

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

Diseño de Reactor para Hidrodesoxigenación de Biodiesel de Primera Generación.

F. J. Olmos Lozano¹, M. Sánchez Cárdenas¹, J. Medina Valtierra².
javier.olmos92@hotmail.com manuel.sanchez@upa.edu.mx

¹Universidad Politécnica de Aguascalientes, Calle Paseo San Gerardo No. 207. Fracc. San Gerardo. C.P. 20342.
Aguascalientes, Ags. Tel: (449) 442-14-00

²Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Área de Posgrado, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote.
Fracc. Bona Gens, C.P. 20256. Aguascalientes, Ags., México, Mex.
Tel. (449) 910-50-02

ABSTRACT

Este proyecto de ingeniería enfocada a la investigación científica tiene como principal rama la optimización y producción de biodiesel de segunda generación a partir de la hidrodesoxigenación de biodiesel de primera generación. Es por ello que se requiere de un reactor que tenga las características funcionales, operativas y cuente con los componentes requeridos para llevar a cabo dicho proceso. Para realizar la hidrodesoxigenación de biodiesel, se requiere de un reactor de acero inoxidable con capacidad de 100 ml, presurización de hidrógeno en un rango de 20 a 90 bares y elevación de la temperatura del biodiesel a 400°C. Estos parámetros son difíciles de dominar para la mayoría de los reactores químicos, donde una alta temperatura combinada con la presurización de hidrogeno gaseoso genera un ambiente riesgoso para el operador del reactor y para la estabilidad de la propia estructura del reactor. Añadiendo que se requiere un medio con constante agitación, se reducen las posibilidades de utilizar reactores comunes y se incrementa la necesidad de diseñar un reactor que cumpla con estas condiciones de trabajo. El diseño del reactor contempla todos los requerimientos necesarios para el proyecto. El sistema está equipado con un dispositivo eléctrico de elevación de temperatura para la calefacción del tubo reactor. La configuración modular del sistema permite cambiar parámetros operativos para realizar nuevas tareas en cualquier momento. Se logró conformar un sistema de agitación magnética que no representara un riesgo de fugas de hidrógeno. Por lo que este diseño dispone un medio hermético para la cámara de reacción y con la interacción magnética entre el imán situado en el eje del agitador y el imán del agitador con aspas colocado dentro de la cámara, se puede mantener una agitación constante con velocidad regulada sin comprometer la integridad del reactor, ni la seguridad del medio que lo rodea.

1. Introducción

Este documento muestra la factibilidad de realizar un proyecto de ingeniería enfocada a la investigación científica que tiene como principal rama la optimización y producción de biodiesel de segunda generación a partir de la hidrodesoxigenación de biodiesel de primera generación. Es por ello que este proyecto se enfoca en el diseño de un reactor que tenga las características funcionales, operativas y cuente con los componentes requeridos para llevar a cabo dicho proceso de hidrodesoxigenación.

La preparación de cierto tipo de catalizadores para la hidrodesoxigenación de biodiesel requiere un proceso previo de reducción por medio de hidrógeno, por lo que es necesaria la implementación de un reactor capaz de realizar dicho proceso. Además, el proceso de hidrodesoxigenación de biodiesel requiere de un reactor con características especiales para inyectar pulsos de hidrógeno en condiciones específicas, por lo que es primordial diseñar un reactor que pueda cumplir con estos requerimientos para su construcción en un futuro.

El alcance que tiene dicho proyecto está limitado, ya que hace función como complemento de un proyecto más ambicioso y laborioso. Es por ello que sólo contempla el estudio de los elementos principales para llevar a cabo el diseño de un reactor químico capaz de realizar el proceso de hidrodesoxigenación de biodiesel de primera generación. Además de ser necesario para reducir los catalizadores a utilizar en dicho proceso de obtención de biodiesel, mediante pulsos de hidrogeno dentro de un medio a altas temperaturas.

Un reactor químico es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible. El diseño de un reactor químico requiere conocimientos de termodinámica, cinética química, transferencia de masa y energía, así como de mecánica de fluidos; balances de materia y energía son necesarios. Por lo general se busca conocer el tamaño y tipo de reactor, así como el método de operación, además en base a los parámetros de diseño se espera poder predecir con cierta certidumbre la conducta de un reactor ante ciertas condiciones, por ejemplo un salto en escalón en la composición de entrada.

La hidrodesoxigenación es una reacción química en la cual un grupo carboxilo es eliminado de un compuesto en presencia de hidrógeno produciéndose agua. La preparación de los catalizadores utilizados para activar la reacción de hidrodesoxigenación del biodiesel, requiere un preparado previo como parte de su proceso de elaboración que consiste en reducirlo mediante pulsos de hidrógeno. Es por ello que este reactor debe tener la capacidad de realizar esta tarea, de manera que no se requiera un equipo especial y se dificulte la realización del proyecto general.

En este proyecto se propone caracterizar un reactor para posteriormente realizar el diseño del mismo de manera que pueda realizar dicho proceso. Este diseño permitirá en un futuro construirlo y realizar la reducción de los catalizadores utilizados en el proceso de hidrogenación.

2. Sección Experimental

Para conformar un reactor que contenga los componentes principales y necesarios para llevar a cabo el proceso de hidrogenación partiendo de un reactor químico existente es necesario caracterizar y evaluar las condiciones en las que se encuentra dicho reactor. Esto con la finalidad de poder definir los accesorios que se requerirán añadir, cambiar y modificar, así como de las dimensiones en la propia estructura del reactor.

Es por ello que se debe realizar un plano del reactor actual con las dimensiones y especificaciones en su totalidad para delimitar los cambios que serán necesarios realizar y poder establecer los procedimientos y materiales necesarios para ello. Cabe destacar que se deben considerar las posibilidades tanto mecánicas y físicas para realizar las mejoras en el reactor, como las económicas para poder concretar su completa realización.

Obteniendo los planos y características del reactor actual se propone definir una propuesta general donde se expliquen las innovaciones que le permitirían al nuevo reactor incrementar sus parámetros de operación, monitorear las condiciones del ambiente de reacción y con esto, llevar a cabo procesos de hidrogenación, así como de otros que se puedan adaptar dentro de los límites de operación del propio reactor.

Contando con una propuesta de mejora se procede a elaborar un modelo detallado en un software de simulación que permita realizar pruebas que evalúen el diseño y las modificaciones que se proponen. Es así que se puede aprobar dichas modificaciones y adaptaciones, para su futura fabricación. Las simulaciones también son una herramienta efectiva y confiable para determinar los aspectos de seguridad que se deben tomar en cuenta, con la finalidad de poder elaborar un manual o guía del usuario con indicaciones para su manejo correcto, así como un protocolo y requerimientos de seguridad que minimicen el riesgo de sufrir algún accidente.

De acuerdo a las condiciones necesarias para llevar a cabo el proceso de hidrogenación se debe extremar precauciones en los factores de alto riesgo para el usuario u operador del reactor. Estos aspectos a considerar como factores claves y parámetros de diseño son:

El reactor debe de trabajar en altas temperaturas y a diferentes rampas de incremento de temperatura, oscilando desde una temperatura ambiente hasta los 400°C. Además, los tiempos de trabajo en altas temperaturas varían dependiendo del proceso químico que se lleve a cabo, para el procesos de hidrogenación es desde 1hr hasta

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

20hr de reacción. Esta alta temperatura representa un riesgo latente para el operador que se encuentre monitoreando las condiciones del reactor y/o el proceso de reacción.

Es por ello que se debe contener el reactor dentro de un recipiente que mantenga aislada la cámara principal del reactor del exterior. Esto evita la disipación del calor y el riesgo de sufrir alguna lesión por contacto directo con las partes calientes. Además de que mantiene la condición del ambiente de reacción estable, lo que minimiza las variaciones en los resultados finales del proceso.

Es muy importante y fundamental para llevar a cabo el proceso de hidroxigenación, mantener constante la agitación de la solución que va a reaccionar dentro del reactor, ya que debe interactuar con el hidrógeno gaseoso contenido en el reactor para que ocurra la reacción. Es por ello que para mantener siempre una mezcla homogénea del producto se requiere una agitación constante.

Además se debe asegurar que no existan zonas estáticas donde el fluido quede sin desplazarse. Este factor influye directamente en la eficiencia del proceso, ya que varía la cantidad de sustancia que reacciona, por medio del catalizador añadido, de acuerdo a la interacción que sostiene con el medio reductor.

Los materiales y dispositivos utilizados para la agitación deben de resistir las condiciones operativas del reactor, ya que un desgaste significativo en dicho material puede contaminar la solución que se encuentra reaccionando y estropear el proceso. Es por ello que se utiliza acero inoxidable 1.4571, 1.4435 y 1.4980 (o con especificación AISI 304), en todos los dispositivos y accesorios que tengan contacto directo con la solución.

Cabe añadir que debido a la presión de hidrógeno que requiere mantener el proceso de hidroxigenación durante la reacción, es necesario utilizar un anillo metálico como empaque para sellar la tapa del reactor y evitar fugas de hidrógeno.

Cabe señalar que un dispositivo magnético para agitar la solución estará expuesto a las condiciones de la solución por lo que a una temperatura elevada perderá sus propiedades magnéticas, de acuerdo a la temperatura de Curie, por lo que se debe utilizar un material apropiado para mantener su magnetismo a dicha temperatura.

Debido a que el hidrógeno es un gas menos denso que el aire tiende a fugarse fácilmente inclusive por aberturas muy pequeñas, añadiendo las presiones de trabajo y la alta temperatura del reactor en condiciones normales de trabajo, se debe extremar precauciones para evitar accidentes mayores, ya que su punto de autoignición se encuentra a los 500°C y se incendia fácilmente con una llama invisible de baja radiación térmica.

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

La presión que debe mantenerse durante el proceso de hidrodesoxigenación se encuentra en un rango de 20 a 90 bares, por lo que la inyección del hidrógeno puede realizarse fácilmente, sin la utilización de un compresor, con el tanque donde está almacenado. Es así que solamente se requiere adaptar un manómetro que muestre la presión alcanzada dentro del reactor.

Es importante que la presión de trabajo se mantenga durante el proceso, por lo que se debe instalar una válvula que evite que el gas se escape y se mantenga a una misma presión uniformemente.

El proceso de hidrogenación de biodiesel se realiza en el reactor bajo un método de tres niveles y tres factores de manera que las corridas puedan ser comparadas y evaluadas buscando los mejores rendimientos.

Este método consta de disponer tres niveles en las que se utilizan tres catalizadores con diferente porcentaje en peso de platino (Pt), y por cada tipo de catalizadores se disponen tres corridas con diferente tiempo de reacción a fin de encontrar los parámetros de mezcla más eficientes en la hidrodesoxigenación del biodiesel. Posteriormente, se va a repetir el proceso con diferentes presiones de hidrógeno en el reactor.

El proceso de hidrodesoxigenación se muestra a continuación:

1. Se carga el tubo reactor con biodiesel y los catalizadores, tomando en cuenta de que debe de colocarse previamente el agitador en su posición correcta.
2. Se sella la tapa al reactor a temperatura ambiente y se coloca dentro de la cámara principal de calentamiento del reactor.
3. Se agita a 900 rpm, mientras se incrementa la temperatura hasta 350°C y se inyecta hidrógeno a una presión de 14bar.
4. Para activar el catalizador se estabiliza el reactor a una temperatura de 400°C y una presión de hidrogeno a 20bar.
5. Se mantiene en agitación constante y se deja reaccionar el tiempo de acuerdo a la corrida del experimento (1 hasta 20hr).
6. Transcurrido el tiempo necesario para la reacción, se apaga la resistencia eléctrica y se deja enfriar el reactor hasta que alcance el equilibrio térmico con el medio ambiente.
7. Se retira el rector de la cámara de calentamiento y se enfría por debajo de la temperatura ambiente en un baño de agua helada.
8. Se retira la muestra para analizarla.
9. Se lava, seca, descontamina y se purga el reactor para recargarlo nuevamente con otra muestra.

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

10. Se repite el procedimiento para las muestras restantes.

Utilizando los mejores resultados obtenidos en la reacción de hidrodesoxigenación de biodiesel, se procederá a realizar los mismos procesos con una variación en el flujo de hidrógeno.

El material que se encuentra disponible en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Aguascalientes (ITA) es un reactor químico utilizado para calentar y/o derretir diferentes tipos de sales minerales.



Ilustración 5 Reactor químico

Como se muestra en la siguiente figura el contenedor del reactor cuenta con una resistencia en forma de espiral que permite calentar el reactor a temperaturas cerca de los 450°C. Además tiene un termómetro que proporciona una lectura confiable de la temperatura en tiempo real.



Ilustración 6 Resistencia eléctrica para aumento de temperatura

La resistencia eléctrica se encuentra en una cámara aislada dentro del mismo reactor, como se muestra en la siguiente figura. Esta, se encuentra sujeta a dicha cámara por lo que no es posible removerla sin dañarla. Esta cámara tiene un aislamiento térmico que evita que el calor se transfiera hacia el exterior.

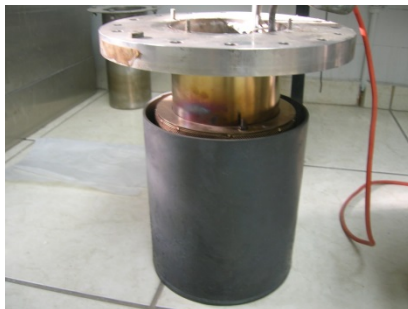


Ilustración 7 Aislamiento térmico de la cámara principal del reactor

Como se puede observar en la ilustración, la cámara del aislamiento térmico se introduce al armazón exterior del reactor. Lo que evita el contacto directo con partes del reactor que se encuentren a una temperatura elevada. Esto favorece a los mecanismos de seguridad necesarios para asegurar la integridad del operador que monitoree el proceso de hidrogenación.



Ilustración 8 Armazón exterior del reactor

A continuación se muestra la tapa y el reactor que se coloca de manera concéntrica a la resistencia eléctrica y dentro de la cámara principal.



Ilustración 9 Tubo reactor

Como se puede observar en la imagen, el tubo reactor tiene una mayor capacidad de carga que la necesaria para la cantidad de diésel que se procesará, además el diámetro del mismo es muy reducido, de manera que no se puede adaptar ningún dispositivo disponible para agitar la sustancia. Es por ello se debe adaptar un nuevo tubo reactor con mayor diámetro y una menor longitud, y de igual manera permitiendo el calentamiento uniforme del mismo.

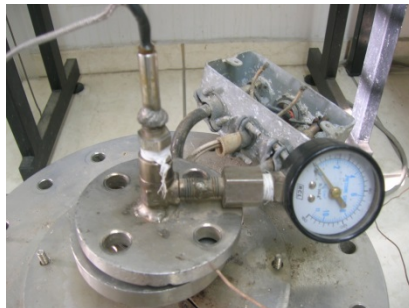


Ilustración 10 Tapa del reactor con lectura de presión y temperatura

La tapa que tiene el reactor no tiene capacidad de inyección de gas, ni un medio de agitación disponible o con posibilidad de adaptarse por lo que su modificación representaría adaptaciones que por su complejidad no pueden realizarse por su tamaño reducido. Esto, debido a que la superficie disponible para añadir orificios para el agitador es muy reducida como se muestra en la siguiente ilustración.

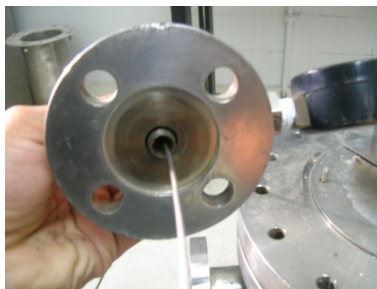


Ilustración 11 Superficie de la tapa del reactor

Valorando a detalle las condiciones y características del reactor existente en el ITA, se propone construir un nuevo tubo reactor de mayor tamaño que pueda cumplir todas las funciones requeridas para llevar a cabo el proceso de hidrodeshidrogenación. Por lo que se procedió a elaborar el modelado en un software de simulación para evaluar su factibilidad de operación bajo las condiciones necesarias y por ende, su funcionalidad para realizar dicho proceso.

En primera instancia se ajustó la tapa del tubo reactor para que se pudiera acoplar adecuadamente al soporte existente. Las mejoras que se realizaron están determinadas por la necesidad de monitorear las condiciones de presión y temperatura, controlar la inyección del hidrógeno al interior del reactor y como principal requerimiento: la agitación constante de la sustancia sin arriesgar la integridad del reactor al presentarse un riesgo de fuga del gas.

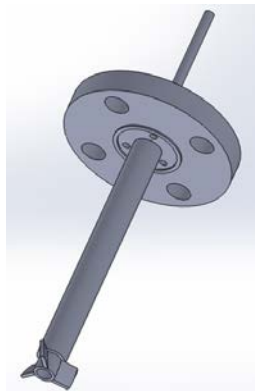


Ilustración 12 Modificaciones de la tapa del reactor

La característica principal de este diseño se centra en la colocación central, sellado y soldado a la tapa del tubo reactor, de un tubo de acero inoxidable AISI 304 de 150mm de longitud con el extremo inferior sellado para introducir el eje del agitador magnético por la parte posterior, de manera que interactúe magnéticamente con el agitador ubicado en la parte externa e inferior del dicho tubo. Como se puede observar en la imagen, se muestra la disposición final de dichos accesorios y a la varilla del agitador salir libremente por la parte superior del tubo.

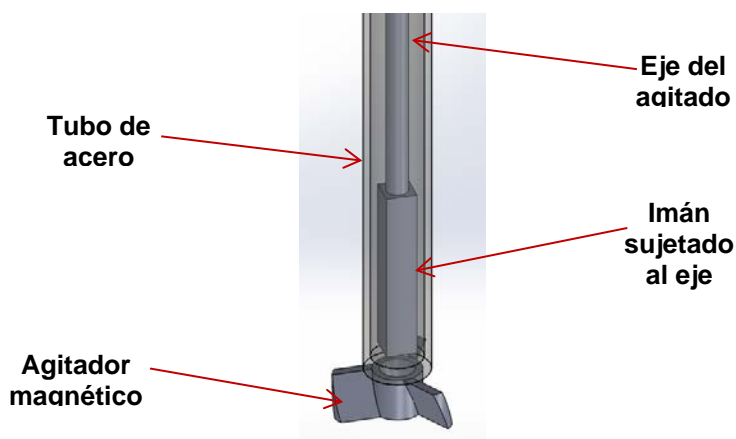


Ilustración 13 Vista interna del tubo agitador

Este diseño cuenta con tres orificios de 1/8" a los cuales se les puede acoplar y soldar tubos de acero inoxidable para instalar un manómetro (dispositivo de lectura de presión), una válvula anti-retorno para inyección de gas (para alta temperatura) y un sensor de temperatura no flexible. Además cuenta con un tubo sellado para acoplar la varilla de agitación magnética al agitador con aspas. La siguiente ilustración muestra la tapa del reactor con las modificaciones propuestas.

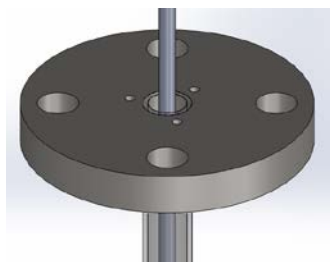


Ilustración 14 Vista superior de la tapa del reactor

Posteriormente se diseñó un nuevo tubo reactor, con las dimensiones ajustadas para que pueda contener la sustancia bajo las condiciones de presión y temperatura requeridas asegurando la integridad del dispositivo y minimizando considerablemente los riesgos de fugas de gas y/o accidentes por condiciones críticas.

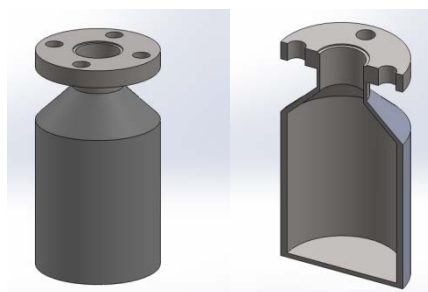


Ilustración 15 Diseño del tubo reactor

La capacidad total de carga del reactor es de 100ml considerando el volumen que se desplaza por el tugo del agitador, además se consideró un espacio suficiente para inyectar el hidrógeno y permitir que reaccione con el biodiesel. Como se puede observar en la siguiente ilustración, el ensamble de todas las partes principales del tubo reactor se acoplan y proveen una mejora considerable para el reactor mismo, ya que se aumenta la capacidad del reactor para ejecutar procesos de hidroxigenación, así como de reducción de sustancias, entre otros. Con la adaptación de varios dispositivos de control se incrementa la seguridad para el operador y se reducen considerablemente los factores de riesgo.

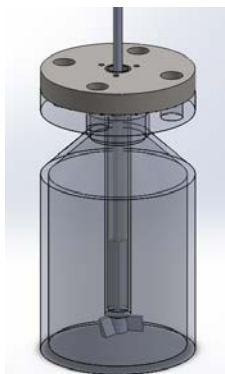


Ilustración 16 Ensamblaje del nuevo diseño del reactor

Sin embargo es necesario asegurar de manera anticipada que este diseño cumple con las condiciones y características necesarias para operar de manera estable y no presente un riesgo latente para quien lo maneje. Es por ello que se realizaron varios estudios en el software de simulación que determinan los parámetros críticos y puntos débiles de la estructura, así como las condiciones a las que el reactor presentaría una deformación.

3. Resultados y discusión

La implementación del estudio de simulación se enfoca en determinar las vulnerabilidades del reactor en condiciones críticas o excedentes a las de trabajo nominal, por lo que se toma en cuenta la resistencia del material y su posible deformación para dichas condiciones.

Este estudio simula las cargas y/o presiones a las que va a estar sujeto el reactor y determina la manera en que va a responder el material tomando en cuenta la geometría de la pieza. Dicha presión se estima en 100bar como máximo permitido para este reactor, considerando que la presión de trabajo para el proceso de hidrogenación se ubica muy por debajo de dicho límite, es aceptable el rango establecido.

La siguiente imagen muestra el resultado del estudio de tensión de Von Mises aplicado a la estructura del sólido simulado. Esta tensión es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural, la tensión de Von Mises se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. El resultado observado se representa en el cambio de color según la zona donde ocurre una mayor tensión aplicada. Los colores más cercanos al azul representan una menor tensión Von Mises, mientras que los colores más cercanos al rojo muestran una mayor tensión. Cabe señalar que todas las tensiones mostradas en el estudio, se ubican por debajo del límite elástico del material, por lo que la estructura del reactor permanece estable y segura en el límite establecido.

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

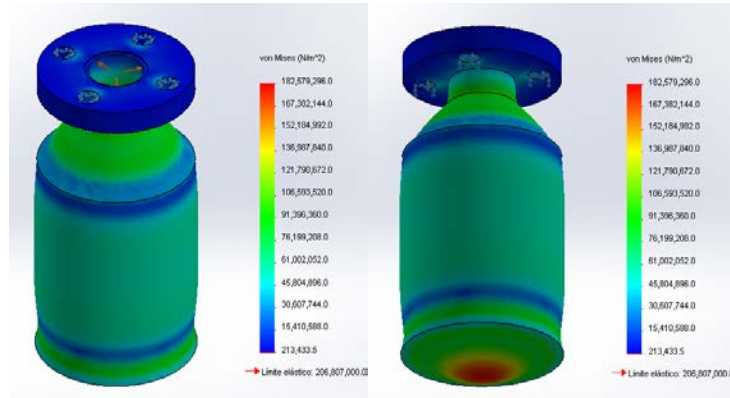


Ilustración 17 Estudio de tensión de Von Mises

El estudio muestra las secciones más vulnerables del reactor que sufrirían una posible deformación en caso que ceda el material ante la presión ejercida por el hidrógeno gaseoso. Sin embargo la deformación más significativa se encuentra por debajo del límite elástico del material, lo que asegura que no existe riesgo de deformación y/o ruptura del material. La imagen muestra una representación exagerada del sólido deformado para detectar fácilmente las zonas que sufrirían un posible desplazamiento. Las zonas con un máximo desplazamiento se ubican en un valor de 114.04 μ m por lo que es despreciable.

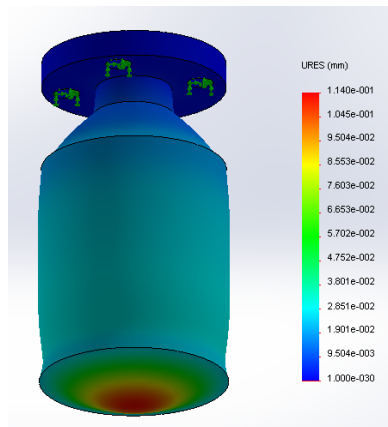


Ilustración 18 Estudio de desplazamiento resultante

Conjuntamente esta simulación realiza un estudio que muestra un factor de seguridad (FDS) que evalúa la seguridad en cada nodo, según un criterio de fallos. Se puede realizar el trazado de la distribución del factor de seguridad en todo el modelo o puede realizar únicamente el trazado de regiones del modelo con un factor de seguridad inferior al valor especificado para identificar las áreas débiles del diseño.

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

Este diseño del reactor arroja un factor de seguridad de 1.1327 lo que indica que el material es seguro. El material que se encuentra en una ubicación vulnerable empezará a fallar si aplican nuevas cargas iguales a las actuales multiplicadas por el factor de seguridad resultante, teniendo en cuenta que las tensiones/deformaciones unitarias permanecen en el intervalo lineal. En la imagen las regiones con un valor de FDS inferior a 1.1327 se muestran en rojo (regiones no seguras). Y las regiones en azul, con un valor de FDS superior a 1.1327, indican regiones seguras.

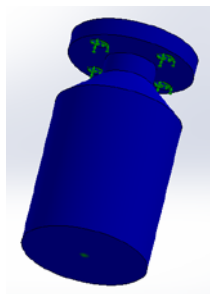


Ilustración 19 Estudio de factor de seguridad 1.1327

La siguiente imagen muestra la zona del reactor más vulnerable a presentar deformaciones o alteraciones en el material bajo una condición mayor a la establecida en la simulación, en este caso sería con una presión muy superior a los 100 bares. La zona donde existe un riesgo de vulnerabilidad en la estructura por encima del límite establecido para las pruebas.

Esta zona se ubica en un valor de factor de seguridad cercano al 1.5, por lo que demuestra, en comparación al observado en 1.1327, la inestabilidad en la estructura del reactor para las condiciones superiores con las que fue diseñado. Sin embargo esto no indica que falle o se deforme, sino que se superan los valores permitidos y representan un riesgo para la estructura del reactor.

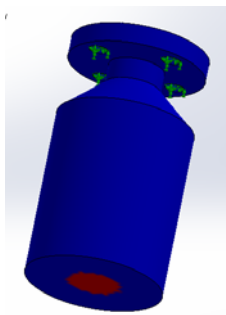


Ilustración 20 Estudio de factor de seguridad 1.5

4. Conclusiones

El proceso de hidrodesoxigenación de biodiesel presenta parámetros muy difíciles de dominar para la mayoría de los reactores químicos, donde una alta temperatura combinada con la presurización de hidrógeno gaseoso genera un ambiente riesgoso para el operador del reactor y para la estabilidad de la propia estructura del reactor. Añadiendo que se requiere un medio con constante agitación, se reducen las posibilidades de utilizar reactores comunes y se incrementa la necesidad de diseñar un reactor que cumpla con estas condiciones de trabajo.

Este diseño del reactor cumple con las especificaciones de seguridad que se requieren para poder trabajar con las condiciones de reacción del proceso de hidrodesoxigenación, por lo que es seguro operar el reactor y llevar a cabo la producción de biodiesel de segunda generación.

Se logró conformar un sistema de agitación magnética que no representara un riesgo de fugas de hidrógeno, ya que por su baja densidad en altas temperaturas es muy probable que ningún empaque pudiera contener el gas bajo la presión que requiere el proceso de reacción. Por lo que este diseño dispone un medio hermético para la cámara de reacción y con la interacción magnética entre el imán situado en el eje del agitador y el imán del agitador con aspas colocado dentro de la cámara, se puede mantener una constante agitación con velocidad regulada sin comprometer la integridad del reactor, ni la seguridad del medio que lo rodea.

Un aspecto difícil de resolver fue la de mantener el medio de agitación a alta temperatura, principalmente por la temperatura de Curie que afecta directamente al imán del agitador con aspas, por lo que se seleccionó un imán cerámico de hierro que pierde sus propiedades magnéticas a los 450°C. De manera que se asegura el funcionamiento correcto del agitador a los 400°C.

Este sistema de agitación innovador, representa un gran avance en el desarrollo de tecnología aplicada a procesos químicos, ya que integra este parámetro a los ya aplicados por reactores comerciales, los cuales no alcanzaban dichas temperaturas en un ambiente presurizado con hidrógeno. Es así que se puede utilizar para muchos tipos de procesos de reacciones químicas que se encuentren dentro de los rangos de operación del reactor.

De igual manera es un gran avance para la tecnología aplicada a las energías renovables, puesto que se puede adaptar para llevar a cabo procesos de producción de biodiesel y hidrodesoxigenación del mismo, que impulsaría el desarrollo de este biocombustible y su utilización en proyectos de investigación que favorezcan su inserción en el mercado global.

La estructura rígida del reactor permitirá realizar otros procesos químicos, como reducción de sustancias y/o materiales. Por lo que adquiere una amplia gama de aplicaciones gracias a su versatilidad y diseño innovador. Es muy útil para aplicaciones donde se requieran altas temperaturas y un medio controlado que evite contaminaciones u oxidaciones del material por la presencia del aire.

Con la utilización de este reactor se puede concluir el estudio del proceso de hidrodesoxigenación de biodiesel de primera generación, lo que daría como resultado un biodiesel de segunda generación con mejores características y aptas para poder implementarse en motores a diésel sin la necesidad de ajustar y acondicionar dichos motores.

5. Agradecimientos

Al M. C. Manuel Sánchez Cárdenas, por su amistad e incondicional apoyo, dedicación y atenciones recibidas durante la realización de este trabajo y mi permanencia en la Universidad.

Al Dr. Jorge Medina Valtierra, por su adicional apoyo y las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

6. Referencias

- [1] Diaz, H. M. (1998). Reactores químicos.
- [2] Lechuga, F. T. (2008). ABC para comprender reactores químicos con multireacción. México, D.F.: Reverté.
- [3] Levenspiel, O. (2002). El omnilibro de los reactores químicos. Barcelona: Reverté.
- [4] Martínez Romero, D. (2011). Obtención de combustibles renovables mediante hidrotratamiento catalítico de aceites vegetales y gasóleo. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- [5] Furimsky, E., & Massoth, F. (1999). Deactivation of hydroprocessing catalysts. Catalysis Today.