

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS EN FLUIDOS DE INTERÉS PARA LA INDUSTRIA DEL CALZADO: BÚSQUEDA DE MEJORAR LA SALUD Y EL AMBIENTE

González Medina María Elena (1), Campos Amador Jorge Josué (1), Valle García Jessica Denisse (1), Marmolejo Correa Danahe (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química Sustentable, Universidad de Guanajuato] Correo: gonzalezmm2013@licifug.ugto.mx, camposaj2013@licifug.ugto.mx, vallegj2013@licifug.ugto.mx.

2 [Departamento de Ingeniería Física Campus León, Universidad de Guanajuato]. Correo: d.marmolejocorrea@ugto.mx

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio experimental para obtener las características reológicas de adhesivos base agua y base disolvente haciendo uso de un reómetro y empleando la geometría de cilindros concéntricos, de tal manera que se utilizaron para la simulación con el programa computacional COMSOL Multiphysics. Además se ejecutó un análisis espectral infrarrojo para así poder determinar propiedades físicas presentes en los adhesivos. Se detectó el entrecruzamiento del polímero presente en cada adhesivo. En la simulación se obtuvieron la relación entre la velocidad de corte y esfuerzo cortante. Así, los resultados experimentales y su comparación con la simulación permitieron determinar el efecto de utilizar adhesivos base agua por encima de los base disolvente.

ABSTRACT

An experimental study was carried out to obtain rheological properties of water and solvent based adhesives, which was executed with a concentric cylinders rheometer. These properties were employed in a simulation. An experimental infrared analysis was performed to determine physical properties of the adhesives. Crosslinking of the polymer was detected. During the simulation the relationship between shear rate and shear stress were determined. It was also possible to compare experimental and simulation results, which allow us resolve the effect of using water based rather than using solvent based.

Palabras Clave

Reómetro; viscosidad; adhesivo; disolvente orgánico; COMSOL.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las industrias químicas de adhesivos que se encuentran en León, Guanajuato, se elaboran adhesivos utilizando disolventes orgánicos. Los adhesivos son aquellas sustancias que una vez aplicadas en dos superficies se crea una resistencia a la separación de éstas. La resistencia puede llegar a ser distinta cuando las propiedades cambian.

Los viscosímetros giratorios se basan en la resistencia viscosa que se ejerce sobre un cuerpo cuando se hace girar en el fluido para determinar la viscosidad del mismo. La principal ventaja de estos instrumentos es que permiten conseguir márgenes muy amplios de velocidades de deslizamiento, y a menudo es posible producir automáticamente un programa de éstas. Existen distintos instrumentos comerciales, sin embargo todos ellos tienen en común la posibilidad de usar diferentes geometrías de medición: a menudo se utiliza un cilindro concéntrico y un cono-placa, aunque a veces se prefiere una geometría de placas paralelas. [1]

La geometría de cilindros concéntricos se utiliza para probar fluidos de baja viscosidad que se evaporan rápidamente en condiciones ambientales normales. [2]

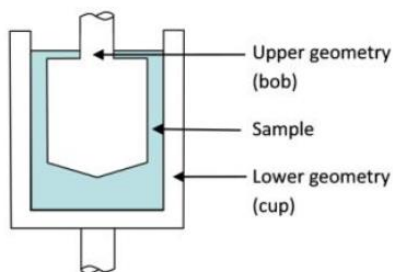


IMAGEN 1. Viscosímetro de cilindros concéntricos.

En esta geometría existen dos cilindros coaxiales de diámetros diferentes: el externo forma el recipiente que contiene el fluido en cuyo centro se coloca el cilindro o volante interno (IMAGEN 1). En este modelo se hace girar el cilindro interno y la resistencia viscosa ejercida por el fluido se

transmite a un transductor, por ejemplo un alambre fino de torsión.[1]

COMSOL Multiphysics™

Computational Fluid Dynamics (CFD) es un área de aplicación de la ciencia básica en las Ingenierías que ha hecho posible la solución de problemas de geometría compleja intrínsecamente vinculada a la computación. Se utiliza ampliamente para predecir y analizar el comportamiento del flujo de fluidos en geometrías complejas. COMSOL Multiphysics™ es particularmente útil para analizar sistemas que implican diversas multifísicas, como combinado del flujo de fluidos, transporte de energía, y el transporte de especies.

En el presente artículo se realizó el análisis y caracterización de adhesivos base agua y disolvente, los cuales son empleados para el mismo proceso en la industria del calzado (ensuelado), de tal manera que se pudieron evaluar los posibles beneficios de utilizar uno u otro. [3]

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis experimental

Los adhesivos seleccionados para llevar a cabo el análisis consistieron en dos, tipo base agua y dos, base disolvente orgánico, escogiéndose solamente un par (agua-disolvente) de acuerdo a su funcionalidad, para la presentación de resultados.

Se ejecutó el análisis para cada uno de ellos, tal que se dividió en

- Productos originales.
- Adhesivos evaporados.
- Diluido 50/50 volumen.
- Diluido 70/30 volumen.

Caracterización de adhesivos

Para llevar a cabo la caracterización se empleó un espectrómetro de luz infrarroja, en el cual se analizaron las muestras de adhesivos que previamente se colocaron en placas de vidrio para poder utilizarlos como películas.

Simulación computacional en COMSOL

Empleando el software COMSOL v.5.2 se realizaron pruebas de simulación en donde se introdujeron datos obtenidos experimentalmente para la estimación de perfiles de velocidad, presión, esfuerzo cortante y velocidad de corte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis experimental

En la IMAGEN 2. se muestra la relación entre el esfuerzo y la velocidad de corte del adhesivo LMX-40 para cada experimento, lo cual nos indica la viscosidad. Por lo tanto, a pendientes mayores corresponde una viscosidad alta.

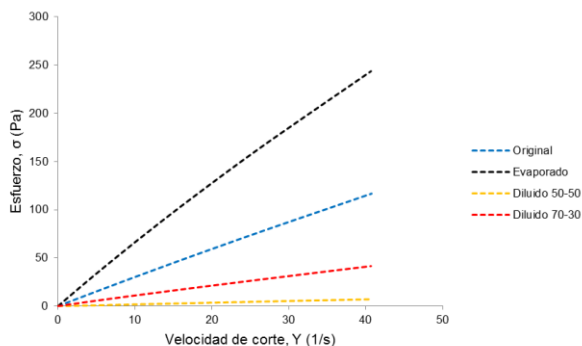


IMAGEN 2. Relación experimental entre esfuerzo y velocidad de corte para el adhesivo LMX-40 (base disolvente).

La IMAGEN 3. muestra la relación entre el esfuerzo y la velocidad de corte del adhesivo Poliuretano para cada experimento, lo cual nos indica la viscosidad.

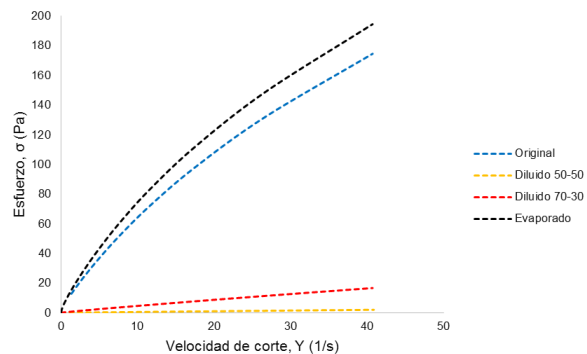


IMAGEN 3. Relación experimental entre esfuerzo y velocidad de corte para el adhesivo Poliuretano (base agua).

En ambas gráficas se observa que el esfuerzo que se requiere para mover el fluido a la velocidad de corte dada, con respecto al producto original, es mayor para la muestra evaporada debido a que se tiene menos disolvente. Mientras que para las muestras diluidas se requiere un esfuerzo menor, ya que el disolvente permite una mayor fluidez del adhesivo.

Caracterización

Se obtuvieron los espectros para cada una de las muestras de adhesivos con el objetivo de identificar regiones que indicaran la presencia de carbonos terciarios, lo cual se pudo analizar a partir de tablas de grupos y frecuencias de absorción [4]. Para un grupo de carbono terciario las bandas de absorción se presentan en la Tabla 1, donde tales intervalos corresponden a los números de onda correspondientes para ese tipo de enlace de carbonos en un espectro infrarrojo respecto, en este caso, al porcentaje de transmitancia.

Tabla 1. Bandas de absorción para carbonos terciarios

Deformaciones vibracionales	
C(CH ₃) ₃	1400-1390
	1375-1365
Vibraciones de esqueleto	
C(CH ₃) ₃	1255-1245
	1210-1160

Por tanto, la IMAGEN. 4, muestra el espectro obtenido para el Poliuretano donde la parte señalada pertenece a los intervalos mostrados en la Tabla 1.

Tales resultados también fueron estimados para el adhesivo LMX-40 (base disolvente), donde se pudo apreciar picos intensos en esta región.

Cualitativamente se observó que existe el mismo nivel de entrecruzamiento para los materiales base agua y base disolvente, donde el material tipo base agua tiene ventajas sobre el base disolvente porque el impacto ambiental y a la salud es menor así mismo el resultado en cuanto al entrecruzamiento es el mismo por la presencia de carbonos terciarios observados en el espectro infrarrojo.

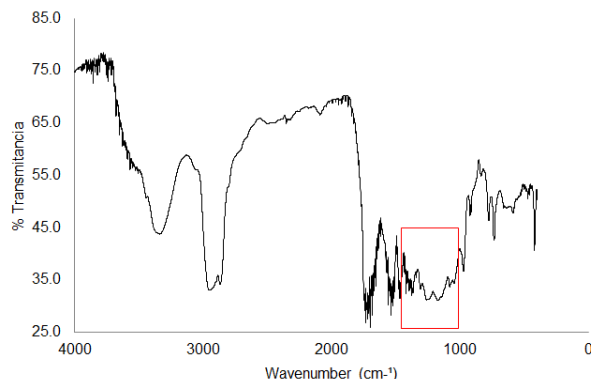


IMAGEN 4. Espectro IR Poliuretano.

Simulación

Al igual que para la parte experimental, las Imágenes 5 y 6 muestran la relación de la viscosidad para los dos tipos de adhesivos utilizados en el análisis, tal relación fue obtenida al graficar esfuerzo cortante y velocidad de corte, cuyos datos fueron tomados del programa computacional COMSOL Multiphysics a partir de los datos experimentales resultantes del reómetro, donde se creó una nueva variable para obtener mediante una interpolación, valores de viscosidad dinámica.

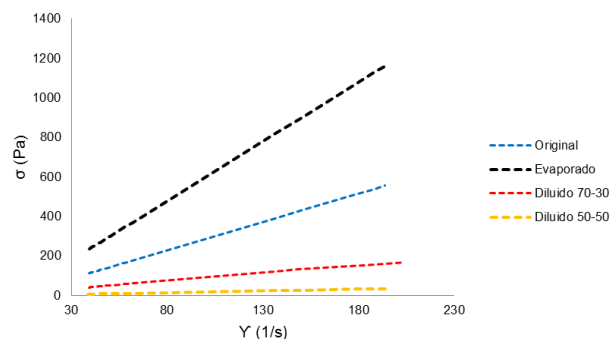


IMAGEN 5. Relación entre esfuerzo y velocidad de corte para el adhesivo LMX-40 (base disolvente).

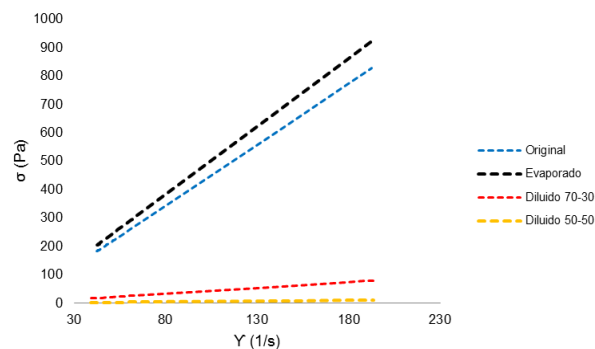


IMAGEN 6. Relación entre esfuerzo y velocidad de corte para el adhesivo Poliuretano (base agua).

Con respecto a las gráficas obtenidas experimentalmente y de la simulación para los dos adhesivos se puede observar que en la simulación fue posible obtener más puntos, los cuales presentan un mismo comportamiento, de tal manera que el valor obtenido de viscosidad es muy cercano. Así pues, se tiene que, el realizar un cálculo en un programa computacional como COMSOL permite estimar resultados acordes al experimento, los cuales posteriormente pueden ser utilizados para más análisis sin necesidad de repetir el análisis experimental.

Otra gran ventaja de utilizar COMSOL es la gran versatilidad que tiene para mostrar los resultados obtenidos de cada simulación. La IMAGEN 7 es claro ejemplo de ello, se aprecia en la parte superior el perfil de esfuerzo graficado por el programa computacional del adhesivo LMX-40 y en la parte inferior el del Poliuretano.

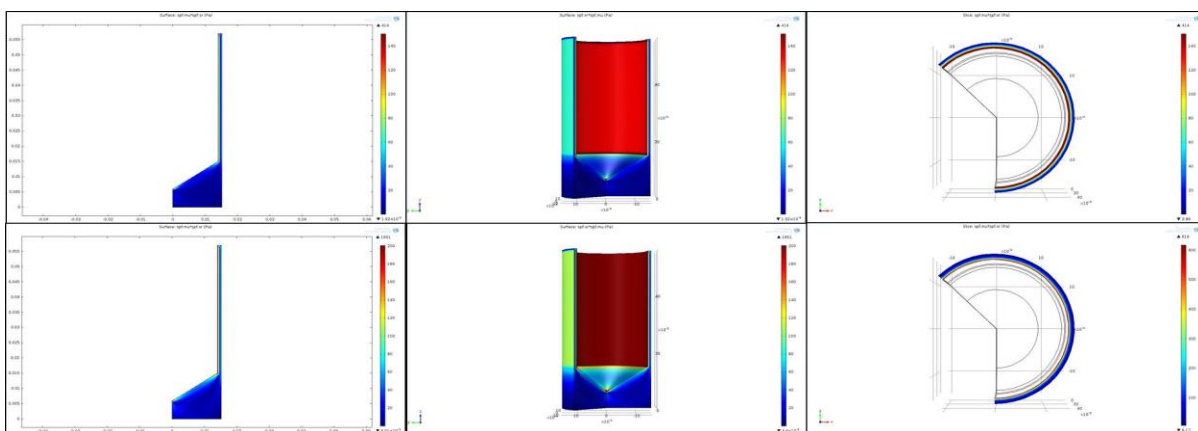
El perfil se ilustra de tres maneras diferentes, en 2D, 3D y en un corte transversal de la geometría. La magnitud del perfil es representado cualitativamente por la gama de colores que muestra cada figura donde el valor máximo es el color rojo y el mínimo el azul. Sin embargo, cada resultado tiene su respectiva escala.

Con base a estos resultados obtenidos, vemos claramente que el esfuerzo es mayor para el adhesivo Poliuretano que para el LMX-40.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado con la ayuda y asesoría del Dr. José Jorge Delgado García, quien colaboró en la parte experimental para orientación y uso del reómetro, y la Dra. María de los Ángeles Mendoza que nos orientó en la caracterización a partir del método infrarrojo. A los autores nos gustaría expresar nuestro más profundo agradecimiento a ambos por hacer posible la realización de este estudio.

IMAGEN 7. Perfil de esfuerzo en la geometría de los adhesivos LMX-40 (Superior) y Poliuretano (Inferior).



CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se tiene que el efecto de utilizar adhesivos base agua o disolvente es similar, dado que las propiedades físicas como el entrecruzamiento se observan para ambos, así como la viscosidad obtenida para cada uno de ellos, lo cual se observa en el comportamiento de las gráficas con respecto a los cuatro experimentos realizados.

El uso de un programa computacional como COMSOL es útil para realizar simulaciones consistentes tales que permitan reducir el número de análisis experimentales.

Por tanto, lo anterior permitió ver que el uso de adhesivos base agua implicaría la reducción al impacto negativo en la salud y ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Aulton, M. (2004). Farmacia. La ciencia del diseño de las formas farmacéuticas. Madrid, España. 2da ed.
- [2] TRIOS. (2004). [en línea] NewCastle. [Fecha de consulta: 6 de Julio 2016] Double Wall Concentric Cylinder Geometry for the DHR/AR Rheometer, también disponible en http://www.ifug.ugto.mx/~labblanda/manuales/TRIOS_Help_DHR-AR.htm.
- [3] Barman, K., Mothupally, S., Sonejee, A., y Mills, P. (2015). Fluid Motion Between Rotating Concentric Cylinders Using COMSOL Multiphysics™.
- [4] Cross, A. D., Jones, R. (1969). An introduction to practical infrared spectroscopy. New York 3th ed.