

# Fricciones (o cómo evitar un roce secreto...)

por Camila Müller, Mariana Dennehy, Walter R. Tuckart, Andrés E. Ciolino\*

La palabra tribología deriva del griego “tribos” (rozamiento o fricción) y “logos” (estudio o tratado). Indispensable en las actividades industriales y potenciada con el desarrollo de la nanotecnología, hoy resulta imposible concebir desarrollos tecnológicos sin los fundamentales aportes de esta ciencia.

**L**a tribología está presente en prácticamente todos los aspectos relacionados con maquinarias, motores y componentes de la industria en general. La aplicación de conocimientos tribológicos permite no sólo una reducción de la fricción y el desgaste sino también otros beneficios, como por ejemplo ahorros de dinero y recursos naturales y energéticos, confiabilidad a largo plazo, aumento de la vida útil de las maquinarias y herramientas, y protección del medio ambiente.

Aunque el término “tribología” es relativamente nuevo (lo acuñó H. P. Jost en 1966), el estudio de los problemas de desgaste y fricción ocupó a la humanidad desde sus inicios. De hecho, podría argumentarse que el primer uso no documentado de un tronco o roca redondeada para mover un objeto pesado fue una solución de ingeniería para un problema de fricción prehistórico. En jeroglíficos egipcios es posible encontrar pruebas concretas de soluciones tribológicas, como por ejemplo el empleo de agua para humedecer arena y así lograr mover los grandes bloques de piedra que formarían parte de las futuras pirámides; y autores como Da Vinci, Cou-

lomb, Hooke o Newton se ocuparon de problemas de fricción específicos. Como se puede apreciar, aunque la palabra suene un tanto “extraña” y novedosa, hace referencia a problemas por demás familiares y antiguos.

## FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN

La palabra fricción deriva del vocablo latino “fricare”, que significa rozamiento o frotamiento. Técnicamente, se aplica para describir la pérdida gradual de movilidad (energía cinética) en aquellas situaciones en las que dos cuerpos o sustancias se encuentran en contacto y movimiento relativo. En las áreas de contacto real se generan fuerzas de fricción que ocasionan el desprendimiento o desgarre de material. A este fenómeno se lo conoce con el nombre de desgaste.

El desgaste puede producirse por distintos motivos. Los fenómenos de adhesión impiden que las superficies se separen; los de abrasión hacen que una superficie dura “raye” o fracture a otra más blanda; la carga y descarga de fuerzas en ciclos continuos provocan desgaste por fatiga del material; las condiciones medioambientales o de trabajo pueden generar desgaste por corrosión. Como puede apreciarse, diversos factores contribuyen para que aparezcan fenómenos de fricción y desgaste, y dado que es imposible eliminarlos se debe encontrar una solución que posibilite minimizarlos. Esa es la función específica de los lubricantes.

Los lubricantes son sustancias que se agregan en las maquinarias y equipos para reducir la fricción y el

\* Camila Müller- Becaria Doctoral CONICET. Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI). UNS-CONICET.

Andrés E. Ciolino - Investigador. Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI). UNS-CONICET. ✉ [aciolino@plapiqui.edu.ar](mailto:aciolino@plapiqui.edu.ar)

Mariana Dennehy - Investigadora. Instituto de Química del Sur (INQUISUR). UNS-CONICET.

Walter R. Tuckart - Investigador. Instituto de Física del Sur (IFISUR). UNS-CONICET.

desgaste de piezas en movimiento relativo. Pueden ser de distinta naturaleza (fluidos como gases o líquidos, o sólidos y semisólidos), y los denominados “superiores” poseen ciertos atributos, como por ejemplo estabilidad térmica, buena fluidez y excelente resistencia química. Todas estas características ayudan a reducir la fricción y el desgaste entre las superficies de las piezas y aumentan la eficiencia operativa y la vida útil del equipo.

## ADITIVOS

A pesar de sus bondades, los lubricantes por sí solos no pueden cubrir el amplio rango de prestaciones que requiere el funcionamiento de determinados equipos industriales. Una forma de potenciar sus aplicaciones es mediante el agregado de aditivos. Los aditivos son sustancias químicas que se añaden a la formulación final del lubricante, aumentando así sus propiedades. Existen diferentes tipos de aditivos y cada uno posee una función específica, como por ejemplo inhibidores de oxidación, corrosión o antiespumantes.

Los lubricantes con aditivos permiten que la maquinaria específica pueda llevar a cabo tareas complejas. Por ejemplo, los aditivos extrema presión (EP) permiten soportar condiciones de alta carga, alta temperatura y altas velocidades de deslizamiento debido a que proporcionan una interfaz de baja fricción o anti-desgaste para que el contacto entre las piezas metálicas sea más eficiente. Sin embargo, y a pesar de las bondades comentadas, los aditivos pueden presentar inconvenientes. Por ejemplo, muchos derivan de sales o compuestos de metales pesados como el plomo y esto los transforma en peligrosos para el medio ambiente. Afortunadamente, tanto las industrias como los desarrollos científicos actuales tienen en cuenta estos aspectos y se trabaja en forma sostenida para lograr formulaciones lubricantes medioambientalmente amigables.

## BISMUTO

Actualmente, existe un significativo interés por reemplazar algunos metales pesados que se emplean en aditivos, como plomo (Pb) y estaño (Sn), porque si bien mejoran el servicio de los lubricantes también poseen elevada toxicidad. En el mismo subgrupo de metales, también se encuentra el bismuto (Bi), que en los últimos años ha concitado especial interés debido a que se lo considera el menos tóxico de todos los metales

pesados (de hecho, es empleado en productos cosméticos e incluso en antiácidos). Los derivados de Bi poseen muchas de las características de los aditivos EP en base Pb. El Bi no solo tiene propiedades muy similares al Pb (bien podría llamarse su “hermano gemelo”), sino que además posee un rango de temperatura más amplio entre el punto de fusión y el de ebullición (271–1560°C).

Desde 2013, integrantes del Grupo de Tribología de la Universidad Nacional del Sur (UNS), conjuntamente con la Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI, UNS-CONICET) y el Instituto de Química del Sur (INQUISUR, UNS-CONICET) han realizado estudios para obtener formulaciones lubricantes con aditivos con derivados de Bi. En las próximas secciones se presentarán algunos de los resultados obtenidos en estos estudios.

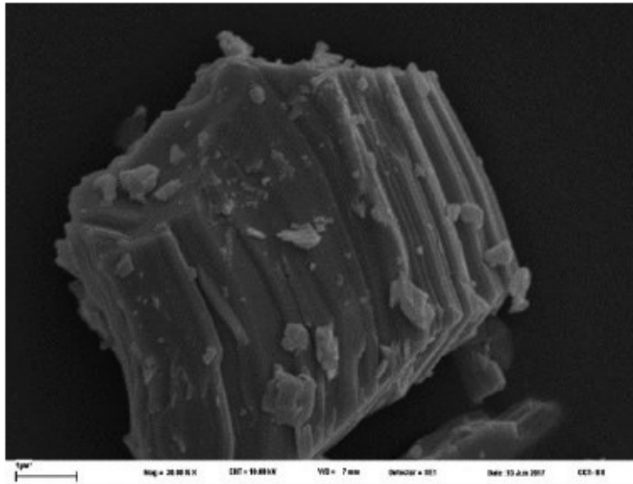
## NANOSÍNTESIS Y ADITIVOS

La nanotecnología puede definirse como el manejo de la materia a escala atómica. Como se sabe, el comportamiento fisicoquímico de la materia a escala atómica difiere sustancialmente del que se observa a escala macroscópica. De hecho, el movimiento de partículas tan pequeñas como los átomos sigue reglas que difieren notablemente de las del movimiento de aviones, barcos o autos. Lo mismo sucede con el comportamiento químico; en efecto, la forma en la que se ordenan las moléculas a escala nanométrica para formar enlaces o interacciones consigo mismas o con las vecinas difiere notablemente de lo que alcanzamos a percibir cuando observamos el material con una lupa o con nuestros propios ojos, aun cuando los enlaces que lo mantienen unido sean de la misma naturaleza química.

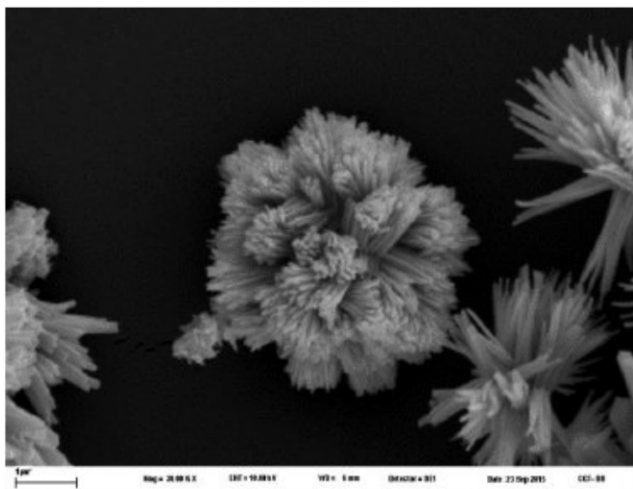
En las Figuras 1 y 2 (*página siguiente*) se muestran dos microfotografías adquiridas con un microscopio electrónico de barrido del aditivo de Bi comercial y del sintetizado a escala nanométrica por los autores de este trabajo. Para una misma magnificación del microscopio, puede fácilmente apreciarse la diferencia entre placas de diferente tamaño, tipo “masa de hojaldre” en el aditivo comercial y los agrupamientos regulares en forma de “roseta” obtenidos al emplear nanosíntesis.

Una vez obtenido el aditivo de Bi por nanosíntesis, el paso siguiente consistió en comparar las propiedades tribológicas de formulaciones líquidas con un aditivo sólido convencional (grafito) y con los derivados de Bi

comercial y obtenido por nanosíntesis. Para ello, se realizaron pruebas estandarizadas de desgaste empleando un equipo de ensayos de tipo Riechert como se muestra en la *Figura 3*.



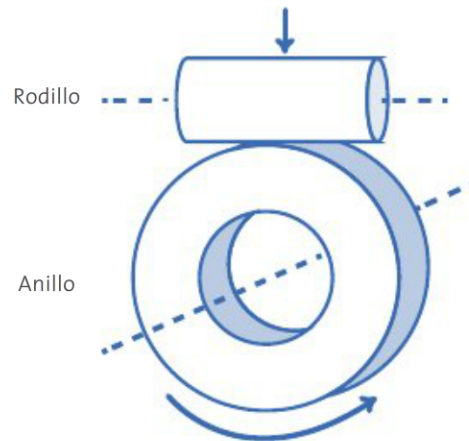
↑ Figura 1: partículas de aditivo de Bi comercial.



↑ Figura 2: partículas de aditivo de Bi obtenido por nanosíntesis.

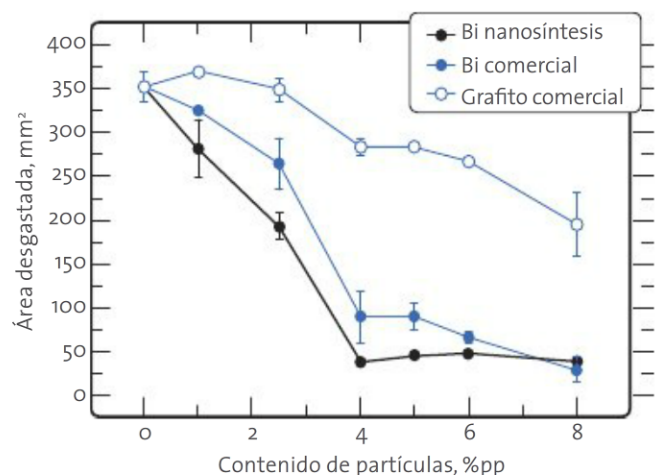
La máquina de ensayo consiste en un rodillo rígido que se presiona firmemente (por medio de un sistema de palanca) sobre un anillo o rueda de fricción giratoria. Ambas piezas son de acero inoxidable duro. La rueda se sumerge con su tercio inferior en el lubricante bajo prueba, y su velocidad de rotación es tal que asegura que una cantidad suficiente de lubricante siempre está presente en el punto de contacto entre el rodillo de prueba y la rueda de fricción, que es el punto de mayor presión de contacto del ensayo. El desgaste se eva-

lúa determinando el área desgastada que se observa en forma de cicatriz elíptica en el rodillo, luego de un tiempo determinado de ensayo.



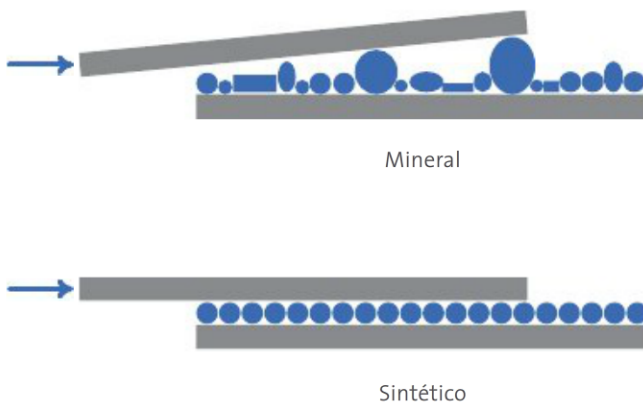
↑ Figura 3: esquema de una máquina de ensayo de Riechert.

En la *Figura 4* pueden observarse los resultados obtenidos para el área desgastada en función del porcentaje en peso de aditivo en la formulación. Como puede observarse, los derivados de Bi presentaron menores valores de área desgastada respecto del grafito, y entre ellos, el aditivo de Bi obtenido por nanosíntesis es el que proporciona los mejores resultados. Las estructuras en láminas del grafito y del aditivo de Bi comercial explican sus propiedades lubricantes, pero la nanoestructura obtenida en el compuesto sintetizado potencia aún más su acción anti-desgaste. El efecto es evidente en todo el rango de concentraciones estudiado, y las diferencias entre los derivados de Bi son más notorias cuando las concentraciones son bajas.



↑ Figura 4: área desgastada en función del contenido de partículas.

Una posible explicación al comportamiento observado puede ser fácilmente entendida con la *Figura 5*. Si imaginamos que los rectángulos grises son dos sólidos en movimiento relativo y las figuras geométricas son las formulaciones con aditivos, entonces la imagen superior representa la formulación con el aditivo de Bi comercial (mineral) y la inferior con el obtenido por nanosíntesis (sintético). Dado que éste último procedimiento garantiza una mayor uniformidad de tamaños, el deslizamiento entre superficies se encuentra más favorecido y el desgaste se reduce.



↑ Figura 5: Deslizamiento de dos superficies sólidas en presencia de aditivo de Bi comercial (superior) y aditivo de Bi obtenido por nanosíntesis (inferior).

## LO ESENCIAL ¿ES INVISIBLE A LOS OJOS?

Los avances de la Ciencia, particularmente en el último siglo, nos permiten re-escribir la famosa frase de “*El Principito*” con signos de interrogación. Hoy, gracias a los aportes tecnológicos y al conocimiento científico, la nanociencia nos permite profundizar en aspectos que hasta hace poco nos era imposible observar o imaginar, y podemos abordar la explicación de mecanismos tan complejos como los del desgaste.

En 1944, Jorge Luis Borges daba a conocer uno de sus más fabulosos libros de cuentos al que tituló “*Ficciones*”. En 1990, en su canción más famosa, Soda Stereo no pensaba evitar un roce secreto. Lo cierto es que los fenómenos de fricción y desgaste no son cuento y hoy, gracias a los avances de la ciencia tribológica, evitar ciertos roces no es ningún secreto. «

## BIBLIOGRAFÍA

Jost, H. P. (1966). Lubrication (tribology) education and research. A Report on the Present Position and Industry Needs, Department of Education and Science, HM Stationary Office, London.

Jost, H. P. (1990). “Tribology—origin and future”. *Wear*, Vol. 136 No. 1, pp. 1-17.

¿De qué hablamos cuando hablamos de nanotecnología? Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN). <https://www.fan.org.ar/nanotecnologia/> (consultado, noviembre 2017).