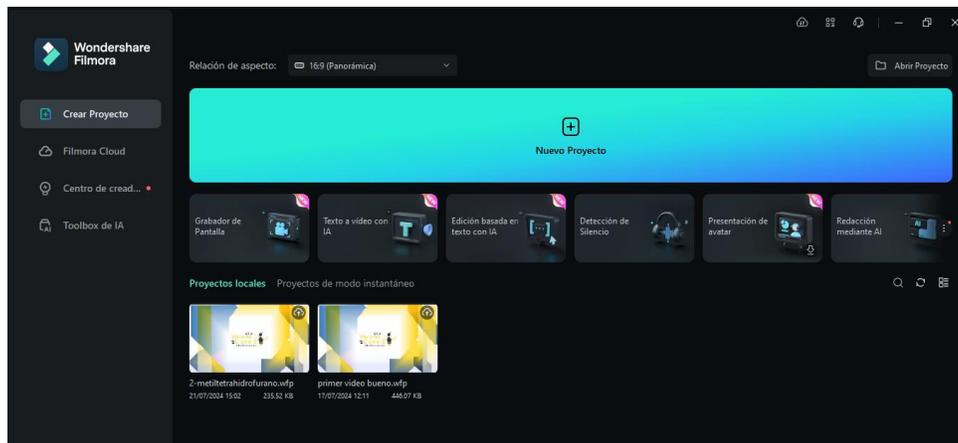


Figura 10. Seleccionar nuevo proyecto desde la página principal de Filmora.

Después nos abrirá otra página donde empezaremos a trabajar. Esta tiene varias herramientas donde podremos importar videos, agregar música, títulos, transiciones, efectos, stickers, etc. Estas ubicadas en la parte superior izquierda.

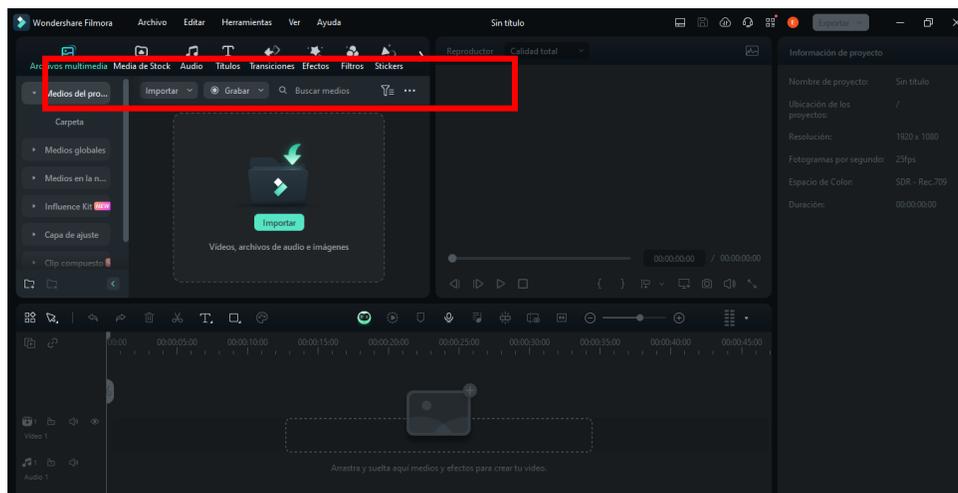


Figura 11. Plantilla para trabajar en Filmora ubicando las herramientas de edición en la parte superior izquierda.

En esta plantilla tenemos ubicada una línea del tiempo donde se divide en partes para agregar los elementos de edición anteriores, esta nos ayudara en la edición para acomodar todo el contenido por tiempos para tener el orden que nosotros queramos.

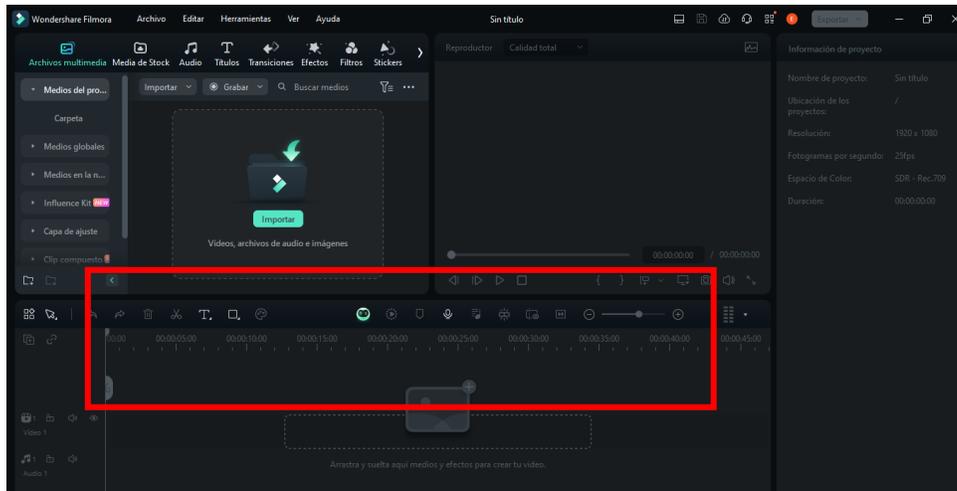


Figura 12. Línea del tiempo.

Una vez que vayamos añadiendo contenido a nuestra línea del tiempo podremos visualizar como va quedando la edición en el reproductor ubicado arriba de la línea del tiempo.

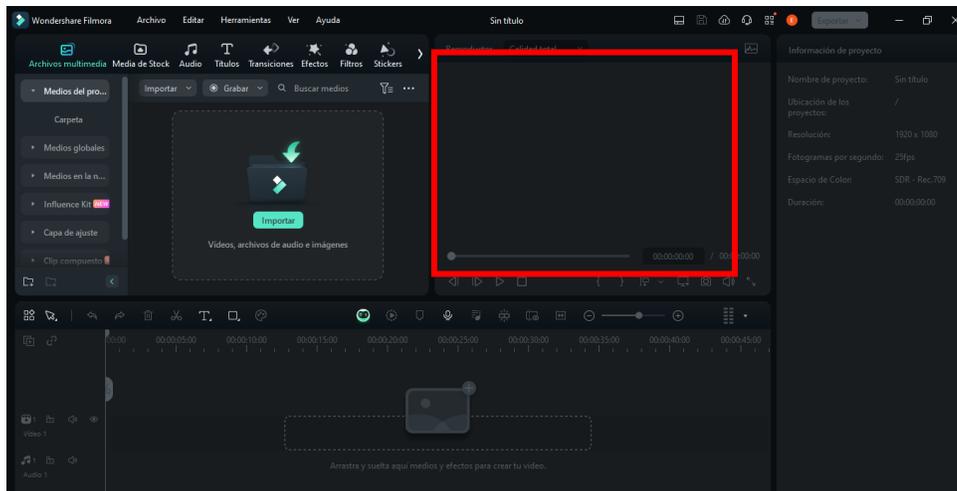


Figura 13. Reproductor de video.

Empezando a crear el video se le agrego primeramente el audio con toda la información que iba a contener. Para esto nos ayudamos de la herramienta de grabar voz en el icono del micrófono y empezamos a grabar con nuestra propia voz todo el contenido parte por parte.

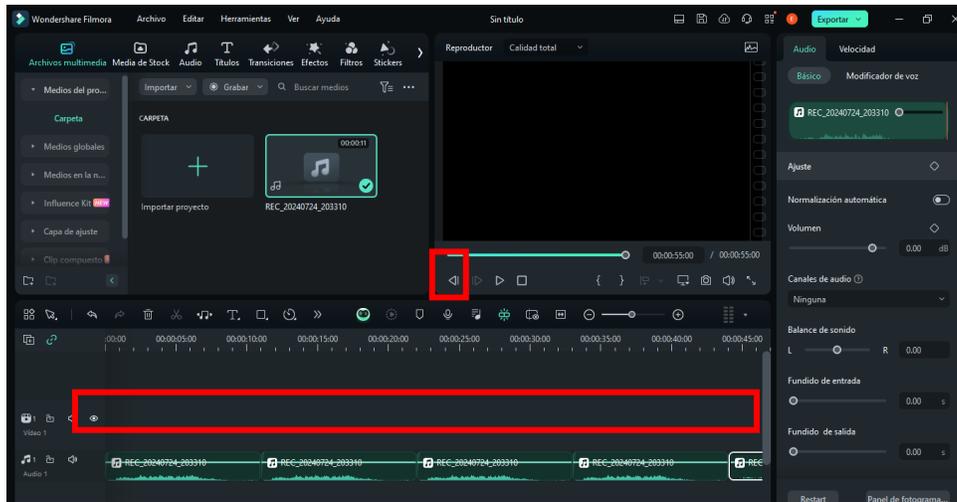


Figura 14. Contenido de audio y herramienta para grabar la voz.

Ya teniendo todo el audio grabado, lo que se realizó después fue agregar elementos de video que la aplicación incluye en la sección de Media de Stock en la barra de herramientas. Esta funciona con base de inteligencia artificial y entonces para agregar videos le vas pidiendo sobre qué temas quieres los videos y esta te arroja algunas opciones con distintas duraciones. Entonces lo que se hizo fue buscar videos relacionados con los bioproductos, la biomasa, los bioprocesos, entre muchos otros para lograr que mientras el audio se reproducía tuviera relación con los videos mostrados en la pantalla.

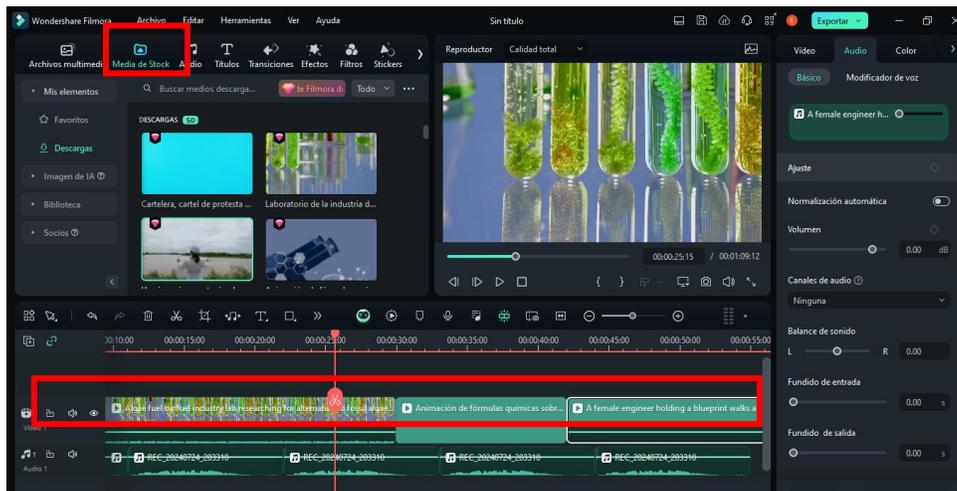


Figura 15. Contenido de video y herramienta para búsqueda de videos por medio de IA.

Luego para edición del video le agregamos textos, transiciones entre videos y música de fondo para mejorar nuestro video y sea más atractivo y lo más fluido posible.

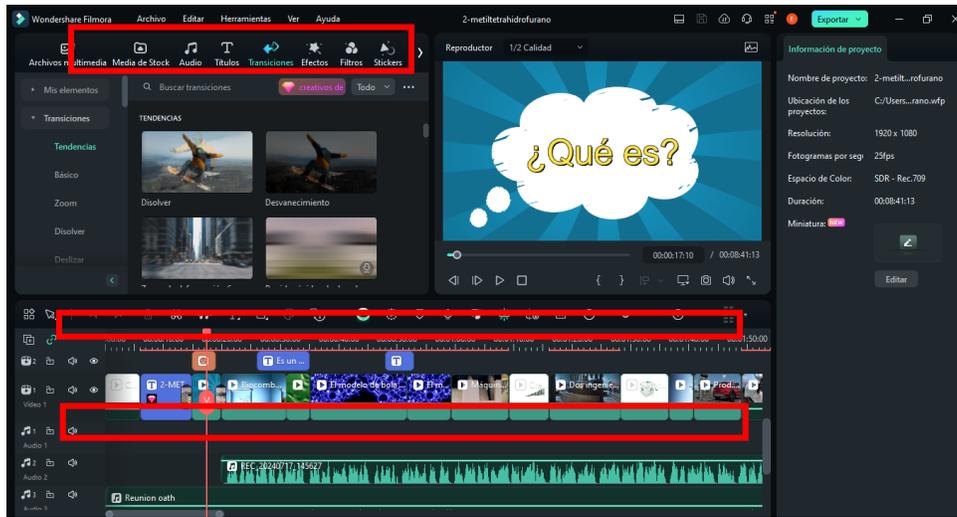


Figura 16. Los elementos de edición sirven para mejorar el video y hacerlo más atractivo e interesante.

Haciendo que todos los elementos tuvieran orden y sintonía perfecta se procedió a descargar los videos y exportarlos en formato MP4.

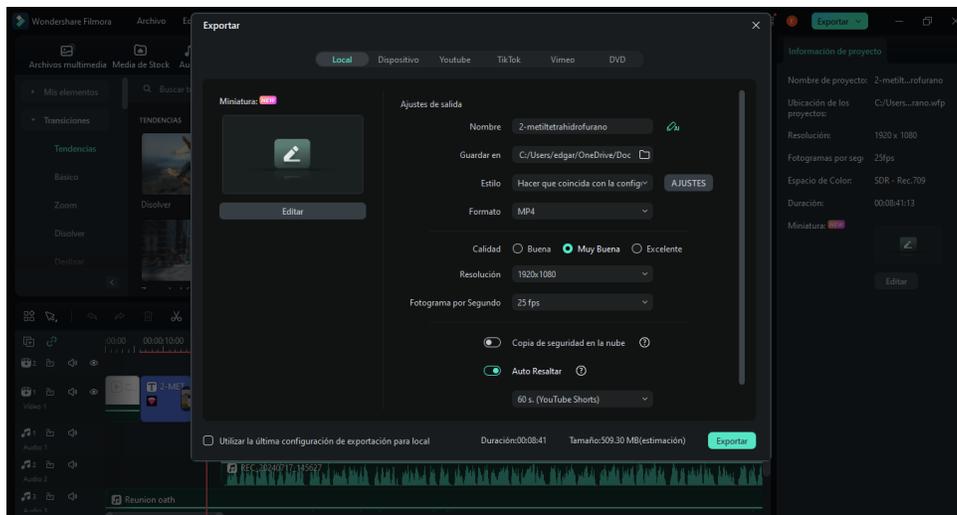


Figura 17. El video se puede exportar en formato MP4 en tu almacenamiento local o se puede subir directo a otras aplicaciones como YouTube.

Para una mejor secuencia y comprensión, se puede seguir el siguiente diagrama de flujo para crear tu video siguiendo paso por paso las indicaciones.

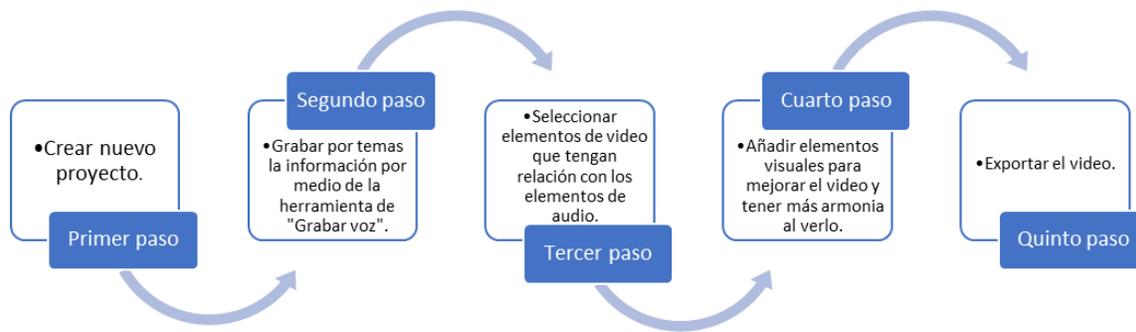


Figura 18. Diagrama de flujo recomendado para crear un video en el programa Filmora.

Resultados

Rediseño esquemas de destilación

El primer caso se compone de una columna de destilación reactiva de 34 etapas totales, el rango de etapas reactivas va desde la etapa 6 a la 20, la reacción es la misma definida en el proceso original. Después de realizar un análisis se determinó que el reflujo máximo posible es de 0.01. Las variables para la modificación de la composición de las corrientes de producto corresponden a las etapas de ingreso de las corrientes provenientes del decantador, el flujo masico de la corriente lateral, la etapa de salida de la corriente lateral y el flujo másico de destilado. Se realizaron subsecuentes simulaciones variando dichos valores, sin embargo, en la mayoría de los casos el comportamiento de la pureza de Furfural de las tres corrientes de producto de la columna son similares al gráfico 1.

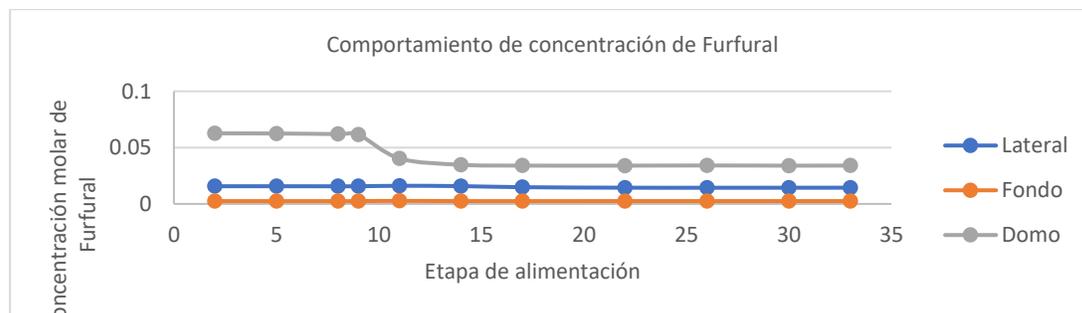


Figura 19. Pureza de furfural dependiendo de la etapa de alimentación

Como se puede observar en el gráfico anterior la pureza no aumenta de forma apreciable, en ninguna de las modificaciones se logró aumentar la pureza, esto se debe principalmente a la abundante cantidad de agua presente en el sistema, la cual se refleja en las tres corrientes de salida. A continuación, se muestra un diagrama del proceso especificado.

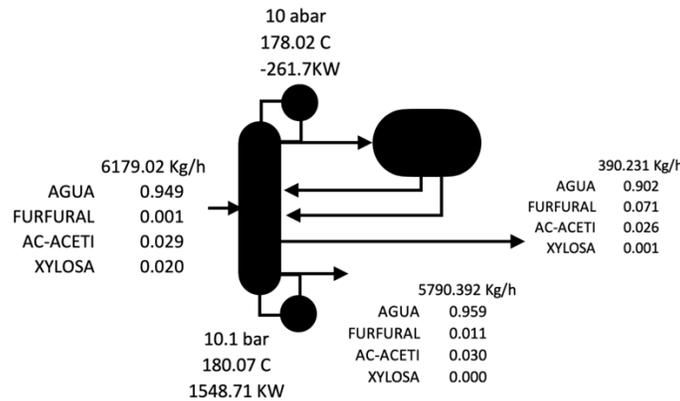


Figura 20. Diagrama de resultados primer caso

El segundo caso, nuevamente se compone de una columna de destilación reactiva de 34 etapas totales, el rango de etapas reactivas va desde la etapa 6 a la 20, la reacción es la misma definida en el proceso original. Después de realizar un análisis se determinó que el reflux ratio mínimo posible es de 1. La principal diferencia con el caso anterior es la corriente que se destina para el decantador, en este caso la corriente lateral alimenta dicho equipo. Las variables para la modificación de la composición de las corrientes de producto, nuevamente, corresponden a las etapas de ingreso de las corrientes provenientes del decantador, el flujo masico de la corriente lateral, la etapa de salida de la corriente lateral y el flujo másico de destilado. Sin embargo, al momento de realizar el diseño se presentó la dificultad de una restricción en la salida lateral con un flujo masico de 500 kg/h. Las condiciones de esta corriente al momento de ser conectadas al decantador generan una sola fase, por lo que no se puede realizar una separación. Este impedimento descalifica este arreglo para su estudio

Para el tercer caso, nuevamente se utilizó una columna RadFrac para simular la columna de destilación reactiva, la reacción química dentro de la columna se realizaba desde etapa 6 a la etapa 20. Para este caso se contaba con un acople térmico a esta columna, el cual cuenta con 5 etapas totales. Para este caso la corriente resultante rica en furfural contaba con una pureza de 0.99 molar de furfural y un flujo masico de 84.843 kg/h. Además, este presentaba una carga térmica total de 1842.1167 KW.

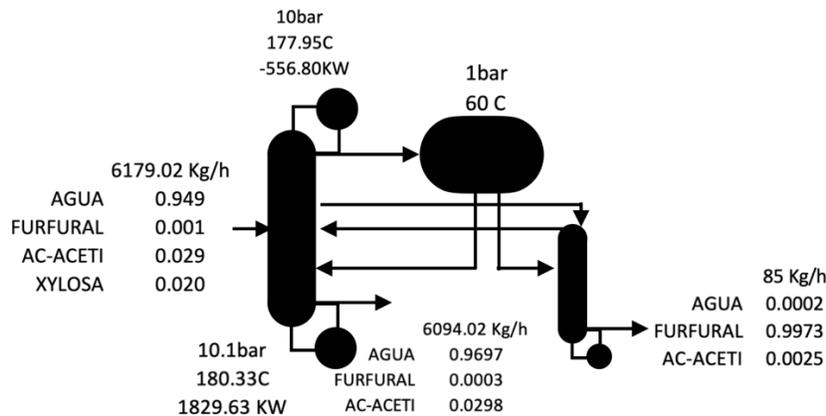


Figura 21. Diagrama de resultados tercer caso

Para el cuarto y último caso, partiendo de condiciones similares al caso anterior, es decir una columna reactiva de mismas especificaciones, se coloca un acople posfraccionador de 5 etapas con dos recirculaciones a la columna principal y una salida lateral la cual es rica en furfural. Para este caso se logró un flujo masico de 52.578 kg/h de furfural, sin embargo, se cuenta con una pureza molar de 0.54.

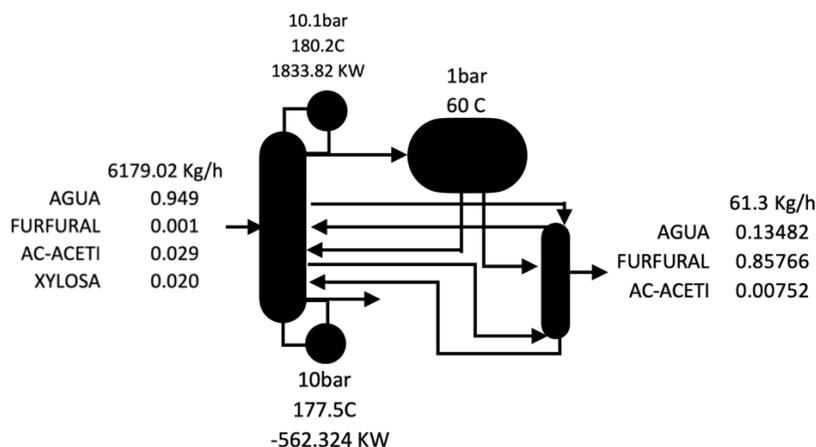


Figura 22. Diagrama de resultados cuarto caso

Tras la elaboración de las simulaciones de los respectivos arreglos, se realizó una tabla comparativa de las distintas condiciones y características de cada arreglo.

Tabla 5. Comparación de resultados de los distintos arreglos realizados.

Características	Original	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4	Unidades
Pureza	0.9820462			0.99	0.54	fracción mol
Flujo	84.6955817			84.843	52.587	Kg/h
Carga Térmica	1934.58262			1842.11668	1833	KW
Etapas Columna Reactiva	29	34	34	29	29	-
Segunda columna/Acople	5	-	-	5	5	-

Videos de divulgación

El primer video titulado “**Bioproductos provenientes de la biomasa lignocelulósica**” se ve de forma general que son los bioproductos y la importancia que tienen en búsqueda de una sociedad más sustentable para después ver de forma más específica la biomasa proveniente de la lignocelulosa con algunos ejemplos de bioproductos que se pueden obtener de ella.

Temas que se ven en el video:

- ¿Qué son los bioproductos?
- ¿De dónde se obtienen los bioproductos?
- Importancia de los bioproductos con el ambiente
- Impacto de los productos fósiles al ambiente
- Avances tecnológicos sustentables
- ¿Qué es la biomasa?
- Tipos de biomasa
- Biomasa lignocelulósica
- Componentes de la biomasa lignocelulósica
- ¿Qué se puede obtener de cada tipo de biomasa lignocelulósica?
- Ejemplos de bioproductos

Link:

<https://ugtomx.sharepoint.com/:v/s/Verano2024UG/ERBLCww2xNFMhiwSoUHSFVkbUvamtajbk5KbIFuCti0L3Q>

El segundo video titulado “**2-Metiltetrahidrofurano**” nos habla acerca de este bioproducto sobre qué es y sus aplicaciones que tiene en diversas cuestiones como la de combustibles, farmacéutica, polímeros, agroquímica, etc. Viendo también sus rutas de síntesis a través del furfural y del ácido levulínico.

Temas que se ven en el video:

- ¿Qué es el 2-Metiltetrahidrofurano?
- ¿Para qué sirve el 2-MTHF?
- Rutas de síntesis para la obtención del 2-MTHF
 1. Obtención a partir del furfural
 2. Obtención a partir del ácido levulínico

Link:

https://ugtomx.sharepoint.com/:v/s/Verano2024UG/EWqGCPnRMjBGoOELACP0TAQBMv_G3YrkiEvk3SC0i-tA2g?e=4q7vlo

Conclusiones

En este trabajo se implementó una investigación sobre la importancia de los bio-productos, así como la del 2-Metiltetrahidrofurano. En una primera etapa se estudiaron estrategias de intensificación de procesos a través de la reducción de equipos y acoplamiento térmico, en la parte de producción del furfural, etapa fundamental en la producción del 2-MTHF. Resultando que mediante la reducción de equipos si se logra la reducción en el consumo energético, pero los requerimientos de pureza y recuperación no son alcanzados. En los resultados de los sistemas acoplados, el diseño tipo Petlyuk no alcanza la pureza de producto necesaria, sin embargo, es necesario un mayor análisis de esta alternativa ya que cuenta con más grados de libertad que se pueden modificar para lograr la pureza. Por tanto, en esta parte, el diseño con un solo acoplamiento térmico por la parte del condensador el que presentó resultados satisfactorios, logrando una disminución del consumo energético total de 101 KW.

En una segunda etapa del proyecto se implementó un trabajo de divulgación, para promover a los bioproductos y en especial al 2-MTHF. Se propusieron y editaron 2 videos de divulgación, estos fueron elaborados en Filmora. Obteniendo dos videos sobre el bio-productos y 2-MTHF, con una duración de 9:57 y 8:41 minutos, respectivamente. Contribuyendo con ello al esparcimiento del conocimiento sobre este tipo de productos sostenibles y promoviendo la investigación en esta área.

Bibliografía/Referencias

- [1] Popa, V.I., 1 - Biomass for Fuels and Biomaterials, in Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of HighTechValue, V. Popa and I. Volf, Editors. 2018, Elsevier. p. 1-37.
- [2] Liu, P., et al., Efficient one-pot conversion of furfural into 2-methyltetrahydrofuran using non-precious metal catalysts. 2020. 490: p. 110951.
- [3] Gundekari, S.; Karmee, S.K. Catalytic Conversion of Levulinic Acid into 2-Methyltetrahydrofuran: A Review. *Molecules* 2024, 29, 242. <https://doi.org/10.3390/molecules29010242>
- [4] Ramírez, E. S., Silva, E. S. V., Sanchez, J. L. S., Valtierra, J. C. P., Valadez, M. A. L., Cuellar, S. E. A., & García, U. R. M. (2021). Obtención de bioproductos a partir de biomasa y acoplamiento de plantas de captura de CO₂. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 10. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3410>
- [5] Daoutidis, P., Zachar, M., & Jogwar, S. S. (2016). Sustainability and process control: A survey and perspective. *Journal Of Process Control*, 44, 184-206. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2016.06.002>
- [6] Xue, Z., Liu, Q., Wang, J., & Mu, T. (2018). Valorization of levulinic acid over non-noble metal catalysts: challenges and opportunities. *Green Chemistry*, 20(19), 4391-4408. <https://doi.org/10.1039/c8gc02001a>
- [7] Qué son los bioproductos. (s. f.). <https://www.lleidabiotech.com/castella/indlleida.html#:~:text=Los%20bioproductos%2C%20son%20el%20resultado,con%20la%20incorporaci%C3%B3n%20de%20enzimas%20>
- [8] Bengoa, I. O. (2017). *Levulinic acid conversion to 2-methyltetrahydrofuran over Ni-Cu/Al₂O₃ catalysts*. <https://addi.ehu.es/handle/10810/21908>
- [9] Fixe. (2022, 11 noviembre). Concurso Bioproductos - plataforma Bio-emprender. Plataforma Bio-emprender. <https://bio-emprender.iica.int/concurso-bioproductos/>
- [10] Metkar, P.S., et al., Reactive distillation process for the production of furfural using solid acid catalysts. *Green Chemistry*, 2015. 17(3): p. 1453-1466.
- [11] Solís J. L., Vázquez E. S. & Sánchez E. (2022) Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la obtención de bio-productos de alto valor agregado. *JÓVENES EN LA CIENCIA*. (s. f.). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3704/3197>