

Reemplazos articulares de cadera. Estudio tribológico del polietileno de ultra alto peso molecular

Dr. José R. Alvarez*, Dra. Rosa M. Mitrotti*, Francisco R. Grieco*, Prof. Mariana Staia**

Dr. José R. Alvarez, Dra. Rosa M. Mitrotti, Dr. Francisco R. Grieco, Prof. Mariana Staia. **Reemplazos articulares de cadera. Estudio tribológico del polietileno de ultra alto peso molecular.** Revista Venezolana de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Vol. 36 N° 1, 2004.

RESUMEN

El polietileno de ultra alto peso molecular es un material con excelentes propiedades, por lo que ha sido escogido en la construcción de implantes ortopédicos utilizados en reemplazos articulares desde hace 30 años. Se realizó un estudio experimental para evaluar la fricción y el desgaste del PUAPM utilizado en copas acetabulares. Los ensayos se realizaron bajo la configuración bola sobre disco, en condiciones secas y con lubricante, utilizando carga de 10 Nw y distancia de deslizamiento de 1 000 m. Los pares tribológicos ensayados fueron discos de polietileno, bolas de alúmina y acero inoxidable (AISI 304). El par alúmina / polietileno presentó valores de fricción y volumen de desgaste menor que el par acero inoxidable / polietileno en condiciones secas y húmedas. La dureza del polietileno juega un papel importante en la fricción y el desgaste deslizante. El par alúmina/ polietileno representa una buena opción para su aplicación en reemplazos articulares de cadera.

Palabras clave: Polietileno de ultra alto peso molecular. Fricción. Desgaste. Copas acetabulares.

ABSTRACT

Ultra high molecular weight polyethylene has excellent properties, which has made it chosen for orthopaedic implants used in joint replacements for the last 30 years. We designed an experiment to evaluate friction and wear of UHWMP used in acetabular cups. Essays were done pin on disk configuration, both under dry conditions and with lubricant, using a 10 Nw force and a length of displacement of 1000 m. The tribological pairs assayed were polyethylene disk, alumina ceramic and steel balls (AISI 304). The polyethylene and alumina ceramic pair presents friction values and wear volume lower than the steel and polyethylene under dry and wet conditions. Polyethylene hardness plays an important role in friction and motion wear. The alumina / polyethylene pair represents a good option to be used in hip joint replacements.

Key words: High molecular weight polyethylene. Friction. Wear. Acetabular cups.

INTRODUCCIÓN

El resultado y consecuencia del desgaste es el progresivo adelgazamiento de los componentes del

polietileno, que puede limitar la vida del reemplazo articular. El problema clínico del desgaste es la excesiva formación de partículas que entran en el sistema biológico. Cuando las partículas son fagocitadas en suficiente cantidad, los macrófagos entran en actividad y forman sustancias que dan como resultado reabsorción ósea periprotésica¹.

*Especialista en Traumatología y Ortopedia. Hospital Central IVSS. Miguel Pérez Carreño. Universidad Central de Venezuela.

**Directora del Centro de Nuevos Materiales y Corrosión (GENMACOR), de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la UCV.

El tipo de desgaste predominantemente en una articulación protésica varía de un modelo a otro. Se describen 4 modos o tipos de desgaste que intervienen en los reemplazos articulares. El primer modo resulta del movimiento que ocurre entre dos

superficies primarias tal como ocurre con el componente femoral sobre el componente acetabular de polietileno. El segundo modo se refiere cuando una superficie primaria se mueve sobre una superficie secundaria como por ejemplo en las prótesis bipolares ^{2,3}. El tercer modo se refiere a la condición mediante la cual una superficie primaria se mueve sobre otra pero existe interposición de partículas. Esta modalidad de desgaste es llamado desgaste a tres cuerpos (*Third body wear*). El cuarto modo se refiere cuando dos superficies secundarias se deslizan juntas. El ejemplo de este tipo es el pinzamiento del cuello protésico sobre el anillo del componente acetabular, movimiento de la interfase cemento-vástago o vástago-hueso ⁴.

Entonces, el desgaste ocasiona un efecto biológico dañino significativo y parece ser el responsable de las fallas a largo plazo. A raíz de este comportamiento, las características del desgaste del polietileno de ultra alto peso molecular han sido estudiadas extensamente desde que este material fue introducido y utilizado como implante ortopédico hace 30 años. Durante este período se han llevado a cabo tres grandes tipos de investigación:

- A. Estudios de desgaste en máquinas estándar de laboratorio: bola de polietileno de ultra alto peso molecular (PUAPM) sobre disco (*pin on disk*) o bola sobre placa (*pin on plate*) en movimiento oscilatorio.
- B. Evaluación de implantes completos en simuladores de articulación.
- C. Estudios *in vivo*, acerca del desempeño (*performance*) de los reemplazos articulares.

Tipper y col. ⁵ describe el interés actual en la caracterización de las partículas "debris" originados por el desgaste en los diferentes modelos de reemplazos articulares. En su estudio, compara los volúmenes y las partículas de desgaste generadas por las combinaciones de Zirconio-PUAPM, metal-metal y cerámica-cerámica bajo las mismas condiciones de desgaste. Existen diferencias significativas entre el volumen de desgaste y la naturaleza de las partículas de desgaste correspondientes a los diferentes modelos. Además, se demuestra que las articulaciones metal-metal y cerámica-cerámica pueden ofrecer considerables ventajas en comparación a las articulaciones tradicionales de PUAPM-metal.

El presente trabajo lleva a cabo el estudio de la respuesta al desgaste deslizante PUAPM utilizado en reemplazos articulares de cadera. A tal fin, se

realiz el estudio empleando insertos de polietileno de diferentes fabricantes. Se realizan experimentos para determinar el comportamiento al desgaste deslizante en seco y en húmedo, estos últimos utilizando como lubricante una solución tipo coloide. Los resultados obtenidos se correlacionan con los valores de dureza determinada para cada uno de los materiales bajo estudio. El estudio del mecanismo de desgaste se lleva a cabo empleando las técnicas de microscopía electrónica de barrido y perfilometría óptica. Los resultados obtenidos contribuirán a la clasificación de estos materiales en función de la respuesta frente al desgaste, permitiendo así tener referencias propias de las características del polietileno utilizado en reemplazos articulares en el país, ya que no poseemos ninguna referencia nacional del comportamiento ante el desgaste de estos implantes.

Finalmente, el polietileno es un material excelente para implantes ortopédicos y es improbable que sea reemplazado por cualquier material nuevo o mejor en el futuro cercano. De esta forma, los resultados obtenidos contribuirán a un mejor entendimiento de la respuesta ante el desgaste lográndose un refinamiento de sus propiedades y en el diseño de componentes que permitan un mejor desempeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente es un trabajo descriptivo prospectivo de investigación tecnológica, de las propiedades de 11 insertos de polietileno de 6 diferentes fabricantes europeos y americanos.

Para esto se contó con la colaboración del personal y los equipos del Centro de Nuevos Materiales y Corrosión (CENMACOR), en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la UCV. Se utilizaron 11 discos cortados a partir de 11 componentes acetabulares de polietileno de ultra alto peso molecular proveniente de seis diferentes fabricantes europeos y americanos.

Preparación de las muestras

Las copas acetabulares fueron cortadas en un torno de control numérico y se obtuvieron 11 discos de 20 mm de diámetro por 5 mm de espesor. Las muestras fueron desbastadas y pulidas con carburo de silicio en húmedo con la siguiente secuencia 240, 320, 400, 600, 1200, 2400, 4000. Este procedimiento se realizó en una máquina de disco giratorio, marca Buehler, modelo Simplimet ³. Después de la preparación, las muestras fueron limpiadas durante

20 min con alcohol isopropílico en un limpiador ultrasónico marca LECO, modelo 4C-50.

Medición de rugosidad

Se realizó la medición de rugosidad de las muestras utilizando un perfilómetro de interferometría óptica marca ZYGO, modelo NEW VIEW 200.

Se realizaron tres mediciones de rugosidad en cada muestra y se reportó el valor de la rugosidad promedio (Ra). Se obtuvieron imágenes en tres dimensiones de la topografía de la superficie de las muestras. Las muestras eran almacenadas para mantener su humedad y temperatura constante en un equipo (DRY KEEPER) modelo Leco-134.

Caracterización tribológica

Ensayos de desgaste

Los ensayos de desgaste acelerado, de acuerdo a la norma ASTM G 99-95, fueron realizados en un tribómetro marca CSEM de configuración bola sobre disco.

Los ensayos se realizaron por duplicado en condiciones ambientales a una temperatura de $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $60 \pm 5\%$ al seco y con lubricante. Cada ensayo se llevó a cabo utilizando una carga de 10 Nw para una distancia de deslizamiento de 1 000 m. La velocidad empleada fue de

10 cm/s y un radio de huella constante de 5 mm y 10 mm. Las contrapartes estáticas del sistema tribológico fueron bolas de 6 mm de diámetro de Alúmina (Al_2O_3) y de acero inoxidable AISI 304, de los ensayos de desgaste se obtuvieron las curvas que indican la variación del coeficiente de fricción con la distancia de deslizamiento.

Caracterización de los productos del desgaste

El análisis topográfico en 3D de las huellas de desgaste fue realizado utilizando el perfilómetro de interferometría óptica en el cual se realizó la medición de la profundidad de la huella de desgaste (Figura 1). Para la determinación del volumen desgastado en las muestras ensayadas se utilizó la norma ASTM G 99-95.

El volumen desgastado se determinó a partir del área de sección transversal de la huella de desgaste medida en el perfilómetro y, posteriormente, se realizó el cálculo del volumen con la siguiente ecuación:

$$V_d = A \times 2 \times r$$

V_d = volumen de desgaste

A = Área de sección transversal de la huella

r = radio de acción de la bola.

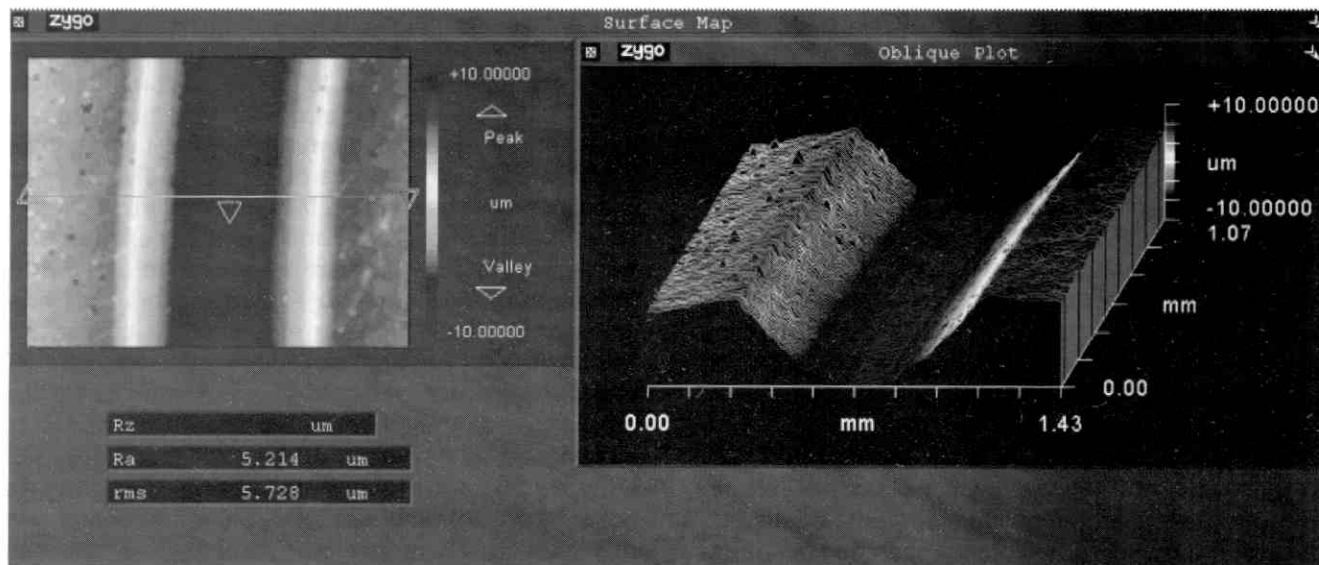


Figura 1. Perfil topográfico en 3D de la huella de desgaste.

Luego del cálculo del volumen desgastado se determinó la constante K, mediante la ecuación de Archard ⁶.

$$K = V / (S \times P)$$

V= volumen desgastado (mm³)

S= distancia de deslizamiento (m)

P= carga normal utilizada(Nw)

Mecanismos de desgaste

Para el estudio de los mecanismos de desgaste presente en las superficies desgastadas de las muestras se realizó el análisis morfológico de la huella de desgaste de los discos mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB). El estudio de las huellas del par tribológico se realizó en la modalidad de electrones primarios (EP) para obtener una idea de la distribución composicional de los elementos en las huellas y también en la modalidad de electrones secundarios para tener información sobre la topografía de las mismas.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Medición de la dureza

La medición de dureza se realizó en un durómetro tipo 1600 (REX- GAUGE CO) bajo la norma ASTM-D2240. Se observó que la dureza promedio es similar en 5 de las muestras, sólo en la muestra E se observa una dureza significativamente mayor. Los valores determinados concuerdan muy bien con los resultados reportados en la literatura por Li y col. ⁷ que encontraron que la dureza del polietileno, medido bajo esta misma norma D-2240, es de 60.

Caracterización tribológica

Ensayos de desgaste del par tribológico polietileno/alúmina en condiciones secas

El coeficiente de fricción promedio más bajo fue 0,08 μ observado en el ensayo de la muestra E y el más elevado fue de 0,258 μ correspondiente a la muestra D. Se observan patrones de curvas similares en todas las muestras caracterizados por picos periódicamente espaciados excepto en la curva de la muestra E.

En el trabajo de Dangsheng y col. ⁸ presenta los resultados de los ensayos de desgaste deslizante en la configuración bola sobre disco con las contrapartes de discos de alúmina de 50 mm x 8 mm y pines de PUAPM de 4 mm, a una distancia de deslizamiento de 10 km en diferentes condiciones de lubricación. El estudio de las propiedades de fricción y desgaste en los ensayos en condición seca

arrojaron un coeficiente de fricción relativamente bajo pero que incrementa gradualmente con la distancia de deslizamiento. Cuando la distancia alcanzó 1 km el coeficiente de fricción fue de 0,10-0,14 μ , que representa el valor más alto comparándolo cuando se utilizan lubricantes como agua destilada, solución salina y plasma.

Para observar el comportamiento ante el desgaste del par tribológico ensayado se realizaron estudios mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB) en la cual se muestran las micrografías de las huellas de desgaste del par tribológico. En la micrografía presentada se puede observar claramente el "debris" adherido en el centro de la huella. La formación de las partículas de desgaste durante el ensayo corresponde a un desgaste de la superficie por adhesión de las partículas (Figura 2).

Ensayos de desgaste del par tribológico polietileno / acero inoxidable en condiciones secas

La muestra D muestra el mayor coeficiente de fricción 0,26 μ y el menor coeficiente de 0,07 μ corresponde a la muestra E. Estos resultados se comparan con el trabajo de Chandrasekaran y col. ⁹ en el cual se utilizaron pines de polietileno y discos de acero inoxidable. Los ensayos se realizaron bajo la configuración bola sobre disco en condiciones secas y con lubricantes como albúmina de huevo, glucosa y globulina, utilizando como carga 45 Nw para dos velocidades diferentes de 300 rpm y 600 rpm. La fricción fue medida usando un acelerómetro dinámico y la medición se llevó a cabo con un censor láser, luego para definir el mecanismo de desgaste de las huellas fueron observadas en el microscopio electrónico. El coeficiente de fricción del ensayo en condiciones secas fue de 0,1 μ siendo el valor más elevado en comparación con los otros ensayos ⁹. En la Figura 3 se muestran los diferentes valores de volumen de desgaste el cual es menor en la muestra B (0,256 mm³) y mayor en la muestra E (0,630 mm³). Además se puede observar que no hay diferencias significativas existentes entre los volúmenes de desgaste de las diferentes muestras ensayadas. Si se comparan los resultados del volumen de desgaste con los de la contraparte polietileno / alúmina se observa que el volumen de desgaste de par polietileno / acero inoxidable es aproximadamente 2 veces mayor. Resultados similares han sido reportados por Minakawa y col. ¹⁰.

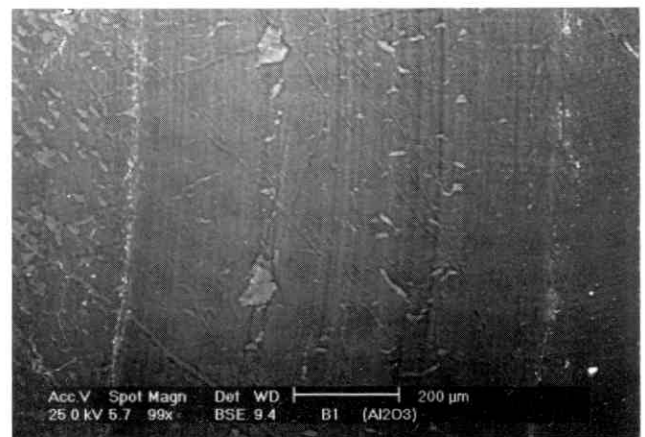
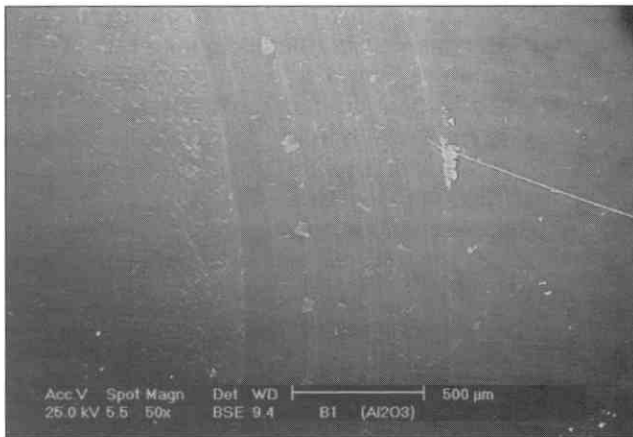


Figura 2. Micrografías por MEB del par tribológico alúmina / polietileno. Huellas de desgaste en el polietileno: A)50x B)100x.

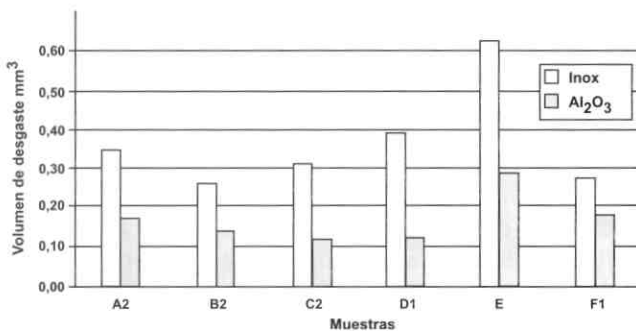


Figura 3. Volumen de desgaste comparativos de las dos contrapartes en condiciones secas.

Ensayos de desgaste del par tribológico polietileno / alúmina en condiciones húmedas

Sawae y col.¹¹ señalaron en su trabajo que la morfología de las huellas de desgaste cambia con el lubricante. En presencia de solución salina se produjo gran cantidad de “debris” en la superficie dañada, mientras que con agua destilada se apreciaron láminas que se separan de la superficie y en presencia de plasma se observaron microgrietas distribuidas en la superficie dañada, que se disponían en sentido vertical a la dirección de deslizamiento. En todas estas condiciones de lubricación el mecanismo de desgaste encontrado fue abrasivo.

En la Figura 4 se presentan los valores del volumen de desgaste observándose resultados similares en todas las muestras, excepto en la muestra E en la cual el volumen de desgaste fue de 0,227 mm³. Este valor representa aproximadamente un incremento en el volumen de desgaste de 220 % comparado con el valor del volumen de desgaste correspondiente a las demás muestras.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que, a pesar de realizar los ensayos en las mismas condiciones, existen polietilenos de ultra alto peso molecular (PUAPM) que se desempeñan de forma diferente e irregular con respecto a sus similares.

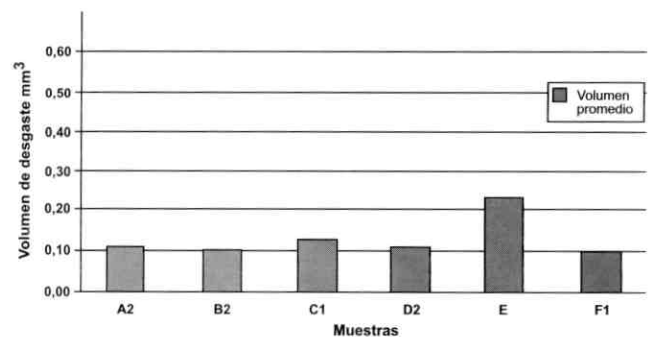


Figura 4. Volumen de desgaste de la contraparte alúmina en condiciones húmedas.

Ensayos de desgaste del par tribológico polietileno / acero inoxidable en condiciones húmedas.

En la Figura 5 se grafican los volúmenes de desgaste para las diferentes muestras. Se observa que el mayor volumen de desgaste corresponde a la muestra E con $0,38 \text{ mm}^3$, mientras que las demás muestras presentan volúmenes similares.

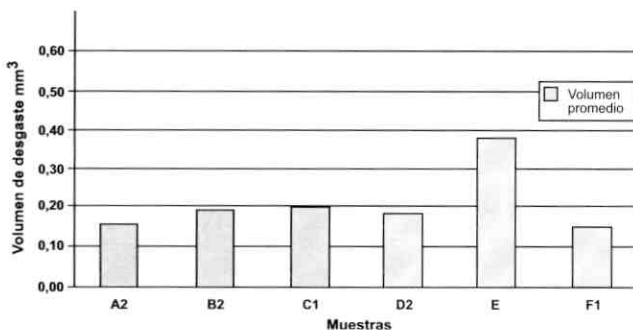


Figura 5. Volumen de desgaste para el par tribológico acero inoxidable / polietileno en condiciones húmedas.

Se puede observar el caso en el cual la contraparte era alúmina, la presencia de lubricante contribuye significativamente en la disminución del coeficiente de fricción y el volumen de desgaste.

Las micrografías de la caracterización de los productos del desgaste y las huellas empleando el MEB se muestran en la Figura 6. Se puede observar en las imágenes a 400x láminas que se despegan y se adhieren de nuevo a la superficie dañada. En las imágenes a 800x se pueden observar microgrietas en la superficie de la huella. Este tipo de morfología ha sido descrita en otros trabajos que llevan a cabo ensayos tribológicos en condiciones similares^{12,13}.

Los trabajos reportados en la literatura de la especialidad y mencionados anteriormente señalan la importancia de la presencia de lubricante como, por ejemplo, el líquido sinovial y sus componentes para la disminución de la fricción y el desgaste. De esta forma, contribuye a mejorar la vida media de los implantes de polietileno disminuyendo la cantidad de "debris" y en consecuencia el aflojamiento de los componentes protésicos. Por último, por más de 30 años el PUAPM ha sido usado como material de las copas acetabulares en los reemplazos articulares. Estos implantes articulares usualmente comprenden un metal, generalmente cromo-cobalto o cerámica que se articulan sobre componentes de polietileno. La longevidad de éstos dependerá del desgaste de los componentes de polietileno. La presencia de partículas de desgaste generadas por el deslizamiento del polietileno sobre el metal o cerámica producirá complicaciones como inflamación de los tejidos, osteólisis y aflojamiento aséptico. La osteólisis resultante del desgaste del polietileno es el mayor problema y reto actual de la Cirugía Ortopédica^{14,15}.

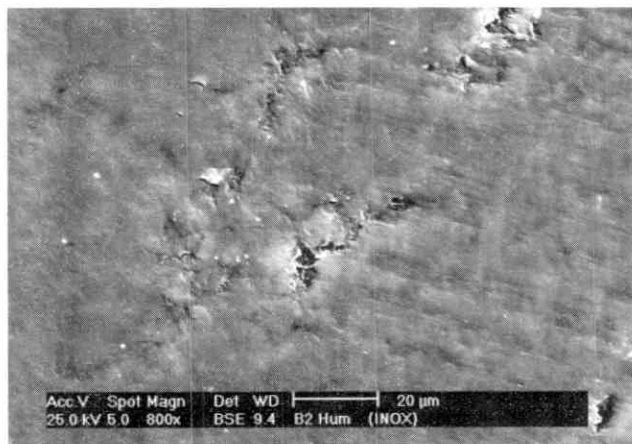
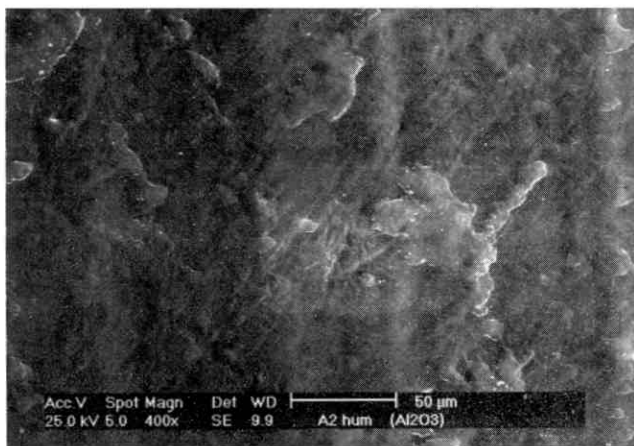


Figura 6. Micrografías por MEB del par tribológico acero inoxidable - polietileno en condiciones húmedas. Huellas de desgaste en el polietileno a 400x y 800x.

CONCLUSIONES

El coeficiente de fricción del par tribológico en los ensayos en condiciones secas presentan valores más elevados, en relación con los ensayos que se realizan en condiciones húmedas.

El volumen de desgaste de las muestras de PUAPM que han sido ensayadas en condiciones secas es de aproximadamente 2 veces mayor que el volumen de desgaste en condiciones húmedas. La absorción de agua por parte del polietileno tiene un papel importante para la disminución del desgaste.

El par alúmina / polietileno demuestra un coeficiente de fricción y volumen de desgaste significativamente menor en relación al par acero - polietileno tanto en condiciones secas y húmedas

En condiciones secas, los mecanismos de desgaste encontrados fueron microadhesión y abrasión. En los ensayos en la presencia de lubricante, los mecanismos de desgaste son adhesión, abrasión y la fractura del material.

La dureza de las diferentes muestras juega un papel fundamental en el comportamiento ante la fricción y desgaste deslizante tanto en condiciones secas como en presencia del lubricante.

Las muestras bajo estudio fueron sometidas a las mismas condiciones de ensayos y presentaron coeficientes de fricción y volúmenes de desgaste sin diferencias significativas, excepto la muestra E en la cual se presentaron coeficientes de fricción bajos pero volumen de desgaste significativamente mayor (220 %).

RECOMENDACIONES

Incentivar a realizar nuevos estudios que continúen estas líneas de investigación de los implantes de polietilenos y composición de las cabezas femorales para mejorar los resultados en relación al aflojamiento.

Revisión de las características de los implantes utilizados en nuestro país que no poseen las cualidades internacionales estándar y, de esta manera, evitar el desgaste y aflojamiento precoz.

Utilizar en nuestro medio la combinación alúmina / polietileno como parte de los componentes de los implantes articulares de cadera y de esa forma ob-

tener estadísticas y experiencia para compararla con la de otros países.

Fomentar la utilización de polietilenos de nueva generación, pues a pesar de los costos de estos implantes los beneficios serán mayores.

REFERENCIAS

1. Wrona M. An investigation into relationship between wear damage and internal fusion defects in retrieved UHMWPE tibial and acetabular components. Master's thesis. Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, 1996.
2. Wright TM, Fukubayashi T, Burstein AH. The effect of carbon reinforcement on contact area, contact pressure and time-dependent deformation in polyethylene tibial components. *J Biomed Materials Res.* 1997;15:719-730.
3. Lewis G. Properties of cross-linked ultra high molecular weight polyethylene. *Biomaterials.* 2001;22:371-401.
4. Anthony PP, Gie GA, Howie CR, Ling R.S.M. Localised endosteal bone lysis in relation to the femoral components of cemented total hip arthroplasties. *J Bone Joint Surg.* 1990;72-B(6):971-979.
5. Tipper J, Firkins P, Stone M. Characterisation of wear debris from UHMWPE on zirconia, metal-on-metal and alumina ceramic on ceramic hip prostheses generated in a physiological anatomic hip joint simulator. *Wear.* 2001;250:120-128.
6. Liu R, Li DY. Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials. *Wear* 2001;251:956-964.
7. Li S. The identification of defects in ultra high molecular weight polyethylene. *Trans Orthop Res Soc.* 1996;19:587.
8. Dangsheng X, Shirong Ge. Friction and wear properties of UHMWPE/Al₂O₃ ceramic under different lubrications conditions; *Wear.* 2001;250:242-245.
9. Chandrasekaran M. Effect of counterface on the tribology of UHMWPE in the presence of proteins. *Wear.* 2001;250:237-241.
10. Minakawa H, Stone MH, Wroblewski BM. Quantification of Third-body damage and its effect on UHMWPE wear. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80(5):894-899.
11. Sawae Y, Murakami I. Effect of synovia constituents on friction and wear of UHMWPE sliding against prosthetics joint materials. *Wear.* 1999;216(2):213-219.
12. Lancaster J, Dowson D. The wear of UHMWPE sliding on metallic and ceramic counterface representative of current femoral surfaces in joint replacement. *Proct Inst Mech Eng.* 1998;211.
13. Chandrasekaran M, Wei L. Tribology of UHMWPE tested against a stainless steel counterfaces in unidirectional sliding in presence of model synovial fluids. *Wear.* 2001;233(1-2):13-21.
14. Li S, Burstein A.H. Currents concepts review: UHMWPE. *J Bone Joint Surg.* 1996;76-A:080-1090.
15. Bellare A, Bajaria S. Deformation, morphology, a wear behavior of polyethylene used in orthopedics implants. *Med Plastic Biomaterials.* 2000:120-126.