



Estudio tribológico de Polietilenglicol 400 reforzado con nanotubos de Haloisita como lubricante de prótesis de rodilla de CoCrMo-UHMWPE

C. Del Real¹, Y. K. Hernández¹, A. M. Herrera¹, E. I. Rodríguez¹, L. Peña-Parás².

1Vicerrectoría de Ciencias de la Salud, Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, Nuevo León, México.

2División de Ingeniería y Tecnologías, Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, Nuevo León, México.

Resumen— El desgaste de las prótesis de rodilla causado por lubricación deficiente en la superficie de contacto es un problema que va en aumento en los últimos años, por lo que se buscó probar un nuevo lubricante fabricado con Polietilenglicol 400 reforzado con nanopartículas de Haloisita (PEG400+HNTs). Fueron utilizados un anillo de CoCrMo y un bloque de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) para realizar pruebas tribológicas con la máquina Block on ring T-05 y posteriormente analizar la rugosidad promedio y la masa tanto del bloque como del anillo. Los resultados mostraron que en comparación con la solución de Hartmann, lubricante actualmente utilizado, el PEG 400+HNTs aumentó la masa del bloque 441.8%, redujo 82.7% la pérdida de masa del anillo y redujo 86.6% el coeficiente de fricción (COF). Se demuestra que posee propiedades que reducen significativamente el desgaste.

Palabras clave— Polietilenglicol 400, prótesis de rodilla, lubricante, nanotubos de Haloisita, Tribología.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha detectado un incremento significativo de padecimientos de la articulación de la rodilla. Puesto que esta parte del cuerpo se encuentra en constante movimiento, se produce fricción ocasionando que la superficie se desgaste. Dichas enfermedades degenerativas resultan en la implantación de prótesis para la sustitución total de la articulación [1].

Los materiales más utilizados para las prótesis de rodilla son el CoCrMo (aleación Cobalto-Cromo-Molibdeno) y el UHMWPE (polietileno de ultra alto peso molecular) [1,2]. Debido a la alta fricción entre las superficies, es necesario el uso de lubricantes. Actualmente, la solución de Hartmann es la más utilizada ya que es la más accesible del mercado. Sin embargo, las escasas propiedades del material producen una amplia reducción del tiempo de vida de las prótesis [2].

Los polietilenglicoles (PEG) son polímeros de condensación de óxido de etileno con monómero $H(OCH_2CH_2)_nOH$, el valor numérico en la nomenclatura corresponde a su peso molecular. El PEG 400 es una sustancia estable, hidrofílica y biocompatible. Sus soluciones acuosas son empleadas para aumentar la solubilidad del agua y modificar la viscosidad. También es utilizada como agente plastificante y posee un alto punto de fusión [3,4].

Los nanotubos de haloisita (HNTs) $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, son un mineral del grupo de los aluminosilicatos. Poseen forma cilíndrica con longitud de 50-5000 nm, diámetro externo de 20-200 nm y diámetro interno de 10-70 nm, poseen baja

conductividad eléctrica y térmica. Se conocen por aportar mejoras significativas en propiedades térmicas y mecánicas en la adición en compuestos poliméricos. Son altamente biocompatibles, tienen baja toxicidad y son de bajo costo. Los HNTs se han usado para ingeniería de tejido y pueden ser cargados con fármacos para su posterior liberación [5-8].

Tal como sugiere Kobayashi El PEG 400 puede desempeñarse como lubricante intra-articular para prevenir el desgaste del UHMWPE y contribuir a la longevidad de las prótesis de rodilla [9]. Además como menciona Vallés, se ha demostrado que el uso de nanopartículas permite cambiar las propiedades de los materiales para mejorar el desplazamiento y reducir el desgaste [10]. Basados en la investigación de Greenberg, en la que demuestra que la adición de nanopartículas de IF-WS2 a lubricantes da como resultado una reducción de hasta un 50% en el coeficiente de fricción (COF), se decidió investigar el comportamiento del lubricante PEG 400 con nanotubos de Haloisita en una prótesis de rodilla de CoCrMo-UHMWPE [11]. Esto con el objetivo de proponer un nuevo lubricante con el que se reduzca el desgaste y se aumente la vida útil de la prótesis [12].

En este estudio, un compuesto de PEG400 + HNTs fue preparado Posteriormente, dicho material fue empleado como lubricante en pruebas tribológicas realizadas con la máquina T-05. Para lo anterior, un par de fricción compuesto de un anillo de CoCrMo y un bloque de UHMWPE fue requerido para determinar el COF, desplazamiento, rugosidad y peso de los materiales. Las primeras dos variables fueron obtenidas durante la prueba tribológica y las dos últimas con el análisis del antes y después de la prueba. Las propiedades del lubricante fueron determinadas a partir de las variables medidas en la prueba tribológica.

II. METODOLOGÍA

A. Materiales

El PEG 400 y los HNTs fueron adquiridos en Sigma-Aldrich. Un anillo de CoCrMo (ASTM F7) y un bloque de UHMWPE fueron utilizados para las pruebas. Las dimensiones del anillo de CoCrMo son de 35mm de diámetro y un ancho de 8.7mm. Las dimensiones del bloque de UHMWPE son de 6.35 x 10.2 x 15.8 mm. En la fig. 1 se muestra una fotografía del anillo y el bloque utilizado para la prueba.



Fig. 1. Anillo de Co-Cr-Mo y bloque de UHMWPE

B. Síntesis del lubricante

Para la realización del compuesto, 100ml de PEG400 fueron pesados, posteriormente 0.05 wt.% de HNTs añadidos al PEG400. La mezcla fue agitada con un ultrasonificador durante 3 minutos a temperatura ambiente para dispersar correctamente las nanopartículas. Después de esto, la mezcla fue agitada manualmente. Todos los recipientes e instrumentos fueron previamente desinfectados para evitar cualquier contaminación en la muestra.

C. Prueba tribológica

La máquina tribológica “Block-on-ring T-05 wear tester” fue utilizada para obtener la caracterización de las propiedades tribológicas del compuesto PEG400 + HNTs. En la Fig. 2 se muestra una imagen de la máquina [13]. La prueba fue llevada a cabo a temperatura ambiente .

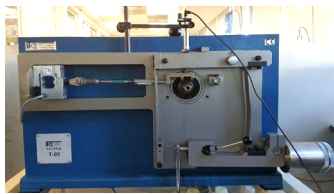


Fig. 2 Máquina tribológica T-05

El montaje de la prueba consistió en lo siguiente: El anillo de CoCrMo fue colocado por debajo del bloque, fueron sometidos a una carga de 490 N, la cual representa el peso de una persona con peso promedio [14]. Al momento de iniciar la prueba, el anillo comenzó a girar gradualmente hasta alcanzar una velocidad de 800 rpm sobre su eje ejerciendo una fuerza de fricción sobre el bloque de UHMWPE

Mientras el anillo giraba, el lubricante iba siendo añadido sobre el anillo de manera que siempre estuviera lubricada la superficie de contacto. Por debajo del anillo, la máquina cuenta con un recipiente en donde cae el excedente.

Para recabar resultados precisos, la prueba tuvo una duración 36 horas seccionada en 3 partes. Cada sección con una duración de 12 horas continuas. Las variables obtenidas con la T-05 son las siguientes: coeficiente de fricción,

desgaste lineal entre las superficies del bloque y del anillo, temperatura del lubricante, velocidad angular a la que gira el anillo y el desplazamiento lineal del bloque hacia el anillo.

Los datos para introducir la velocidad del anillo, fueron añadidos por medio del software de la máquina. La carga a la que fueron sometidos los elementos fue aplicada por medio de un sistema de pesas de la máquina. Así mismo, la máquina cuenta con sensores para la medición de la temperatura, el coeficiente de fricción y el desplazamiento. El sensor de temperatura fue colocado en el recipiente donde caía lubricante y el sensor de desplazamiento y coeficiente de fricción fueron colocados por encima del bloque. Estos tres datos fueron graficados por el software de la máquina [13].

D. Análisis después de la prueba

La masa y la rugosidad promedio de las superficies del bloque y anillo fueron medidas antes y después de la prueba para determinar el desgaste. El peso fue medido con una báscula de precisión y la rugosidad con el equipo “Alicona EdgeMaster”. La fig. 3 muestra una imagen del equipo.



Fig. 3 Alicona EdgeMaster

Para la medición de la masa, la báscula fue calibrada antes de hacer las mediciones. Posteriormente, el anillo ó el bloque fueron colocados en la báscula. En el caso de la rugosidad, el bloque o anillo fueron colocados en la máquina Alicona, este equipo realiza un análisis en 2D de la superficie de cada objeto y con el software de este se hace la medición de la rugosidad. Para ello, la rugosidad de cada objeto fue medida tres veces y se obtuvo el promedio de la rugosidad.

III. RESULTADOS

A. Pérdida de masa

Como se observa en la Fig. 4 el bloque de UHMWPE después de las primeras 12 hr no presenta pérdida alguna con la solución de Hartmann. El bloque utilizado con el PEG-400+HNTs comienza a ganar masa en las primeras 12

hr. Terminando con 441.8% más masa en comparación con la solución después de las 36 h.

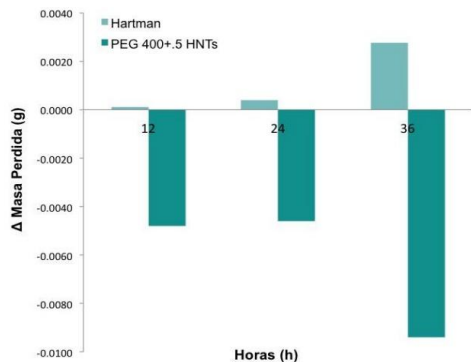


Fig.4 Masa perdida del bloque de UHMWPE cada 12 h.

Durante las primeras 12 hr la masa del anillo no presenta una diferencia significativa. Al completar la tercera parte de las 36 hr se presenta la mayor pérdida de masa. Con esto se puede destacar que el uso del lubricante PEG-400+HNTs. reduce en 82.7% la pérdida de masa. (Fig. 5).

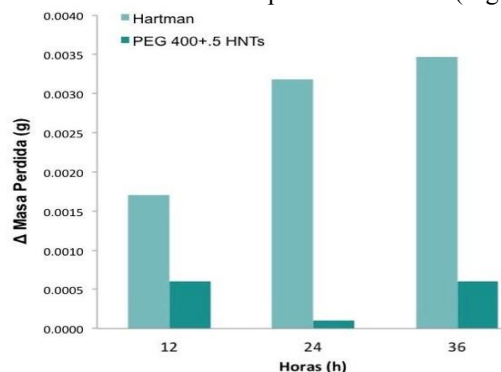
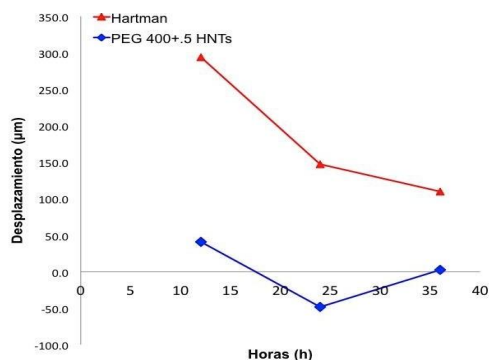


Fig.5 Masa perdida del Anillo de CoCrMo cada 12 h.

Ambos lubricantes presentan un comportamiento similar en el desplazamiento, el cual disminuye conforme transcurre el tiempo. En la Fig.6 se presenta claramente la diferencia en las magnitudes, donde el lubricante con nanopartículas presenta valores inferiores, respaldando los resultados de reducción en la pérdida de masa del par de fricción



.Fig.6 Desplazamiento durante las 36 h de prueba

B. Coeficiente de Fricción

El COF aumenta de manera lineal con la solución común (Fig.7). Mientras que con el lubricante fabricado se mantiene en un rango inferior durante las 36 h de la prueba. Finalizó con un COF 86.6% menor.

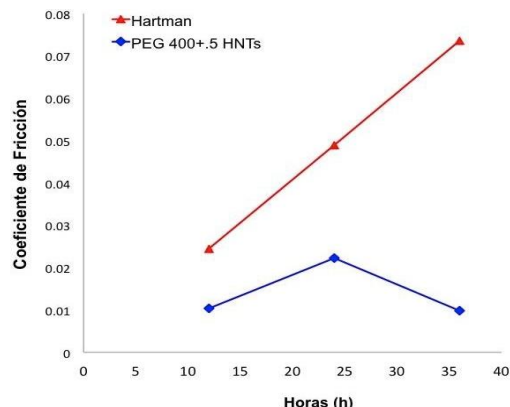


Fig.7 Coeficiente de fricción presentado durante las 36 h.

C. Rugosidad (Ra)

Los datos que se obtuvieron del Ra medido antes y después realizar la prueba fueron promediados previo a su análisis. El Ra del anillo de CoCrMo lubricado con solución de Hartmann se redujo en 31.21%. En la prueba con PEG 400+HNTs, el Ra presentó un aumento del 3.4% confirmando la escasa pérdida de masa después de la prueba.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de la prueba tribológica con PEG 400+NTs, fueron comparados con las propiedades tribológicas de la solución de Hartman. Dichos estudios fueron llevados a cabo siguiendo la misma metodología y en igualdad de condiciones. El incremento en la masa que presenta el bloque se atribuye al efecto del tribofilm, el cual como explica Luo, es una capa delgada sólida formada como resultado de las interacciones químicas entre los componentes del lubricante y el anillo; esta película aumenta la masa en bloque de UHMWPE [15]. Debido a que se muestra menor desgaste en el anillo en la prueba realizada con PEG400+NTs en comparación con la solución de Hartman, se considera que, como sugiere Xie et. al, durante las pruebas tribológicas los HTNs llenan los valles que hay en la superficie del anillo, reduciendo su desgaste [16]. La disminución en el COF, como explica Chang y Friedrich, se le atribuye a los mecanismos de reducción de fricción de las HNTs: rodamiento y llenado de valles [6]. El resultado que se obtiene es favorable; ya que, a menor COF hay un menor desgaste, por lo que el tiempo de vida del material se prolonga. En último término, la disminución de la rugosidad, es consecuencia del pulido que el bloque sufre durante la prueba. Este resultado se relaciona directamente

con la pérdida de masa que el bloque presenta después de las 36 horas.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados demuestran que el lubricante PEG-400 reforzado con HNTs disminuye el desgaste en el par de fricción CoCrMo-UHMWPE. Gracias al bajo COF y al menor desplazamiento que se presentó con el lubricante fabricado, las partículas de desgaste del anillo de CoCrMo deben ser reducidas; manteniendo así, la integridad del material por un mayor tiempo. Dicha afirmación se respalda con los resultados de la pérdida de masa del anillo. Por otra parte la resistencia al desgaste del bloque se aumenta por el tribofilms; el cual es generado por la interacción misma del par con el lubricante. Estos resultados se traducen en la prolongación de la vida útil de los materiales de la prótesis, brindando una mejor calidad de vida a las personas que han sido sometidas a un reemplazo total de rodilla, aplazando así, una posible segunda intervención quirúrgica para la sustitución del implante debido al desgaste en su superficie. Se deben realizar dos pruebas más, de 36 h cada una para poder validar los resultados obtenidos hasta ahora. Una vez corroborados será posible realizar una conclusión más precisa y confiable sobre los beneficios del uso del PEG-400+NTs como lubricante para prótesis de rodilla.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente el apoyo brindado por el Ing. Patricio Pineda. Gracias a su guía, explicaciones y consejos fue posible llevar a cabo este proyecto. Asimismo, a la Universidad de Monterrey (UEM) por habernos prestado las instalaciones y equipos para poder realizar esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Navarrete, L. (NA). *Materiales para prótesis internas*. [en línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/7935013/MATERIALES_PARA_PR%93_TESIS_INTERNAS
- [2] Wimmer, M.A. Laurent, M.P. & Marks, L.D. (2015). *The effect of contact load on CoCrMo wear and the formation and retention of tribofilms*. [en línea] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4465123/http://eprints.sim.ucm.es/23874/>
- [3] D Gourgouillon, D., Avelino, H, Fareleira, J & Nunes, M. (1997) *Simultaneous viscosity and density measurement of supercritical CO₂-saturated PEG 400*. [en línea] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896844698000503>
- [4] Acofarma (NA). *FICHAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA*[en línea] Disponible en: http://www.acofarma.com/admin/uploads/download/4517-75062ecea9c08aa6208d5f53e63a779ab0058c4a/main/files/Polietilengli_col_400_4000_6000.pdf
- [5] B. Huang, M. Liu, Z. Long, Y. Shen, and C. Zhou, "Effects of halloysite nanotubes on physical properties and cytocompatibility of alginate composite hydrogels," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 70, pp. 303–310, 2017.
- [6] R. T. De Silva, P. Pasbakhsh, K. L. Goh, S. Chai, and H. Ismail, "Physico-chemical characterisation of chitosan / halloysite composite membranes," *Polym. Test.*, vol. 32, no. 2, pp. 265–271, 2013.
- [7] R. Yendluri *et al.*, "Paclitaxel Encapsulated in Halloysite Clay Nanotubes for Intestinal and Intracellular Delivery," *J. Pharm. Sci.*, pp. 1–9, 2017.
- [8] W. T. Jiang, P. H. Chang, Y. Tsai, and Z. Li, "Halloysite nanotubes as a carrier for the uptake of selected pharmaceuticals," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 220, pp. 298–307, 2016.
- [9] Kobayashi, M., Koide, T. & Hyon, S, (2014). *Tribological characteristics of polyethylene glycol (PEG) as a lubricant for wear resistance of ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) in artificial knee join*. [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616114001672>
- [10] Vallés, J. & Vergara, I. (2008). *Tribología con nanomateriales*. [en línea] Disponible en: <http://www.investigacionyciencia.es/files/2889.pdf>.
- [11] Greenberg, R., Halperin, G., Etsion, I. & Tenne, R. (2004). *The effect of WS2 Nanoparticles on Friction Reduction in Various Lubrication Regimes*. [en línea] Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1023/B:TRIL.0000032443.95697.1d>
- [12] Silberman, A. (NA). *Importancia de la rótula en los reemplazos totales de rodilla*. [en línea] Disponible en: http://www.aoot.org.ar/revista/1993_2002/1995/1995_1/600104.pdf
- [13] PIB. (2008). *T-05 Block-on ring wear tester for evaluation of lubricants and engineering materials*. [en línea] Disponible en: http://www.tribologia.org/ptt-old/inst/rad/T-05_en.pdf
- [14] R. Cross. (1998). *Standing, walking, running, and jumping on a force plate*. [en línea] Disponible en: <http://www.physics.usyd.edu.au/~cross/PUBLICATIONS/6.%20StandingForcePlate.PDF>
- [15] Luo, Quanshun (2013). *Tribofilms in solid lubricants*. In: WANG, Q. Jane and CHUNG, Yip-Wah, (eds.) *Encyclopedia of Tribology*. Springer. [en línea] Disponible en: http://shura.shu.ac.uk/3509/1/Luo_Tribofilms_enc.pdf
- [16] Xie, H., Jiang, B., Liu, B., Wang, Q., Xu, J., & Pan, F. (2016). *An Investigation on the Tribological Performances of the SiO₂/MoS₂ Hybrid Nanofluids for Magnesium Alloy-Steel Contacts*. *Nanoscale Research Letters*, 11, 329. [en línea] Disponible en: <http://doi.org/10.1186/s11671-016-1546-y>
- [17] Chang, L., & Friedrich, K. (2010). *Enhancement effect of nanoparticles on the sliding wear of short fiber-reinforced polymer composites: A critical discussion of wear mechanisms*. *Tribology International*, 43(12), 2355-2364. doi:10.1016/j.triboint.2010.08.011 <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/06855?lang=es®ion=MX&gclid=C1bd-fn8q9ACFUWtaQodCCoPHw>