

# ESTUDIO TÉRMICO EN UN REACTOR QUÍMICO DE 12 LITROS PARA EL PROCESO DE RECICLAJE DE LLANTAS POR SOLVÓLISIS

Mantilla Martínez, Joshua Haendel (1), Sánchez Cadena, Lorena Eugenia (2)

1 [Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomas] | [joshuamantilla@usantotomas.edu.co]

2 [Ingeniería civil, Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [hau10@hotmail.com]

## Resumen

El siguiente artículo, muestra los resultados logrados durante el escalamiento y la simulación de un reactor químico, sometido a dos espesores y a convección natural para aplicación de reciclaje de llanta a través de solvólisis. Mediante la aplicación de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), basado en los resultados experimentales de un modelo físico, se realiza un estudio detallado de los elementos que conforman la malla; analizando su distribución, tamaño y respectivo efecto sobre la precisión de los resultados. Se establecen las simplificaciones y condiciones del modelo empleado. Estas simulaciones permitieron observar el comportamiento de la temperatura en los reactores y el fluido durante el tiempo de calentamiento. Los resultados, evidencian la capacidad de CFD para el estudio y selección adecuada de los reactores.

## Abstract

The following article shows the results obtained during the staging and simulation of a chemical reactor, subjected to two thicknesses and a natural convection for the application of tire recycling through solvolysis. Through the application of Computational Fluid Dynamics (CFD), based on the experimental results of a physical model, a detailed study of the elements that make up the mesh is carried out; Analyzing their distribution, the size and the respective effect on the precision of the results. The simplifications and conditions of the model used are determined. These simulations allowed to observe the behavior of the temperature in the reactors and the fluid during the heating time. The results obtained, evidenced the capacity of CFD for the study and the suitable selection of the reactors.

## Palabras Clave

Reactor; Escalamiento; Simulación; Estado Transitorio; Conducción

## INTRODUCCIÓN

Según estadísticas de La Asociación Nacional de Distribuidores de Llantas y Plantas Renovadoras A.C. considera que del total de llantas desechadas, 5% son renovadas, 2% se utiliza en la cogeneración de energía, 2% se deposita en centros de acopio autorizados y el 91% se abandona o se utiliza sin control [1].

El problema del reciclaje de los neumáticos radica principalmente en la estructura química que lo conforma, siendo principalmente caucho sintético. Para iniciar la construcción del neumático es necesario llevar a cabo un proceso denominado vulcanización del caucho crudo, en el cual se le incorpora azufre en su cadena con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí. Esto forma un caucho más estable, duro, mucho más durable, más resistente al ataque químico y a las altas temperaturas y sin perder la elasticidad natural [2].

Para eliminar estos residuos se usa la quema directa que genera cantidades de gases que emanan partículas tóxicas al ambiente. El depósito en tiraderos provoca grandes problemas de estabilidad ambiental, debido a la resistencia que los neumáticos poseen frente a una degradación parcial con el tiempo.

Para ello se propone reciclar las virutas de llanta a través de la solvólisis en un reactor de 2 litros, la solvólisis es un proceso de reciclado químico mediante un solvente y un catalizador, el cual se hacen reaccionar con el polímero para obtener productos de des-polimerización es decir permite romper los enlaces de las resinas termoestables, para modificar su estructura química entrecruzada y conferirle un carácter más elastomérico, para después poder integrar este polímero en diferentes matrices y recuperar parte del valor económico de la llanta.

Sin embargo, para poder contar con una considerable cantidad de viruta de llanta tratada, es necesario escalar el reactor de solvólisis, y se impone un análisis entre el modelo experimental y un prototipo semi industrial, para que tengan similitud geométrica, y de comportamiento térmico.

Esto se conoce como escalamiento y es simplemente el cambio de volumen que se mencionó anteriormente, para llegar al sistema prototipo de mayor capacidad.[3]

Al observar el modelo existente, para estudiar la transferencia de calor y el flujo de fluidos en reactores, se nota que cuando se trabaja on reactores reales, existen muchos grados de libertad, que impide la comprensión y el diseño eficiente de esta clase de sistemas. Las ecuaciones de balance que permiten analizar el comportamiento del flujo de calor del reactor forman un sistema de ecuaciones en diferencias parciales no lineales, con pocas probabilidades de ser solucionado mediante métodos directos.[4]

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una herramienta numérica que permite solucionar de manera aproximada las ecuaciones gobernantes de un medio continuo en específico, permitiendo comprender mediante la solución aproximada de las ecuaciones de cantidad de movimiento y energía, el efecto de la geometría en los modelos de flujo y de transferencia de calor.[4]

Para este proyecto que es el escalamiento del reactor de 2 Lt a prototipo semi industrial, una etapa fundamental es conocer el funcionamiento de este y determinar los factores que afectan su desempeño.

### Justificación

Por medio de la simulación virtual, se obtienen grandes ventajas a la hora de diseño y obtención de equipos. Un reactor es una máquina calorífica, en la cual se debe homogenizar la temperatura en toda la superficie que contiene la solución. Gracias a la simulación se puede saber, el tiempo, la temperatura final, el comportamiento de la transferencia de calor en el tiempo y la homogenización. Este método tiene la facilidad de hacer todo este proceso en poco tiempo, y con la ventaja de cambiar variables para hacer comparaciones en diferentes casos de estudio.

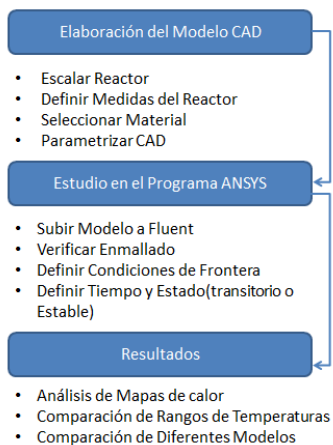
Este trabajo, permite por medio de un Software de simulación, introducir diferentes tipos de condiciones, esto con el fin de ver el comportamiento de la transferencia del calor en

dos reactores de diferentes espesores. Adicionalmente el programa, proporciona datos y mapas de temperatura, lo cual servirá para poder hacer comparaciones, correlaciones y sugerencias, para el diseño u obtención de reactores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizará en el programa ANSYS WORKBENCH, la cual se llevará a cabo en dos diferentes reactores, cada uno tendrá dos diferentes grosores de placa, de 2mm y otro de 3mm, esto con el fin de analizar cuál es más eficaz y conveniente para la aplicación de reciclaje de llantas por Solvolisis. Por último, se simulará el reactor más eficaz sin aislante, esto para comparar la transferencia de calor con y sin protección térmica.

A continuación, se mostrará la metodología que se empleará en el estudio de la transferencia de calor en los reactores.



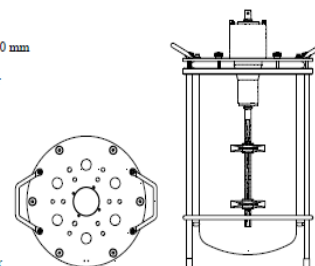
**Imagen1: Metodología en el análisis del reactor de 12 Litros**

### Elaboración del modelo CAD

Para escalar el reactor, se tomó el modelo de 12 Litros del catálogo de reactores de Applikon Biotecology.

#### 4.1.6 15-LITER REACTORS

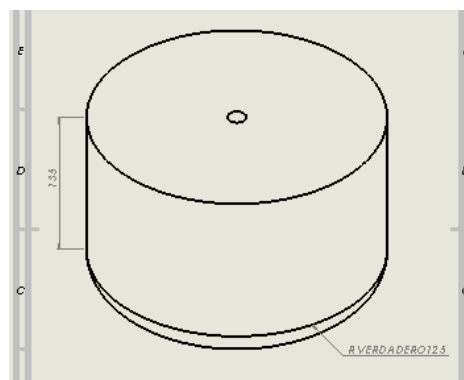
Reactor type	12 liter, dished bottom
Inner diameter	220 mm
Inner height (maximum)	440 mm
Liquid height (working volume)	320 mm
Required autoclave space (H x D)	800 x 400 mm
Overall height reactor	520 mm
Total volume	15.5 liter
Working volume	12 liter
Minimum working volume	3.0 liter
H/D total	2.0
H/D working volume	1.45
Ports in head plate:	
1 * 69 mm	
6 * 27 mm	
2 * 12 mm	
10 * 10 mm	



Z611001510 12 liter Dished-bottom Reactor

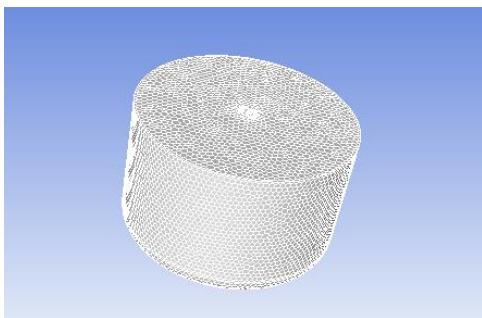
**Imagen2: Medidas del reactor de 12 litros de De Applikon Biotecology**

Este se escaló a razón de 1.6, que es la relación de altura y diámetro, del reactor de 2 litros utilizado en el laboratorio de la Universidad de Guanajuato.



**Imagen3: Reactor con medidas escalado Estudio en el Programa Ansys**

Para el estudio se hicieron varias simplificaciones. La primera fue en el modelo CAD, la cual fue tomar  $\frac{1}{4}$  de la altura total, que va a ser la parte que contiene el solvente. Esto se hizo con el fin de evitar interfaces entre dos fluidos (aire, solvente). Posterior al modelo se realizará el mallado, donde se verificará la precisión del estudio.



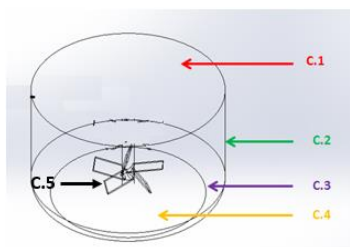
**Imagen4: Conformación de malla y analisis.**

Como segunda simplificación. Se tomó las condiciones del Etilen Glicol para el estudio, ya que las propiedades son muy similares a las del Dietilen Glicol y están por defecto en el programa.

Después de esto se definieron las condiciones de frontera de cada cara del reactor y agitador, para su análisis.

**Tabla 1: Valores de las condiciones de frontera**

Tabla De Condiciones De Frontera		
C.1	Convección	5 W/m <sup>2</sup> K
		300K
C.2	Aislante	0 W/m <sup>2</sup>
C.3	Conducción	439 K
C.4	Conducción	440 K
C.5	Interacción Con los Alrededores	



**Imagen5: Ubicación de Condiciones de frontera en el modelo cad**

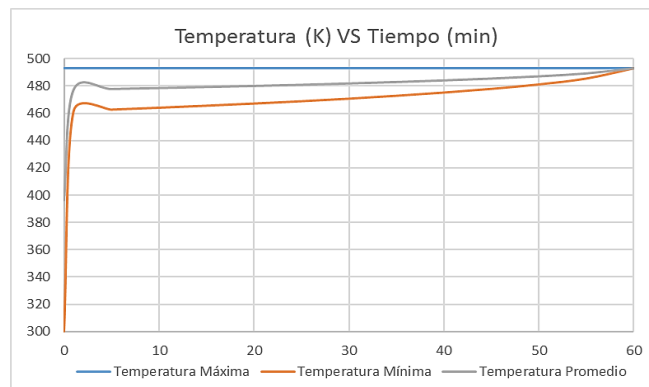
Por último, se ingresó el tiempo necesario para llegar a una homogeneidad total. El tiempo requerido fue de 60 minutos donde se tomó datos cada 5 minutos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este caso mediante el módulo Fluent del software ANSYS, después de colocar las variables de tiempo y condiciones de frontera, arrojo

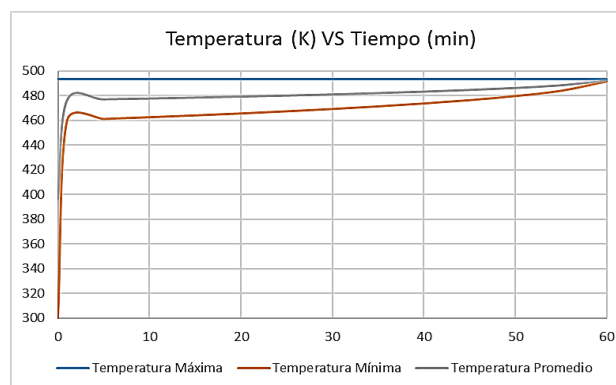
diferentes tipos de temperatura con respecto al tiempo y al grosor de la placa del reactor.

El primer análisis es del reactor de 2 mm de espesor, donde en 60 minutos logró alcanzar la temperatura deseada para la solución.



**Imagen6: Grafica de intervalos de temperatura respecto al tiempo en el reactor de 2mm**

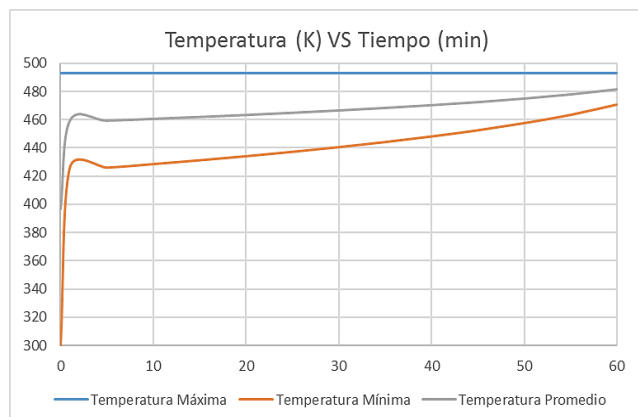
En el segundo análisis el reactor de 3 mm de espesor, tarda más de 60 minutos para lograr converger y alcanzar la temperatura deseada, lo cual lo hace menos eficiente para que el solvente logre calentarse lo necesario y pueda efectuarse la reacción.



**Imagen7: Grafica de intervalos de temperatura respecto al tiempo en el reactor de 3mm.**

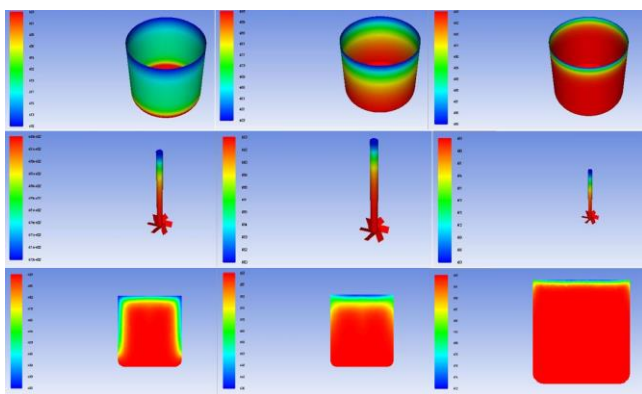
Siendo el reactor de 2 mm de espesor el que logra la convergencia durante el tiempo empleado, el tercer análisis se efectúa, cambiando como condición la convección natural que hay entre el tanque del reactor y el aire del ambiente, donde en 60 minutos no logró alcanzar la temperatura máxima deseada, y su tasa de aumento de calor

estaba alrededor de 10 grados Kelvin por debajo de los otros dos reactores.



**Imagen8:** Grafica de los dos reactores y del reactor sin aislante.

Por último se analizaron los diferentes mapas de calor en los componentes del reactor, en diferentes tiempos ( 5, 30 y 60 min). Se examinó un solo reactor debido a que la diferencia en la tasa de calentamiento entre los dos es 2 grados Kelvin, lo cual es bajo. Se denota como las diferentes piezas del reactor van aumentando la temperatura hasta el punto de homogenidad. Esto infiere que el volumen de la solución se calentó todo.



**Imagen9:** Comportamiento de la transferencia del calor a medida que pasa el tiempo; Primera fila Reactor; Segunda fila Agitador; Tercer Fila Solvente.

## CONCLUSIONES

-Para determinar las condiciones óptimas de operación a escala es costoso y requiere mucho tiempo; para ello, siempre es mejor saber si una determinada reacción funcionará correctamente mediante software de análisis, antes de que se construya en su tamaño completo.

-El aumento de escala debe llevarse a cabo de modo que las condiciones en el reactor grande sean tan cercanas como sea posible a las que producen buenos resultados en el reactor pequeño.

-El reactor de 12 litros tarda menos tiempo en lograr la temperatura ideal de reacción, sin embargo, su volumen es más reducido para una gran producción industrial.

-Es importante en la construcción u obtención del reactor que su aislante no permita flujo de calor hacia el ambiente, ya que su tasa de aumento de temperatura bajara si no se cumple esta condición.

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a la Dra. Lorena Sánchez Cadena por permitirme formar parte de su grupo de investigación, además de su apoyo incondicional. Así como también agradezco a la Coordinación de Veranos y a la Universidad de Guanajuato por la beca recibida y la oportunidad brindada.

## REFERENCIAS

- [1] PRECIADO, Yolanda. Reciclaje físico-químico de llanta mediante la formación de asfaltos modificados. UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO, 2017.
- [2] El caucho. [online]. [Accessed 19 julio 2017]. Available from: <https://www.slideshare.net/jadercardo1/el-caucho>
- [3]. DORAN, Pauline M. Bioprocess Engineering Principles. 1995. ISBN 0122208552.
- [4]. NIETO, Cesar, MEJIA, Ricardo y AGUDELO, John. DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL APLICADA AL ESTUDIO DE REGENERADORES TÉRMICOS. . 2004. P. 81-93.