

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 454**

21 Número de solicitud: 202330483

51 Int. Cl.:

C10M 101/04 (2006.01)

C10M 113/10 (2006.01)

C10M 169/02 (2006.01)

C10M 171/02 (2006.01)

F16C 13/02 (2006.01)

F16D 3/16 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

09.06.2023

43 Fecha de publicación de la solicitud:

12.12.2024

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

25.07.2024

Fecha de concesión:

07.08.2025

45 Fecha de publicación de la concesión:

14.08.2025

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE HUELVA (100.00%)
Doctor Cantero Cuadrado, 6
21071 Huelva (Huelva) ES**

72 Inventor/es:

**DELGADO CANTO, Miguel Angel;
GARCÍA MORALES, Moisés;
FERNÁNDEZ SILVA, Samuel David;
GARCÍA PÉREZ, María y
MOZO LLAMAZARES, Juan Daniel**

74 Agente/Representante:

RODRÍGUEZ QUINTERO, José

54 Título: **LUBRICANTE BIODEGRADABLE Y SISTEMA TRIBOLÓGICO PARA EL CONTROL ELECTROACTIVO DE LA FRICCIÓN Y DESGASTE QUE USA DICHO LUBRICANTE**

57 Resumen:

Un lubricante biodegradable que comprende un aceite vegetal y nanoarcillas y un sistema para el control electroactivo de la fricción y el desgaste en un sistema tribológico que comprende una pluralidad de superficies metálicas de aluminio o acero que friccionan entre sí; un elemento mecánico conectado a una fuente de alimentación eléctrica y el lubricante biodegradable, y donde las superficies metálicas están recubiertas con un material dieléctrico.

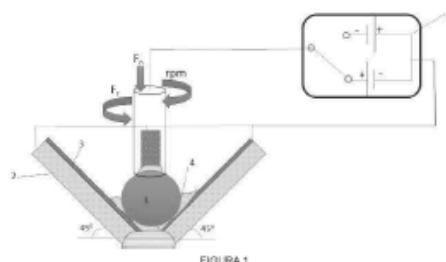


FIGURA 1

ES 2 992 454 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

LUBRICANTE BIODEGRADABLE Y SISTEMA TRIBOLÓGICO PARA EL CONTROL ELECTROACTIVO DE LA FRICCIÓN Y DESGASTE QUE USA DICHO LUBRICANTE

5

Campo técnico

La presente invención está referida a un método y un sistema para el control electroactivo de la fricción y el desgaste en un sistema tribológico formado por una dispersión de un lubricante que contiene, al menos, un aceite vegetal no conductor, como base lubricante, y nanoarcillas de diferentes formas y tamaños, como partículas dispersas y activas eléctricamente.

Antecedentes de la invención

15

La aplicación de un voltaje eléctrico en un contacto tribológico provoca la aparición de fuerzas de atracción electrostática que harían aumentar la fricción y la carga normal. Así, en [Yamamoto Y., Ono B., Ura A. Lubrication Science 8 (1996) 199-207] se analizó el efecto de la aplicación de potencial eléctrico, en el intervalo +4 a -4 V, sobre la fricción y el desgaste en condiciones de fricción mixta (carga de 19,6 N y velocidades de deslizamiento de 523 mm/s) de un sistema bola-disco formado por superficies metálicas y lubricado con distintos aceites parafínicos de distintas viscosidades. En todo momento comprobaron que la aplicación del campo eléctrico producía un aumento significativo del diámetro de la huella y la formación de una capa de óxido sobre el electrodo conectado al polo positivo, llegando a concluir que la aplicación de campo eléctrico empeoraba el proceso de fricción en condiciones de lubricación mixta o elastohidrodinámica debido a la rotura de la película de lubricante.

Sin embargo, cuando se lubrican estos contactos tribológicos con un fluido electrorreológico, su viscosidad puede modificarse al orientarse las partículas dispersas en el aceite bajo la acción de un campo eléctrico y formar estructuras organizadas que se disponen paralelamente a las líneas de campo eléctrico. Los fluidos electrorreológicos son suspensiones constituidas por partículas de un material polarizable o semiconductor dispersas en un medio continuo no conductor. Así, cuando el campo eléctrico se aplica transversalmente a la dirección del flujo, se produce un aumento de la resistencia interna del fluido al flujo, pasando de ser newtoniano o ligeramente pseudoplástico, a un comportamiento que se conoce como fluido plástico o “de Bingham”, caracterizado por un esfuerzo umbral que da

cuenta de su potencial electrorreológico. Además, este cambio es reversible y permite un control electro activo de la viscosidad del fluido. De la misma manera, estas estructuras organizadas pueden soportar la acción de una fuerza normal sobre el fluido, contrarrestando las fuerzas de atracción electroestática debidas al campo eléctrico que harían aumentar la fricción y el desgaste.

El fenómeno de la polarización a nivel de la interfase entre las partículas y el medio de dispersión (polarización interfacial o de Maxwell-Wagner) resulta fundamental en la selección del fluido electrorreológico. Son preferibles partículas con una alta velocidad de polarización, ya que es la que determina el potencial electrorreológico de estos fluidos. Así, se buscan fluidos electrorreológicos con frecuencias de relajación dieléctricas en el intervalo 100 Hz a 100 kHz, y un valor tan alto como sea posible de la diferencia entre los valores de la constante dieléctrica a bajas y altas frecuencias.

Por consiguiente, este fenómeno electrorreológico sugiere la posibilidad de actuar sobre la película de lubricante en condiciones de fricción mixta, o elastohidrodinámica, es decir, en régimen de lubricación donde la implicación de la fricción fluida sea significativa y existan espesores de película al menos del orden de 10^2 a 10^3 nm, para conseguir un control electro activo de la lubricación fluida mediante la aplicación de voltaje. De esta manera la lubricación con una misma formulación del lubricante puede adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Además, el carácter electronegativo o electropositivo de estas partículas dispersas en un medio no conductor, así como la posibilidad de captar electrones, permiten que la aplicación de un campo eléctrico externo pueda orientarlas de forma preferente hacia una u otra superficie electrificada, contribuyendo así a una modificación de la fricción en el régimen de lubricación límite o mixta, es decir, en el régimen de lubricación donde la implicación de la fricción sólida es predominante.

Existen algunos estudios en los que se han analizado las propiedades tribológicas de fluidos electrorreológicos que se pueden utilizar en sistemas de transmisión hidráulicos controlados eléctricamente. Así, en [Lingard S., Bullough, W.A, Shek W.M. J. Phys. D: Appl. Phys. 22 (1989) 1639-1645] se analizaron la fricción y el desgaste producido en condiciones de deslizamiento bajo fuerzas normales de hasta 500 N y velocidades de 197 rpm, en condiciones de fricción mixta o límite, en un tribosistema tipo bola-disco conformado por superficies de acero templado. Se usó un fluido electrorreológico compuesto por un aceite sintético y micropartículas (de 12 μ m) de una sal de polimetacrilato de litio. Estos autores alertaron de

un aumento muy importante del desgaste y comprobaron que las micropartículas entraban en el interior del contacto tribológico provocando un desgaste adhesivo por contacto entre las asperezas.

5 Otros autores han manifestado que se podía controlar la estabilidad y vibraciones en el funcionamiento de un cojinete de deslizamiento que funciona en condiciones de lubricación hidrodinámica. Así, en [Nicolakopoulos P.G., Papadopoulos C.A. Int. J. Modern Phys. B. 10(23&24) (1996) 3045–3055] y en [Nicolakopoulos P.G., Papadopoulos C.A. Trib. Int. 31 (1998) 225–234] se demostró que se podía modificar las propiedades dinámicas del cojinete
10 de 30 mm y un espacio entre superficies sólidas de 0,1 mm, funcionando a altas velocidades (2590 rpm), y lubricado con un fluido electrorreológico de bajo esfuerzo umbral (150 Pa) basado en micropartículas de zeolitas (10 μm) en un aceite sintético (SAE30), y aplicando un campo eléctrico entre el rotor y el estator de hasta $6 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$. Sin embargo, aunque en [Dimarogonas A.D., Kollias A. Tribol. Trans. 35(4) (1992) 611-618] se concluyera que se
15 podría extender el intervalo de funcionamiento estable de un cojinete de deslizamiento lubricado con un fluido electrorreológico mediante la aplicación de campo eléctrico, también manifestaron que dicho control electroactivo de la lubricación podría ser ineficiente cuanto menor fuera la distancia entre las superficies sólidas del tribosistema o existieran altas velocidades de cizalla en el contacto tribológico.

20 En [Kimura Y., Nakano K., Kato T. Wear, 175 (1994) 143-14] y posteriormente en [Korenaga A., Yoshioka T., Mizutani H., Kikuchi K. In: Lubrication at the Frontier, Elsevier (1999) pp. 517-522], se realizó un estudio electrotribológico usando un cristal líquido de bajo peso molecular como fluido de lubricación en las regiones de lubricación límite e hidrodinámica,
25 respectivamente. Ambos concluyeron que el comportamiento tribológico había mejorado al aplicar campo eléctrico sobre un cristal líquido. En [Barber G.C., Jiang Q.Y., Zou Q., Carlson W. Tribotest J. 11 2005) 185] realizaron un estudio con el objeto de reducir la fricción y el desgaste utilizando un fluido electrorreológico a base de aceite mineral y almidón de maíz que podía acomodar rápidamente su viscosidad a las posibles variaciones locales de temperatura
30 y a los regímenes de lubricación.

Recientemente, en [Spikes H.A. Tribol. Lett. 68 (2020) 90] ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva sobre la influencia de campos eléctricos sobre la fricción y el desgaste. En este estudio se evidencia que los excesivamente finos espesores de película lubricante
35 presentan una muy baja resistencia eléctrica, lo que limita mucho la aplicación de voltajes y produce la aparición de cortocircuitos. Por ello, se plantea la necesidad de diseñar contactos

intermitentes metal-metal, como ya ha sido reclamado en la invención US4326603A, o contactos tribológicos con un electrodo de referencia. En este último caso, las superficies metálicas del tribosistema estarían conectadas al electrodo de trabajo y el lubricante lo estaría a un electrodo de referencia.

5

En el estado de la técnica actual, los estudios publicados hasta hoy día sugieren mecanismos y resultados diferentes entre sí, que no son del todo concluyentes, pues están muy condicionados por la naturaleza de los componentes del tribosistema. Además, todas las investigaciones encontradas admiten la existencia de muchas lagunas de conocimiento y la imposibilidad de mejorar la fricción con grosores de película lubricante pequeños o en presencia de fricción sólida. Sin embargo, dejan la puerta abierta a la posibilidad de un “nuevo concepto de lubricación”, a la espera de que se realicen estudios más sistemáticos con los que analizar el efecto de las diferentes variables.

10

15

En cuanto a la existencia de patentes relacionadas con el control inteligente de la lubricación, no se han encontrado evidencias hasta la fecha que reivindiquen un control electro activo de la fricción y el desgaste en un contacto tribológico metal-metal sometido a cargas, cuyas superficies se han recubierto por una fina capa de un material dieléctrico, y estén lubricadas con un lubricante biodegradable formulado a partir de aceite vegetal y nanoarcillas de diferentes formas y tamaños, que son eléctricamente activas.

20

La patente ES2802877 describe un proceso de preparación básico y la composición de una grasa lubricante biodegradable formada por un aceite vegetal, una nanoarcilla en un porcentaje entre el 10% y 60% en peso, y un antioxidante, en un porcentaje entre el 0,5% y 3 % en peso. En ningún momento se reivindica el uso de este sistema lubricante en aplicaciones que permiten un control electro activo de la lubricación, solo como grasas lubricante.

25

La patente china CN20373107 describe un modelo de utilidad basado en una estación eléctrica inteligente de lubricación de grasa lubricante con un control de temperatura inteligente, que permite atemperar la grasa lubricante en función de las condiciones ambientales por lo que la grasa no necesita ser reemplazada, reduciéndose los procedimientos de trabajo y se ahorran recursos.

30

35

En la patente americana US4326603A, se describe un sistema de control de lubricación automática en el que el flujo de corriente entre dos superficies conductoras, que están

acopladas en contacto deslizante, se integra con respecto al tiempo y se utiliza para proporcionar una señal de control para una bomba que aplica lubricante a la superficie de contacto. De esta manera, el nivel de voltaje resultante del flujo de corriente integrado se puede aplicar directamente para activar la bomba y controlar el bombeo de lubricante.

5

La patente americana US20100247012A1 se refiere al diseño de un cojinete con fluido electrorreológico y en ella se describen tres modos de electrificar los componentes del cojinete. El primero consiste en dos electrodos en forma anular, uno frente al otro, separados una distancia mayor al diámetro de la bola de rodamiento, y dispuesto perpendicular al carril de rodadura. En este modo de funcionamiento, la diferencia de potencial se aplica paralelamente a la superficie de contacto. Además, una de las superficies en contacto y las bolas de rodadura son no conductoras, en concreto de cerámica, para evitar la conducción a través del contacto tribológico. El segundo modo consiste en electrificar los carriles de rodadura interior y exterior, y colocar un espaciador conductor entre ellos. En este segundo modo, la diferencia de potencial se aplica perpendicularmente a las superficies de contacto interior y exterior del cojinete, pero usando bolas de rodamiento de material no conductor, en concreto de cerámica. En el tercer modo, consiste en varios electrodos, incrustados radialmente en el carril interior o exterior de rodadura y separados una cierta distancia. El sistema proporciona electrificación a los electrodos lo que resulta en el establecimiento de un efecto de borde de líneas de flujo eléctrico entre pares de electrodos adyacentes, y provoca una polarización discontinua en la película del fluido electrorreológico. De nuevo, la superficie exterior de contacto y las bolas de rodamiento son no conductoras, en concreto de cerámica.

En todos estos modos de funcionamiento reivindicados en esta última patente, se requiere de partes completas del sistema tribológico no conductoras, por ejemplo, una de los cuerpos sólidos en contacto o las bolas de rodamiento. Dado que las separaciones de los electrodos (superficies metálicas sobre las que se aplica la diferencia de potencial eléctrico) son considerables, principalmente en los modos primero y segundo, este tipo de invención requiere aplicación de voltajes muy elevados para conseguir una buena modificación de la viscosidad del fluido. Sin embargo, en ningún momento se especifica qué voltajes son requeridos. En todo momento, el sistema está lubricado con un hipotético fluido electrorreológico usado como lubricante capaz de modificar su viscosidad con la aplicación de un campo eléctrico, sin especificar la composición del mismo, solo un comportamiento teórico.

35

La patente china CN105586117A proporciona un método para cambiar el coeficiente de

fricción aplicando un campo eléctrico externo, con corriente continua de hasta 2 V, en un tribosistema que contiene un lubricante que puede ser un aceite o una grasa. Estaría formado por una base mineral o sintética y un aditivo polar que puede ser un dialquil-ditiofosfato, alquil-fosfato de ácido fosfórico y/o ácido fosforoso, molibdeno orgánico soluble en aceite o aditivos nanometálicos, entre otros, capaz de cambiar el coeficiente de fricción del lubricante cuando cambia el voltaje del campo eléctrico. Las superficies sólidas entre las que se ubica el lubricante pueden ser de un material conductor o un material no conductor sin especificar. El elemento mecánico reivindicado podría responder a un cojinete de deslizamiento. Las separaciones reivindicadas entre ellas son bastante elevadas para ser un contacto tribológico real, preferentemente de 0,01 μm a 5 mm. En ningún caso se reivindica una aplicación real de esta invención en sistemas tribológicos sometidos a cargas, en un amplio intervalo de velocidades de funcionamiento, y con grosores de película de lubricante reales. Además, en esta invención, los voltajes aplicados son realmente bajos debido a la aparición de cortocircuitos o flujo de corriente eléctrica que se producen al romperse la película de lubricante y contactar las superficies metálicas electrificadas.

En todas estas invenciones previas, las condiciones de trabajo reivindicadas dejan patente la problemática de estos tribosistemas en cuanto a la aparición de cortocircuitos y rupturas dieléctricas del lubricante, lo que imposibilita la aplicación de voltajes altos o de cargas sobre las superficies a lubricar. Así, estas dos últimas invenciones reivindican una lubricación con un fluido electrorreológico capaz de cambiar el coeficiente de fricción a demanda en un tribosistema en el que la separación requerida entre las dos superficies metálicas sobre las que se aplica el voltaje son grandes, en comparación a los grosores de película lubricante reales; o imposibilita la aplicación de voltajes altos o cargas cuando se reduce dicha separación.

Es por ello por lo que no se ha reivindicado hasta la fecha una lubricación que utilice un fluido electrorreológico en un sistema tribológico formado por materiales conductores tradicionales, acero o aluminio, entre otros, sometidos a cargas y en los que la separación entre las dos superficies metálicas sobre las que se aplica el voltaje sea similar a la de los grosores de película lubricante reales. Tampoco ninguna invención donde se reclame la aplicación de altos voltajes, tanto en corriente alterna como en continua, ni que el elemento mecánico pueda ser metálico conductor, aluminio o acero, con una fina capa de recubrimiento no conductor, óxido de aluminio o carbono amorfo, respectivamente. Tampoco se ha encontrado ninguna invención donde se reclame el control electro activo de la fricción y el desgaste en un sistema tribológico sometido a cargas y lubricado con una dispersión lubricante amigable con el

medioambiente que contiene, al menos, un aceite vegetal no conductor, como base lubricante, y nanoarcillas de diferentes formas y tamaños, como partículas dispersas y eléctricamente activas.

5 **Explicación de la invención**

El objeto fundamental de la presente invención es mejorar la tecnología de los lubricantes para reducir los consumos energéticos y las emisiones de CO₂ a la atmósfera, así como alargar el funcionamiento optimizado de la maquinaria. Es también objeto de la presente
10 invención contribuir a desarrollar una tecnología de lubricación que permita disminuir el peso de la maquinaria a lubricar, aspecto fundamental para incrementar la óptima autonomía de los vehículos eléctricos e híbridos. En este sentido, se apuesta por el uso de cuerpos sólidos basado en aluminio o aleación de éste con otros metales, cuya densidad es inferior a 2,7 gr/cm³. Esto supone reducir en hasta un 63% el peso del sistema tribológico construido en
15 aluminio respecto a otro construido en AISI 304. Es otro objeto de la invención la búsqueda de bases lubricantes alternativas que sean renovables y más amigables con el medioambiente que los lubricantes minerales y sintéticos tradicionales. En este contexto, existe la necesidad de desarrollar composiciones de aceites lubricantes basados en aceites vegetales con un amplio abanico de viscosidades disponibles, que puedan ser utilizados en cualquier aplicación
20 industrial y en un amplio intervalo de condiciones de trabajo, tal y como actualmente se hace con los lubricantes tradicionales.

En el estado de la técnica se emplean fluidos electrorreológicos que permiten el control instantáneo bajo demanda de su comportamiento reológico -viscosidad y viscoelasticidad- y
25 tribológico -fricción y desgaste- a través de la acción de un campo eléctrico externo. Pero este tipo de tecnología muestra numerosos inconvenientes técnicos, tales como la presencia de conducción eléctrica, cortocircuitos repentinos, aparición de fuerzas de atracción que aportan carga extra al sistema tribológico, aumento de la fricción y desgaste, entre otros problemas. Estos objetivos se consiguen con el lubricante, el método y el sistema tribológico de las
30 reivindicaciones que acompañan a la presente memoria descriptiva.

La presente invención está configurada para actuar de forma proactiva e inmediata sobre la fricción, para controlar los consumos energéticos debido al rozamiento entre dos superficies sólidas lubricadas y con desplazamiento relativo entre ambas, así como prevenir o minimizar
35 la aparición del desgaste. Estos efectos técnicos se consiguen con un sistema tribológico en el que las superficies metálicas en contacto estarían recubiertas por una capa de un material

dieléctrico, capaz de soportar cargas, y en los que la separación entre las dos superficies metálicas sobre las que se aplica el voltaje, tanto en corriente alterna como en corriente continua, es similar a la del espesor de la película lubricante.

5 Más concretamente, la presente invención está referida a una lubricación sostenible y electroactiva basada en un lubricante biodegradable y activo eléctricamente, que lubrica a elementos mecánicos, rodamientos y cojinetes de deslizamiento, de aluminio o acero con recubrimiento dieléctrico que dificulta la circulación de corriente eléctrica y permita actuar
10 activamente con potenciales eléctricos de hasta 4 kV, tanto en corriente alterna, como en corriente continua, sobre el comportamiento de la película lubricante, para su aplicación en automoción, aeronáutica, aerogeneradores o maquinaria industrial y, en general, cualquier sistema mecánico.

El lubricante de la invención es biodegradable y eléctricamente activo que comprende, como
15 componente principal, al menos un aceite vegetal y como componente secundario, nanoarcillas en un intervalo de concentraciones comprendidas entre el 0,5% y el 20% en el peso total del lubricante.

En una realización particular, la nanoarcilla es una montmorillonita modificada con iones de
20 amonio cuaternarios con dos dimetilos y dos cadenas de alquilos hidrogenados de extensión 14 a 18 átomos de carbono (2M2HT). En otra realización particular, la nanoarcilla comprende, además de lo anterior, sepiolita, u otras nanoarcillas naturales o modificadas

En otra realización particular, el aceite vegetal es uno seleccionado entre aceite de ricino,
25 aceite de girasol de alto contenido oleico, aceites usados en frituras, o una combinación de los mismos.

En otro aspecto de la invención, se reivindica un sistema para el control electroactivo de la
30 fricción y el desgaste en un sistema tribológico que comprende una pluralidad de superficies metálicas de aluminio o acero que friccionan entre sí; un elemento mecánico conectado a una fuente de alimentación eléctrica y un lubricante biodegradable y activo eléctricamente, del tipo descrito anteriormente, donde al menos una de dichas superficies metálicas está recubierta con un material dieléctrico, y una dureza adecuada a la carga de trabajo soportada.

35 En una realización práctica del sistema de la invención, la pluralidad de superficies metálicas es de aluminio, y el material dieléctrico es óxido de aluminio obtenido mediante anodización

directa del aluminio de una de las superficies de contacto.

En otra realización práctica del sistema, la pluralidad de superficies metálicas es de acero y el recubrimiento dieléctrico es una capa de carbono amorfo, del tipo DLC (diamond like carbon) o carbono amorfo hidrogenado del tipo a-C:H, que puede estar o no dopado con Silicio, y también puede ser de polixilosano.

En otra realización práctica del sistema, el elemento mecánico es un rodamiento de bola axial conectado a una fuente de alimentación de corriente continua o alterna, en el que las arandelas superior e inferior del rodamiento de bola axial están conectadas a uno de los polos y una jaula de las bolas del rodamiento de bola axial al otro polo de la fuente de alimentación.

En otra realización práctica del sistema, el elemento mecánico es un rodamiento de bola radial conectado a una fuente de alimentación de corriente continua o alterna, en el que los aros interior y exterior del rodamiento de bola radial están conectadas a uno de los polos de la fuente de alimentación y sello metálico del rodamiento de bola radial al otro polo de la fuente de alimentación.

En otra realización práctica del sistema, el elemento mecánico es un cojinete de deslizamiento conectado a una fuente de alimentación de corriente continua o alterna, en el que el casquillo del cojinete está conectado a uno de los polos de la fuente de alimentación y el vástago que gira al otro.

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que restrinjan la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

Breve descripción de las figuras

A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

FIGURA 1. Muestra un esquema del tribosistema (del tipo bola sobre plato) eléctricamente activo usado en el laboratorio para evaluar la invención. La bola es de acero inoxidable (1.4401 grade 100) con 12,7 mm de diámetro y las placas metálicas, de acero o aluminio, con un recubrimiento dieléctrico se encuentran inclinadas 45° (Ejemplo 1).

FIGURA 2. Muestra el comportamiento del tribosistema, según ejemplo 1, en todos los regímenes de lubricación (curvas de Stribeck representadas como el coeficiente de fricción versus parámetro de Hersey) a 25 °C y en el intervalo de velocidades de rotación de 0 a 1000 rpm, para 0 y 500 V. Se han incluido las curvas sin voltaje para poner en relevancia la ventaja de la activación de la película de lubricante con el campo eléctrico.

FIGURA 3. Muestra el coeficiente de fricción, según ejemplo 1, medido en condiciones estables de carga (20 N) y velocidad de rotación (40 rpm), en un contacto metálico bola-tres placas, alternando cada 5 min la condición sin voltaje y voltaje de 500 V, durante 40 min (tiempo previo hasta alcanzar condiciones estacionaria 20 min). Se ha medido con el tribosistema descrito en la Figura 1, usando placas de aluminio con un fino recubrimiento de óxido de aluminio.

FIGURA 4. Muestra el coeficiente de fricción, según ejemplo 1, medido en condiciones estables de carga (20 N) y velocidad de rotación (40 rpm), en un contacto metálico bola-tres placas, durante 2 h a 0 y 500 V. Se ha medido con el tribosistema descrito en la Figura 1, usando placas de aluminio con un fino recubrimiento de óxido de aluminio.

FIGURA 5. Muestra el desgaste, según ejemplo 1, obtenido sobre las placas de aluminio con un fino recubrimiento de óxido de aluminio tras haber sido sometidas a una carga de 20 N y velocidad de rotación de 40 rpm durante 2 h, a 0 y 500 V.

FIGURA 6. Muestra diferentes tipos de elementos mecánicos, basados en rodamientos de bolas axial (a) y radial (b), y cojinete de deslizamiento (c) donde la inventiva puede aplicarse.

Explicación detallada de la invención y ejemplos

Tal y como se ha indicado, el objeto de la presente invención es un lubricante biodegradable, y que además sea activo eléctricamente. Más detalladamente, como lubricante amigable con el medioambiente se ha utilizado uno que comprende como componente principal al menos

un aceite vegetal y hasta el 10 % en peso de nanoarcillas como aditivo, pero se prefiere concentraciones de hasta 6% en peso, con tamaño de partículas nanoscópico, caracterizado porque estas nanoarcillas son materiales ligeramente conductores y polarizables ante un campo eléctrico externo.

5

Se han probado distintas nanoarcillas naturales y modificadas de las familias de las montmorillonitas, bentonitas, sepiolitas, hectorita y saponita, entre otras. Las nanoarcillas modificadas preferidas en la presente invención se caracterizan por ser un filosilicato laminado perteneciente al grupo de las arcillas esmécticas. Existe una gran variedad de nanoarcillas, con diferentes morfologías y composición química. Las arcillas presentan una estructura de dos láminas que se crea gracias a la asociación de capas tetraédricas y octaédricas. La primera capa está conformada por cristales regulares cuya unidad básica es el tetraedro de silicio y oxígeno. Los tres átomos de oxígeno de la estructura basal de este tetraedro se coordinan con estructuras tetraédricas vecinas. De esta forma cada átomo de oxígeno estará en coordinación con dos átomos de silicio, conformando un grupo tetraédrico doble y eléctricamente compensado, de extensión infinita y fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ que constituyen la unidad fundamental de estos filosilicatos.

El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al^{3+} , lo que le puede aportar un carácter más electronegativo. Entre las láminas tetraédricas se sitúa una lámina octaédrica de óxido de aluminio, donde el Al^{3+} puede estar intercambiado por otros cationes como Mg^{2+} , Fe^{2+} o Fe^{3+} y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. Se pueden dar diversas variantes de composición elemental y de posicionamiento de estos elementos en la estructura cristalina que dan lugar a diferentes nanoarcillas, tales como montmorillonitas, sepiolitas, saponitas, hectoritas, entre otras. Al igual que la capa tetraédrica, esta capa octaédrica se encuentra eléctricamente descompensada, por lo que para neutralizarse los átomos de oxígeno de sus vértices tienen que compartirse con varios cationes.

Para poder compensar las cargas en el plano de unión entre las capas tetraédricas y octaédricas, algunos oxígenos no se comparten con cationes, sino que se unen a un hidrógeno para compensar su carga, formando un grupo hidroxilo. Así, el plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros, y por grupos hidroxilos de la capa octaédrica, de forma que entre plano y plano queda un hidroxilo. Para mejorar la hidrofobicidad de estas nanoarcillas, los cationes alcalinos superficiales pueden intercambiarse por tensioactivos catiónicos orgánicos u otros tensioactivos anfífilicos. Estos modificadores orgánicos pueden ser sales de amonio cuaternario con grupos alquilo del tipo

metilos, alquilos dihidrogenados, bis-2-hidroxietilos o bencilos, entre otros. De esta forma se mejora la dispersión en medios orgánicos hidrofóbicos, por ejemplo, un aceite vegetal. Además, las nanoarcillas modificadas pueden formar una película protectora y dieléctrica sobre una u otra superficie lubricada, en función de que éstas están conectadas al polo
5 positivo o negativo del generador de voltaje, y del balance neto de cargas de las nanopartículas.

En una realización práctica no limitativa, la presente invención se centra en el uso de montmorillonitas orgánicamente modificadas (OMMT) y sepiolitas (SEP). Las montmorillonitas
10 están formadas por dos láminas de sílice tetraédrica entre las que se inserta una lámina de alúmina octaédrica, estando estas estructuras unidas mediante la interacción de la carga negativa de la lámina de sílice con iones sodio situados en una galería interlaminar.

Tales iones sodio pueden sustituirse por sales de amonio cuaternaria con grupos alquilo de
15 cadena larga. En la presente invención se ha preferido usar como modificador orgánico iones de amonio cuaternarios con dos dimetilos y dos cadenas de alquilos dihidrogenados de extensión 14 a 18 átomos de carbono (2M2HT), con un grado de modificación de 125 meq/100 gr nanoarcilla, para favorecer la dispersión de estas nanoarcillas en medio oleoso, dando lugar a una montmorillonita modificada con denominación comercial Cloisite 15A (suministrado por
20 Southern Clay Products, Inc. (EEUU)). Las distintas montmorillonitas modificadas se diferencian por el tipo de molécula de tensioactivo que sustituye al ion Na^+ , lo cual condiciona el tamaño de la galería interlaminar y su capacidad de dispersión. Estas nanoarcillas tienen una gran superficie específica y una elevada capacidad de intercambio catiónico. Las fuerzas de enlace que unen a las diferentes capas son débiles, por lo que estas nanoarcillas tienen
25 una clara dirección paralela de exfoliación.

Las sepiolitas son unas nanoarcillas que no se considera filosilicato al no estar realmente constituida por una estructura laminar, sino con cavidades al estilo de las zeolitas. Presentan una estructura fibrosa y su composición química corresponde a un silicato magnésico
30 hidratado. El método de obtención de estas sepiolitas puede dar estructuras más o menos fibrosas. Está compuesto por dos láminas tetraédricas de sílice y una lámina octaédrica, rodeada por oxígeno e hidróxidos unidos a un centro de iones de Mg^{2+} . Estas estructuras ordenadas están conectadas entre sí a lo largo de sus bordes longitudinales mediante enlaces Si-O-Si, creando canales. Debido a la discontinuidad de las láminas de sílice externas, se
35 localizan grupos hidroxilos en los extremos, lo que permite la formación de una sección rectangular formada por túneles porosos. Este hecho le confiere una estructura muy porosa

con una elevada superficie específica (aproximadamente 300 g/m²) y una muy baja densidad.

Al igual que las montmorillonitas, las sepiolitas pueden modificarse químicamente con surfactantes de tipo catiónicos, tal como sales de amonio cuaternaria. En esta invención se ha preferido una sepiolita no modificada, con denominación comercial Pangel B20 (suministrado por Tolsa (España)).

En otro aspecto en particular de la presente invención, el aceite vegetal no conductor con el que se formula el lubricante biodegradable y eléctricamente activo es seleccionado entre un aceite de ricino, un aceite de girasol de alto contenido oleico y un aceite usado en fritura, así como de una mezcla del aceite de ricino con éstos últimos. En otro aspecto en particular, la composición del aceite lubricante biodegradable y eléctricamente activo de la presente invención comprende entre 0,5% -10% en peso de nanoarcillas o mezclas de éstas. En un aspecto particular, la concentración preferida de una nanoarcilla en el aceite de ricino es de 1-6 % p/p.

La presente invención se refiere a la necesidad de recubrir las superficies metálicas del elemento mecánico con un recubrimiento de hasta 50 µm, preferentemente inferiores a 20 µm, para recubrimientos de óxidos de aluminio, e inferiores a 10 µm, para recubrimientos de carbono amorfo. Tales recubrimientos se caracterizan por tener una dureza adecuada a la necesidad de soportar carga y una resistencia dieléctrica, que permiten trabajar con hasta 4 kV de potencial eléctrico.

En otro aspecto más en particular, los materiales de los elementos mecánicos preferidos son aluminio y acero. En el caso particular de las superficies de aluminio, se prefiere un recubrimiento de tipo alúmina (Al₂O₃), conseguido por anodización directa del aluminio en superficie. En el caso particular de elementos metálicos en acero, al carbono o inoxidable, se prefiere un recubrimiento de carbono amorfo, del tipo DLC (“diamond like carbon”) o carbono amorfo hidrogenado del tipo a-C:H, que puede estar o no dopado con silicio.

En un cuarto aspecto, la presente invención se refiere al control electroactivo de la lubricación en un tribosistema conectado a una fuente externa de voltaje en el que la separación de las dos superficies metálicas sobre las que se aplica dicho campo eléctrico sea similar a los espesores de película lubricante reales. Este tribosistema estaría formado por un lubricante biodegradable formulado a partir de aceite vegetal y nanoarcillas eléctricamente activas, y al menos una de las superficies metálicas tendría un recubrimiento dieléctrico que dificulte la

circulación de corriente eléctrica y permita actuar activamente, con potenciales eléctricos de hasta 4 kV, sobre el comportamiento de la película lubricante, para su aplicación en rodamientos y cojinetes en automoción, aeronáutica, aerogeneradores, turbinas, compresores, entre otros sistemas mecánicos.

5

Las evidencias del control electroactivo de la lubricación se han conseguido en un tribosistema basado en una bola de rodamiento (1) sobre tres placas (2) inclinadas 45° respecto de la horizontal y acoplado a un reómetro de esfuerzo controlado, modelo MCR 501 (Anton Paar). La bola (1) es de acero inoxidable (1.4401 grade 100) con 12,7 mm de diámetro y las placas (2) son de aluminio con un recubrimiento (3) de óxido de aluminio. Estas placas de aluminio (2) se anodizaron con intensidad de corriente de 14 mA/cm² durante 1 h, a una temperatura entre 4,5°C y 7°C, usando como electrolito una disolución de ácido sulfúrico con concentración 175 g/L.

10

15 Como fluido lubricante biodegradable (4) y activo eléctricamente -polarizable mediante un generador de tensión (5)- se han formulado diferentes dispersiones lubricantes que contienen, al menos, un aceite vegetal no conductor, como base lubricante, y hasta dos tipos diferentes de nanoarcillas, como partículas dispersas y eléctricamente activas.

20 Ejemplo 1

Se ha preparado un lubricante biodegradable eléctricamente activo con aceite de ricino (viscosidad cinemática a 40 °C de 242.5 cSt) y un 6 % en peso de montmorillonita modificada (Cloisite 15A). La dispersión se preparó en dos etapas: una dispersión con agitación suave a temperatura ambiente y una posterior etapa con ultrasonido aplicando una energía de 7 Wh, procurando que la temperatura del medio no supere los 80 °C, preferiblemente 70 °C. El tiempo necesitado depende de la viscosidad de la muestra, pudiendo oscilar entre 5 y 20 min. Después del enfriamiento a temperatura ambiente, se obtuvo una mezcla homogénea y estable durante el almacenamiento. Con este tribosistema, se obtuvieron los resultados que se reflejan en las figuras 2 a 5.

30

Ejemplo 2

Se preparó, según el protocolo de procesado descrito en el ejemplo 1, lubricante biodegradable eléctricamente activo constituido por:

— aceite de ricino

35

— 4 - 1 % en peso montmorillonita modificada (Cloisite 15A)

Ejemplo 3

Se preparó, según el protocolo de procesado descrito en el ejemplo 1, lubricante biodegradable eléctricamente activo constituido por:

- aceite de ricino y aceite de girasol de alto contenido (proporción 50:50)
- 5 — 4 - 1 % en peso montmorillonita modificada (Cloisite 15A)

Ejemplo 4

Se preparó, según el protocolo de procesado descrito en el ejemplo 1, lubricante biodegradable eléctricamente activo constituido por:

- 10 — aceite de ricino y aceite usado en fritura (proporción 50:50)
- 4 - 1 % en peso montmorillonita modificada (Cloisite 15A)

Ejemplo 5

15 Se preparó, según el protocolo de procesado descrito en el ejemplo 1, lubricante biodegradable eléctricamente activo constituido por:

- aceite de ricino
- 4 - 1 % % en peso montmorillonita modificada (Cloisite 15A), y
- 4 - 1 % % en peso sepiolita (Pangel B20).

20

Ejemplo 6

Se preparó, según el protocolo de procesado descrito en el ejemplo 1, lubricante biodegradable eléctricamente activo constituido por:

- aceite de ricino y aceite de girasol de alto contenido (proporción 50:50)
- 25 — 4 - 1 % en peso montmorillonita modificada (Cloisite 15A) y
- 4 - 1 % en peso sepiolita (Pangel B20).

Ejemplo 7

30 Se preparó, según el protocolo de procesado descrito en el ejemplo 1, lubricante biodegradable eléctricamente activo constituido por:

- aceite de ricino y aceite usado en fritura (proporción 50:50)
- 4 - 1 % en peso montmorillonita modificada (Cloisite 15A) y
- 4 - 1 % en peso sepiolita (Pangel B20).

35 En todos los ejemplos citados, después del enfriamiento de la formulación, se obtuvo una

mezcla homogénea y estable en el tiempo, con un significativo efecto electroviscoso en el intervalo de voltaje de 0 a 4 kV/mm.

En la Tabla I, se presentan los valores de coeficiente de fricción y diámetro de la huella tras ensayo de desgaste para las formulaciones correspondientes a los ejemplos 1-7, obtenidos a partir de un tribosistema formado por una bola de rodamiento (de acero cromado) sobre tres placas de aluminio anodizadas e inclinadas 45°, según lo descrito en la Figura 1. Las condiciones a las que se somete este ensayo implican una fricción mixta, aplicando durante 1 hora una carga axial de 20 N y una velocidad de rotación de 40 rpm. Del mismo modo, se presentan los valores correspondientes a estas formulaciones y tribosistema sin la aplicación de un campo eléctrico, con el fin de realizar un análisis comparativo. Las distintas variables han sido calculadas de la siguiente forma:

- El coeficiente de fricción se determina en condiciones de temperatura ambiente (en torno a 20 °C) como la relación entre la fuerza de fricción (F_r) medida por el reómetro y la fuerza normal (F_n) debida a la carga aplicada sobre la superficie de contacto, una vez corregida con el ángulo de inclinación de las placas.
- Las huellas debidas al desgaste se determinan en condiciones de temperatura ambiente (en torno a 20 °C) por microscopía óptica. Dado que la huella presenta una geometría ligeramente ovalada, se ha tomado siempre el diámetro de la misma en la dirección perpendicular al movimiento.

TABLA I. Coeficientes de fricción y diámetros de huellas de las formulaciones correspondientes a los ejemplos citados.

Ejemplo	Dispersión	Coeficiente de fricción		Diámetro de huella (μm)	
		0 V	500 V	0 V	500 V
1	RIC-OMMT**	0,089 \pm 0,001	0,044 \pm 0	699 \pm 17	511 \pm 19
2	RIC-OMMT	0,098 \pm 0,001	0,053 \pm 0	663 \pm 17	510 \pm 20
3	RIC/GAO-OMMT	0,105 \pm 0,002	0,090 \pm 0,001	589 \pm 14	527 \pm 22
4	RIC/AUF-OMMT	0,103 \pm 0,003	0,095 \pm 0,001*	646 \pm 26	639 \pm 16*
5	RIC-OMMT/SEP	0,098 \pm 0,004	0,091 \pm 0,002*	588 \pm 32	549 \pm 36*
	<i>Aceite de ricino puro</i>	0,083 \pm 0,001	*	657 \pm 24	*
	<i>Aceite de girasol alto oleico puro</i>	0,103 \pm 0,001	*	636 \pm 35	*
	<i>Aceite usado en fritura</i>	0,105 \pm 0,001	*	715 \pm 15	*

Aceite girasol alto oleico (GAO); Aceite de ricino (RIC); Aceite usado en fritura (AUF); Montmorillonita modificada (OMMT); Sepiolita (SEP).

* No se puede mantener el voltaje durante todo el ensayo por aparición de continuidad.

** Ensayo realizado durante 2 h.

5

En la Figura 2 se puede observar como una formulación, según ejemplo 1, de un lubricante biodegradable constituido por aceite de ricino y un 6 % en peso de montmorillonita modificada (Cloisite 15A), que es eléctricamente activa, modifica el coeficiente de fricción en todos los 5 regímenes de lubricación cuando se aplica 500 V en un tribosistema formado por una bola de rodamiento (1) (de acero cromado) sobre tres placas (2) de aluminio anodizadas e inclinadas 45°, según lo descrito en la Figura 1, actuando una carga axial de 20 N. Además, se puede apreciar una reducción muy significativa sobre el coeficiente de fricción en la región de lubricación límite, cuando el tribosistema lubricado con la formulación del ejemplo 1 se activa eléctricamente con 500 V.

15

El control electroactivo de la fricción en un contacto tribológico formado por una bola de rodamiento (1) (de acero cromado) sobre tres placas de aluminio anodizadas e inclinadas 45° (Figura 1) se evidencia en la Figura 3. En ella se muestra como el coeficiente de fricción medido en condiciones estables de carga (20 N) y velocidad (40 rpm), condiciones de fricción mixta, se modifica de forma reversible cada 5 min al alterar la condición de potencial eléctrico aplicado, entre 0 y 500 V, durante al menos 30 min.

20

En las Figuras 4 y 5 se evidencia una reducción del coeficiente de fricción del 52,2 %, medido durante 2 h en condiciones de fricción mixta (carga 20 N y velocidad de rotación 40 rpm), en el contacto tribológico descrito en la Figura 1. Esta modificación del coeficiente de fricción en unas condiciones de fricción mixta logra una reducción del diámetro de la huella debida al desgaste del 26,9 % respecto al desgaste ocasionado en el tribosistema en ausencia de campo eléctrico.

25

Es por ello, por lo que esta invención permite el control activo de la lubricación de un contacto tribológico metal-metal, preferentemente de aluminio o acero y con al menos una de las superficies recubiertas de una capa de un material dieléctrico, con un lubricante biodegradable formulado a partir de aceite vegetal y nanoarcillas de diferentes formas y tamaños que son eléctricamente activas.

30

La necesidad de un recubrimiento dieléctrico sobre la superficie metálica del elemento mecánico impide la circulación de corriente y permite actuar activamente con potenciales

eléctricos de hasta 4 kV, tanto en corriente continua como alterna, sobre el comportamiento de la película lubricante, para su aplicación en rodamientos y cojinetes de deslizamiento en automoción, aerogeneradores, motores, turbinas, compresores, engranajes y, en general, cualquier sistema mecánico que emplee un rodamiento o un cojinete, que puede incluir una jaula o sello metálico (6).

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema para el control electroactivo de la fricción y el desgaste en un sistema tribológico que se caracteriza por que comprende una pluralidad de superficies metálicas (2) de aluminio o acero que friccionan entre sí, donde estas superficies metálicas (2) están recubiertas con un material dieléctrico (3); un elemento mecánico (1) con una superficie metálica conectado a una fuente de alimentación eléctrica (5) que aplica un voltaje; y una película de lubricante biodegradable (4) entre las superficies metálicas (2) y la superficie metálica del elemento mecánico (1), lubricante que comprende (a) al menos un aceite vegetal no conductor eléctricamente, y (b) nanoarcillas polarizables eléctricamente en un intervalo de concentraciones comprendidas entre el 0,5% y el 10% en peso total del lubricante.

2.- El sistema de la reivindicación 1 donde la nanoarcilla es una montmorillonita modificada con iones de amonio cuaternarios con dos dimetilos y dos cadenas de alquilos hidrogenados de extensión 14 a 18 átomos de carbono (2M2HT).

3.- El sistema de la reivindicación 2 donde la nanoarcilla comprende sepiolita u otra nanoarcilla natural o modificada.

4.- El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde el aceite vegetal es uno seleccionado entre aceite de ricino, aceite de girasol de alto contenido oleico, aceites usados en frituras, o una combinación de los mismos.

5.- El sistema de la reivindicación 1 donde el aceite vegetal es aceite de ricino y las nanoarcillas están presentes en una concentración comprendida entre el 0,5-10% p/p del total del lubricante.

6.- El sistema de la reivindicación 1 donde la pluralidad de superficies metálicas (2) es de aluminio, y el material dieléctrico (3) es óxido de aluminio obtenido mediante anodización directa del aluminio de una de las superficies metálicas (2).

7.- El sistema de la reivindicación 6 donde el recubrimiento de óxido de aluminio que conforma el material dieléctrico (3) es un recubrimiento de hasta 50 µm de espesor y preferentemente es un recubrimiento inferior a 20 µm.

8.- El sistema de la reivindicación 1 donde la pluralidad de superficies metálicas (2) son de acero y el recubrimiento dieléctrico (3) es una capa de carbono amorfo, del tipo DLC, o de carbono amorfo hidrogenado del tipo a-C:H, que puede estar dopado o no con silicio.

5 9.- El sistema de acuerdo con la reivindicación 8 donde el recubrimiento de carbono amorfo tiene un espesor inferior a 10 μm .

10.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 donde el elemento mecánico (1) es un rodamiento de bola axial que comprende una arandela superior e inferior
10 y que está conectado a una fuente de alimentación (5) de corriente continua o alterna, en el que las arandelas superior e inferior del rodamiento de bola axial están conectadas a uno de los polos y una jaula de las bolas del rodamiento de bola axial al otro polo de la fuente de alimentación.

15 11.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 donde el elemento mecánico (1) es un rodamiento de bola radial que comprende un aro interior, un aro exterior y un sello metálico (6) que está conectado a una fuente de alimentación (5) de corriente continua o alterna; y donde los aros interior y exterior del rodamiento de bola radial están conectadas a uno de los polos de la fuente de alimentación (5), mientras que el sello metálico (6) del
20 rodamiento de bola radial está conectado con el otro polo de la fuente de alimentación (5).

12.- El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 donde el elemento mecánico (1) es un cojinete de deslizamiento que está conectado a una fuente de alimentación (5) de corriente continua o alterna, en el que el cojinete está conectado a uno de los polos de
25 la fuente de alimentación y el vástago que gira al otro.

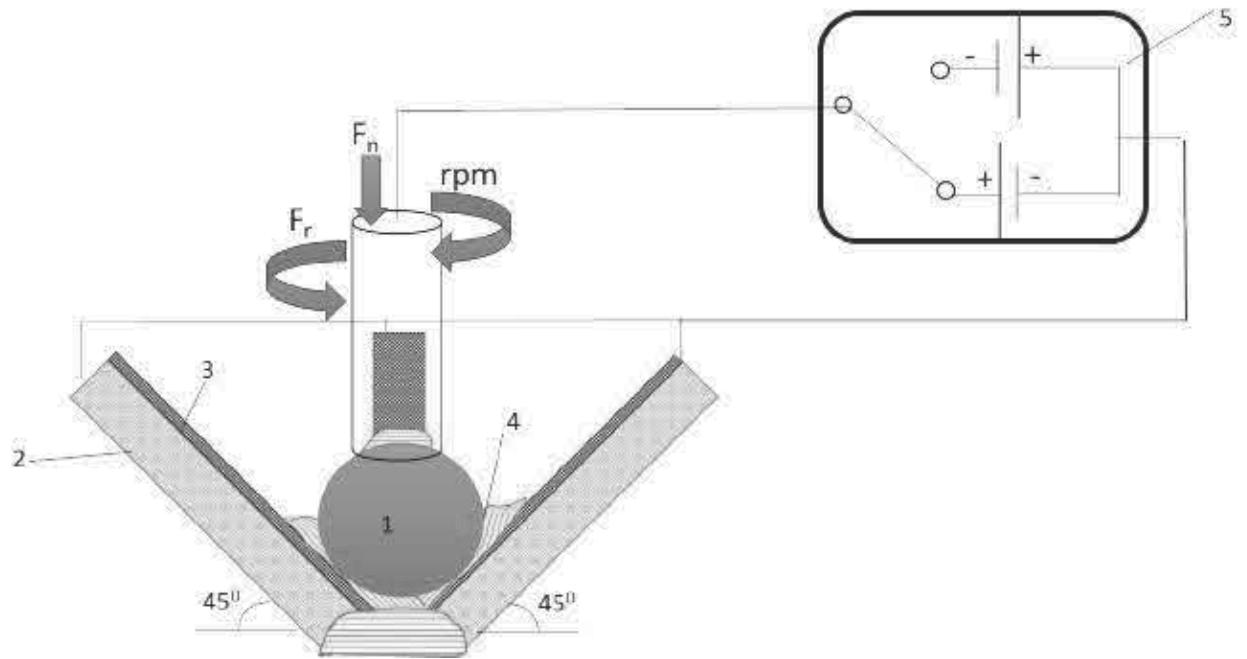


FIGURA 1

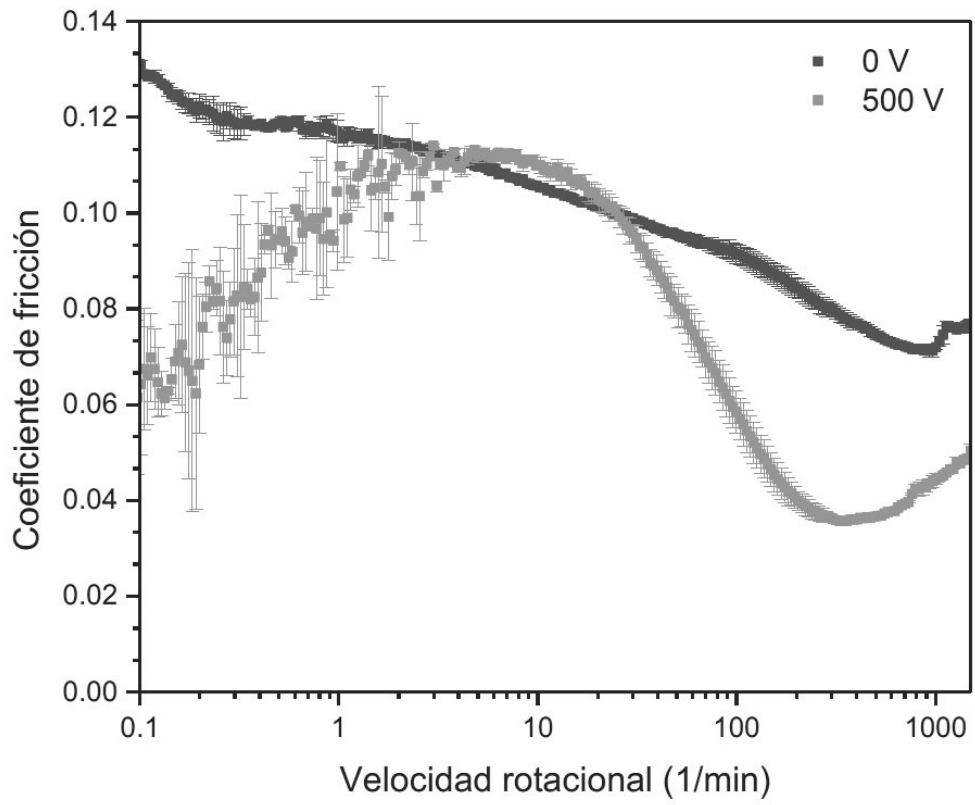


FIGURA 2

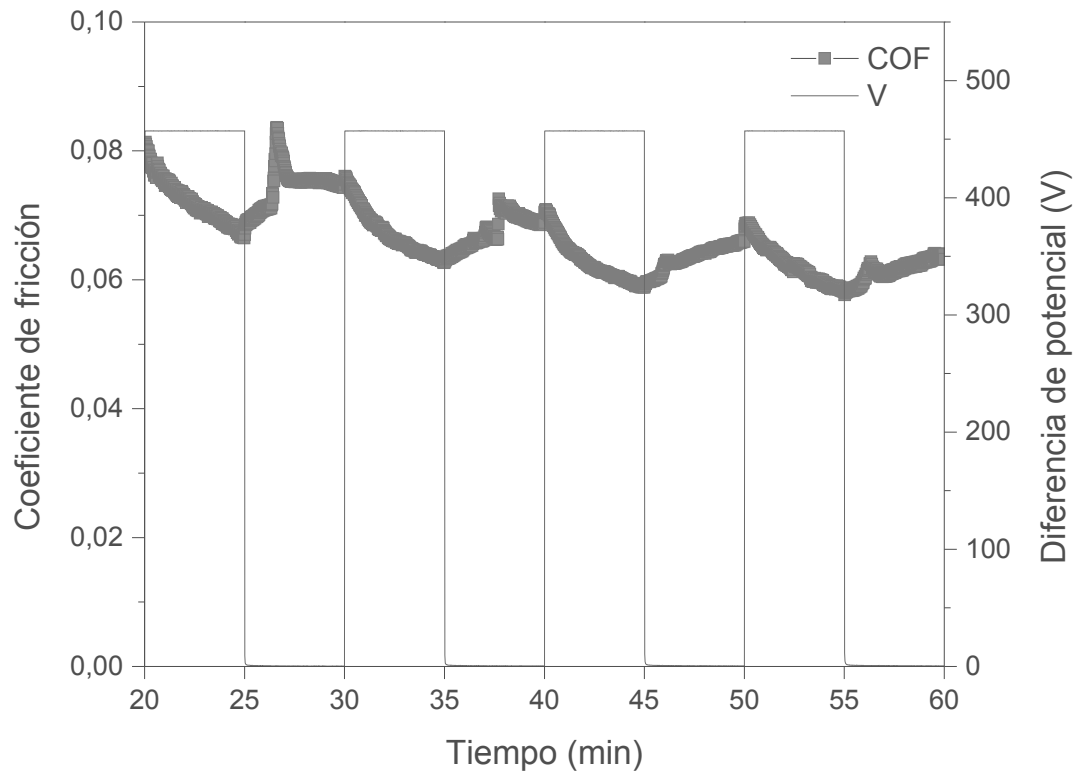


FIGURA 3

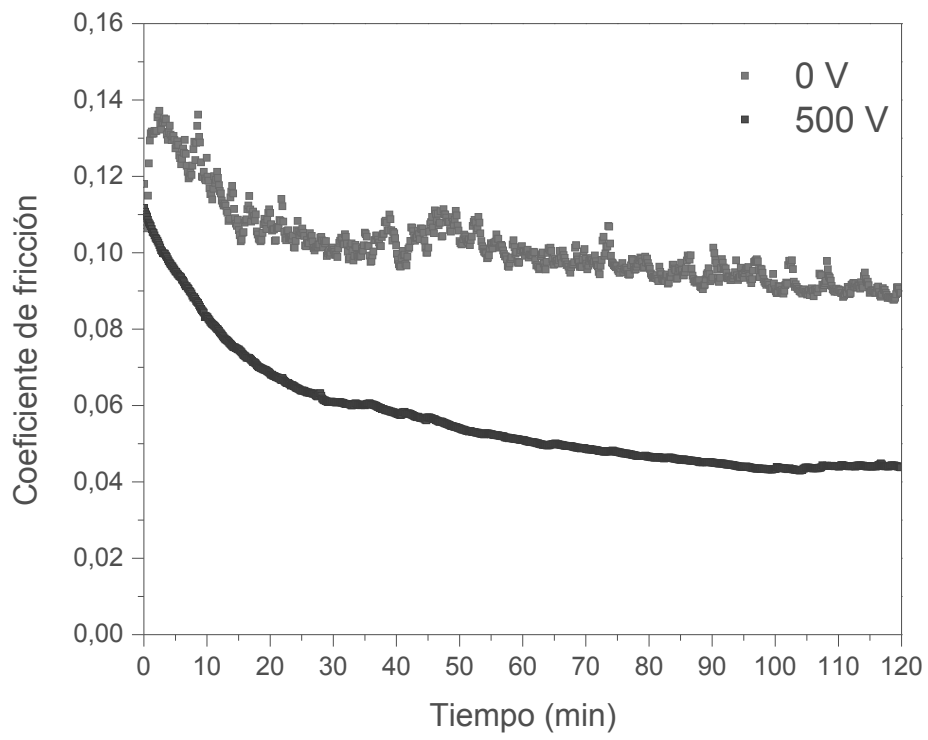


FIGURA 4

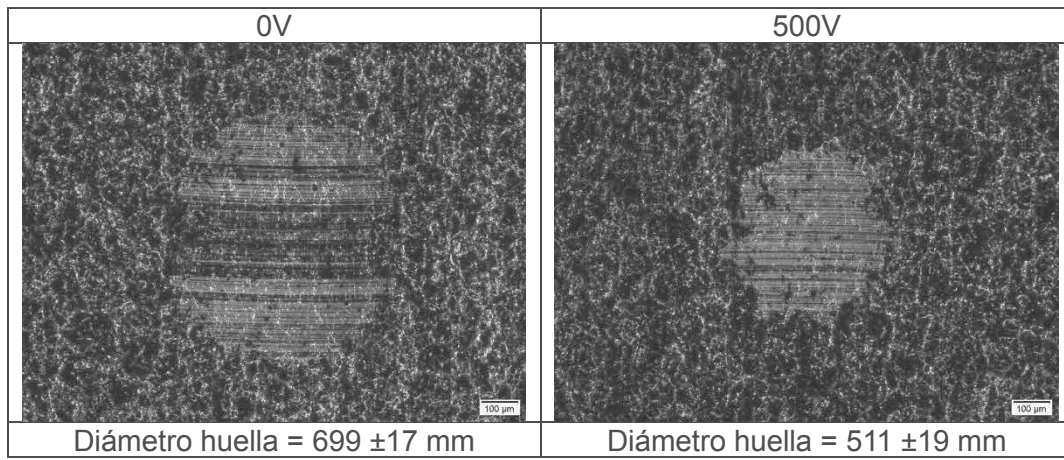


FIGURA 5

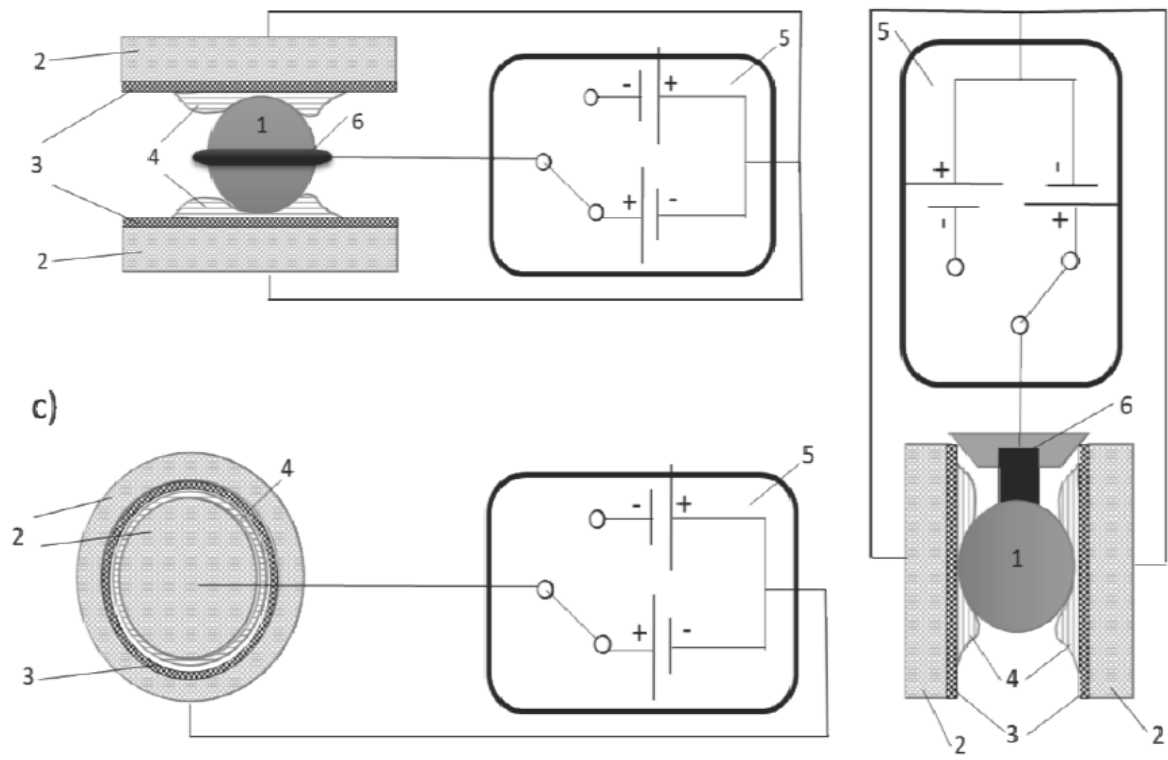


FIGURA 6